

**Министерство Российской Федерации
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий**

**Санкт-Петербургский университет
Государственной противопожарной службы**

**Методические материалы (методические
разработки по всем видам занятий)
по дисциплине**

СИТУАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ

Санкт-Петербург

СОДЕРЖАНИЕ

1. Лекция: История, предмет, цели системного анализа	3
2. Лекция: Описания, базовые структуры и этапы анализа систем.....	11
3. Лекция: Функционирование и развитие системы	22
4. Лекция: Классификация систем	32
5. Лекция: Система, информация, знания	41
6. Лекция: Меры информации в системе	50
7. Лекция: Система и управление	59
8. Лекция: Информационные системы	68
9. Лекция: Информация и самоорганизация систем	76
10. Лекция: Основы моделирования систем	85
11. Лекция: Математическое и компьютерное моделирование.....	97
12. Лекция: Эволюционное моделирование и генетические алгоритмы	111
13. Лекция: Основы принятия решений и ситуационного моделирования.....	120
14. Лекция: Модели знаний	130
15. Лекция: Новые технологии проектирования и анализа систем	139

1. Лекция: История, предмет, цели системного анализа

Рассматриваются история развития и предмет системного анализа, системные ресурсы общества, предметная область системного анализа, системные процедуры и методы, системное мышление.

Цель лекции: введение в краткую историю, предмет и значение системного анализа как методологии, научной области, технологической дисциплины и принципа мышления.

Можно говорить о наступлении этапа научного, системно-междисциплинарного подхода к проблемам науки, образования, техники и технологии, этапа, концентрирующего внимание не только на вещественно-энергетических, но и на системно-междисциплинарных аспектах, построении и исследовании системно-информационной картины мира, о наступлении этапа системных парадигм.

Системный анализ, чьи основы являются достаточно древними, - все же сравнительно молодая наука (сравнима по возрасту, например, с кибернетикой). Хотя она и активно развивается, ее определяющие понятия и термины недостаточно формализованы (если это вообще возможно осуществить). Системный анализ применяется в любой предметной области, включая в себя как частные, так и общие методы и процедуры исследования.

Эта наука, как и любая другая, ставит своей целью исследование новых связей и отношений объектов и явлений. Но, тем не менее, основной проблемой нашей науки является исследование связей и отношений таким образом, чтобы изучаемые объекты стали бы более управляемыми, изучаемыми, а "вскрытый" в результате исследования механизм взаимодействия этих объектов - более применимым к другим объектам и явлениям. Задачи и принципы системного подхода не зависят от природы объектов и явлений.

При изложении основ анализа, синтеза и моделирования систем возможны два основных подхода: **формальный** и **понятийно-содержательный**. Формальный подход использует формальный математический аппарат различного уровня строгости и общности (от простых соотношений до операторов, функторов, категорий, алгебр). Понятийно-содержательный подход - концентрируется на основных понятиях, идеях, подходе, концепциях, возможностях, на основных методологических принципах, использует "полуформальное" введение в суть рассматриваемых идей и понятий. Многие идеи и принципы системного анализа, хотя и более точны, строги на формальном языке изложения, тем не менее, сохраняют свою силу, актуальность, возможность эффективного использования и на содержательном языке. Необходимо отметить, что часто один удачный понятный пример имеет большее значение для понимания этих принципов, чем строгие математические определения. Кроме того, фактор неопределенности в системном анализе ограничивает применимость строгих математических формулировок и выводов. Мы ниже будем придерживаться, в основном, содержательно-понятийного подхода, применяя там, где это будет признано необходимым, формальные определения и положения, хотя отчетливо осознаем, что для изложения основ науки, претендующей на роль методологической, необходима высокая степень формализации, вплоть до создания аксиом. Таким подходом мы хотим расширить и круг читателей, которым будет доступен и полезен этот курс лекций. Несмотря на содержательные формулировки и алгоритмические процедуры некоторых приводимых основных положений и фактов, они имеют в основе достаточно формальный фундамент.

Слово "система" (организм, строй, союз, целое, составленное из частей) возникло в Древней Греции около 2000 лет назад. Древние ученые (Аристотель, Демокрит, Декарт, Платон и другие) рассматривали сложные тела, процессы и мифы мироздания как составленные из различных систем (например, атомов, метафор). Развитие астрономии (Коперник, Галилей, Ньютон и другие) позволило перейти к гелиоцентрической системе мира, к категориям типа "вещь и свойства", "целое и часть", "субстанция и атрибуты", "сходство и различие" и др. Далее развитие системного анализа происходит под влиянием различных философских воззрений, теорий о структуре познания и возможности предсказания (Бэкон, Гегель, Ламберт, Кант, Фихте и другие). В результате такого развития системный анализ выходит на позиции методологической науки. Естествоиспытатели XIX-XX вв. (Богданов, Бергаланфи, Винер, Эшби, Цвикки и другие) не только актуализировали роль модельного мышления и моделей в естествознании, но и сформировали основные системообразующие принципы, принципы системности научного знания, "соединили" теорию открытых систем, философские принципы и достижения естествознания. Современное развитие теории систем, системный анализ получили под влиянием достижений как классических областей науки (математика, физика, химия, биология, история и др.), так и неклассических областей (синергетика, информатика, когнитология, теории нелинейной динамики и динамического хаоса, катастроф, нейроматематика, нейроинформатика и др.). Необходимо особо подчеркнуть влияние техники (с древнейших времен) и технологии (современности) на развитие системного анализа, в частности, на ее прикладную ветвь - системотехнику, на методологию проектирования сложных технических систем. Это влияние - взаимное: развитие техники и технологии обогащает системный анализ новыми методами, моделями, средами.

Эпоха зарождения основ системного анализа была характерна рассмотрением чаще всего систем физического или философского (гносеологического) происхождения. При этом постулат (Аристотеля): "Важность целого превышает важность его составляющих" сменился позже на новый постулат (Галилея): "Целое объясняется свойствами его составляющих".

Наибольший вклад в зарождение и развитие системного анализа, системного мышления внесли такие ученые, как Р. Декарт, Ф. Бэкон, И. Кант, И. Ньютон, Ф. Энгельс, А.И. Берг, А.А. Богданов, Н. Винер, Л. Бергаланфи, Ч. Дарвин, И. Пригожин, Э. Эшби, А.А. Ляпунов, Н.Н. Моисеев и другие. Идеи системного анализа развивали также А. Аверьянов, Р. Акофф, В. Афанасьев, Р. Абдеев, И. Блауберг, Н. Белов, Л. Бриллюэн, Н. Бусленко, В. Волкова, Д. Гвишиани, В. Геодакян, К. Гэйн, Дж. ван Гиг, А. Денисов, Е. Дубровский, В. Завадский, Ю. Климонтович, Д. Колесников, Э. Квейд, В. Кузьмин, О. Ланге, Е. Луценко, В. Лекторский, В. Лефевр, Ю. Либих, А. Малиновский, М. Месарович, В. Могилевский, К. Негойце, Н. Овчинников, С. Оптнер, Дж. Патерсон, Ф. Перегудов, Д. Поспелов, А. Рапопорт, Л. Растригин, С. Родин, Л. Розенблют, В. Садовский, В. Сегал, В. Симанков, Б. Советов, В. Солодовников, Ф. Тарасенко, К. Тимирязев, А. Уемов, Ю. Черняк, Г. Хакен, Дж. Холдейн, Г. Шустер, А. Шилейко, Г. Щедровицкий, Э. Юдин, С. Яковлев, С. Янг и многие другие.

Предметная область - раздел науки, изучающий предметные аспекты системных процессов и системные аспекты предметных процессов и явлений. Это определение можно считать системным определением предметной области.

Системный анализ - совокупность понятий, методов, процедур и технологий для изучения, описания, реализации явлений и процессов различной природы и характера, междисциплинарных проблем; это совокупность общих законов, методов, приемов исследования таких систем.

Системный анализ - методология исследования сложных, часто не вполне определенных проблем теории и практики.

Строго говоря, различают три ветви науки, изучающей системы:

1. системологию (теорию систем) которая изучает теоретические аспекты и использует теоретические методы (теория информации, теория вероятностей, теория игр и др.);
2. системный анализ (методологию, теорию и практику исследования систем), которая исследует методологические, а часто и практические аспекты и использует практические методы (математическая статистика, исследование операций, программирование и др.);
3. системотехнику, системотехнологию (практику и технологию проектирования и исследования систем).

За термин системотехнологика ответственность несет автор. Такое деление достаточно условно.

Общим у всех этих ветвей является системный подход, системный принцип исследования - рассмотрение изучаемой совокупности не как простой суммы составляющих (линейно взаимодействующих объектов), а как совокупности нелинейных и многоуровневых взаимодействующих объектов.

Любую предметную область также можно определить как системную.

Пример. Информатика - наука, изучающая информационно-логические и алгоритмические аспекты системных процессов, системные аспекты информационных процессов. Это определение можно считать системным определением информатики.

Системный анализ тесно связан с синергетикой. **Синергетика** - междисциплинарная наука, исследующая общие идеи, методы и закономерности организации (изменения структуры, ее пространственно-временного усложнения) различных объектов и процессов, инварианты (неизменные сущности) этих процессов. "Синергический" в переводе означает "совместный, согласованно действующий". Это теория возникновения новых качественных свойств, структур на макроскопическом уровне.

Системный анализ тесно связан и с философией. Философия дает общие методы содержательного анализа, а системный анализ - общие методы формального, межпредметного анализа предметных областей, выявления и описания, изучения их системных инвариантов. Можно дать и философское определение системного анализа: системный анализ - это прикладная диалектика.

Системный анализ предоставляет к использованию в различных науках, системах следующие системные методы и процедуры:

1. абстрагирование и конкретизация;
2. анализ и синтез, индукция и дедукция;
3. формализация и конкретизация;
4. композиция и декомпозиция;
5. линеаризация и выделение нелинейных составляющих;
6. структурирование и реструктурирование;
7. макетирование;

8. реинжиниринг;
9. алгоритмизация;
10. моделирование и эксперимент;
11. программное управление и регулирование;
12. распознавание и идентификация;
13. кластеризация и классификация;
14. экспертное оценивание и тестирование;
15. верификация
16. и другие методы и процедуры.

Имеются следующие основные типы ресурсов в природе и в обществе.

1. Вещество - наиболее хорошо изученный ресурс, который в основном представлен таблицей Д.И. Менделеева достаточно полно и пополняется не так часто. Вещество выступает как отражение постоянства материи в природе, как мера однородности материи.
2. Энергия - не полностью изученный тип ресурсов, например, мы не владеем управляемой термоядерной реакцией. Энергия выступает как отражение изменчивости материи, переходов из одного вида в другой, как мера необратимости материи.
3. Информация - мало изученный тип ресурсов. Информация выступает как отражение порядка, структурированности материи, как мера порядка, самоорганизации материи (и социума). Сейчас этим понятием мы обозначаем некоторые сообщения; ниже этому понятию мы посвятим более детальное обсуждение.
4. Человек - выступает как носитель интеллекта высшего уровня и является в экономическом, социальном, гуманитарном смысле важнейшим и уникальным ресурсом общества, рассматривается как мера разума, интеллекта и целенаправленного действия, мера социального начала, высшей формы отражения материи (сознания).
5. Организация (или организованность) выступает как форма ресурсов в социуме, группе, которая определяет его структуру, включая институты человеческого общества, его надстройки, применяется как мера упорядоченности ресурсов. Организация системы связана с наличием некоторых причинно-следственных связей в этой системе. Организация системы может иметь различные формы, например, биологическую, информационную, экологическую, экономическую, социальную, временную, пространственную, и она определяется причинно-следственными связями в материи и социуме.
6. Пространство - мера протяженности материи (события), распределения ее (его) в окружающей среде.
7. Время - мера обратимости (необратимости) материи, событий. Время неразрывно связано с изменениями действительности.

Можно говорить о различных полях, в которые "помещен" человек, - материальном, энергетическом, информационном, социальном, об их пространственных, ресурсных (материя, энергия, информация) и временных характеристиках.

Пример. Рассмотрим простую задачу - пойти утром на занятия в вуз. Эта часто решаемая студентом задача имеет все аспекты:

1. материальный, физический аспект - студенту необходимо переместить некоторую массу, например, учебников и тетрадей на нужное расстояние;

2. энергетический аспект - студенту необходимо иметь и затратить конкретное количество энергии на перемещение;
3. информационный аспект - необходима информация о маршруте движения и месторасположении вуза и ее нужно обрабатывать по пути своего движения;
4. человеческий аспект - перемещение, в частности, передвижение на автобусе невозможно без человека, например, без водителя автобуса;
5. организационный аспект - необходимы подходящие транспортные сети и маршруты, остановки и т.д.;
6. пространственный аспект - перемещение на определенное расстояние;
7. временной аспект - на данное перемещение будет затрачено время (за которое произойдут соответствующие необратимые изменения в среде, в отношениях, в связях).

Все типы ресурсов тесно связаны и сплетены. Более того, они невозможны друг без друга, актуализация одного из них ведет к актуализации другого.

Пример. При сжигании дров в печке выделяется тепловая энергия, тепловая энергия используется для приготовления пищи, пища используется для получения биологической энергии организма, биологическая энергия используется для получения информации (например, решения некоторой задачи), перемещения во времени и в пространстве. Человек и во время сна расходует свою биологическую энергию на поддержание информационных процессов в организме; более того, сон - продукт таких процессов.

Социальная организация и активность людей совершенствует информационные ресурсы, процессы в обществе, последние, в свою очередь, совершенствуют производственные отношения.

Если классическое естествознание объясняет мир исходя из движения, взаимопревращений вещества и энергии, то сейчас реальный мир, объективная реальность могут быть объяснены лишь с учетом сопутствующих системных, и особенно системно-информационных и синергетических процессов.

Особый тип мышления - системный, присущий аналитику, который хочет не только понять суть процесса, явления, но и управлять им. Иногда его отождествляют с аналитическим мышлением, но это отождествление не полное. Аналитическим может быть склад ума, а системный подход есть методология, основанная на теории систем.

Предметное (предметно-ориентированное) мышление - это метод (принцип), с помощью которого можно целенаправленно (как правило, с целью изучения) выявить и актуализировать, познать причинно-следственные связи и закономерности в ряду частных и общих событий и явлений. Часто это методика и технология исследования систем.

Системное (системно-ориентированное) мышление - это метод (принцип), с помощью которого можно целенаправленно (как правило, с целью управления) выявить и актуализировать, познать причинно-следственные связи и закономерности в ряду общих и всеобщих событий и явлений. Часто это методология исследования систем.

При системном мышлении совокупность событий, явлений (которые могут состоять из различных составляющих элементов) актуализируется, исследуется как целое, как одно организованное по общим правилам событие, явление, поведение которого можно предсказать, прогнозировать (как правило) без выяснения не только поведения составляющих элементов, но и качества и количества их самих. Пока не будет понятно,

как функционирует или развивается система как целое, никакие знания о ее частях не дадут полной картины этого развития.

Пример. В соответствии с принципом системного мышления общество состоит из людей (и, разумеется, из общественных институтов). Каждый человек - также система (физиологическая, например). У человека, в свою очередь, существуют присущие ему как организму системы, например, система кровообращения. Когда люди взаимодействуют с другими людьми, образуются новые системы - семья, этнос и др. Это взаимодействие может происходить на уровне общественных институтов, отдельных людей (например, социальные взаимодействия) и даже отдельных систем кровообращения (например, при прямом переливании крови).

В соответствии с принципом системного подхода, каждая система влияет на другую систему. Весь окружающий мир - взаимодействующие системы. Цель системного анализа - выявить эти взаимодействия, их потенциал и "направить их на службу человека".

Предметный аналитик (предметно-ориентированный или просто аналитик) - человек, профессионал, изучающий, описывающий некоторую предметную область, проблему в соответствии с принципами и методами, технологиями этой области. Это не означает "узкое" рассмотрение этой проблемы, хотя подобное часто встречается.

Системный (системно-ориентированный) аналитик - человек, профессионал высокого уровня (эксперт), изучающий, описывающий системы в соответствии с принципами системного подхода, анализа, т.е. изучающий проблему комплексно. Ему присущ особый склад ума, базирующийся на мультизнаниях, достаточно большом кругозоре и опыте, высоком уровне интуиции предвидения, умении принимать целесообразные ресурсообеспеченные решения. Его основная задача - помочь предметному аналитику принять правильное (сообразующееся с другими системами, не "ухудшающее" их) решение при решении предметных проблем, выявление и изучение критериев эффективности их решения.

Необходимые атрибуты системного анализа как научного знания:

1. наличие предметной сферы - системы и системные процедуры;
2. выявление, систематизация, описание общих свойств и атрибутов систем;
3. выявление и описание закономерностей и инвариантов в этих системах;
4. актуализация закономерностей для изучения систем, их поведения и связей с окружающей средой;
5. накопление, хранение, актуализация знаний о системах (коммуникативная функция).

Системный анализ базируется на ряде общих принципов, среди которых:

1. принцип дедуктивной последовательности - последовательного рассмотрения системы по этапам: от окружения и связей с целым до связей частей целого (см. этапы системного анализа подробнее ниже);
2. принцип интегрированного рассмотрения - каждая система должна быть неразъемна как целое даже при рассмотрении лишь отдельных подсистем системы;
3. принцип согласования ресурсов и целей рассмотрения, актуализации системы;
4. принцип бесконфликтности - отсутствия конфликтов между частями целого, приводящих к конфликту целей целого и части.

Системно в мире все: практика и практические действия, знание и процесс познания, окружающая среда и связи с ней (в ней). Системный анализ как методология научного познания структурирует все это, позволяя исследовать и выявлять инварианты (особенно скрытые) объектов, явлений и процессов различной природы, рассматривая их общее и различное, сложное и простое, целое и части.

Любая человеческая интеллектуальная деятельность обязана быть по своей сути системной деятельностью, предусматривающей использование совокупности взаимосвязанных системных процедур на пути от постановки задачи, целей, планирования ресурсов к нахождению и использованию решений.

Пример. Любое экономическое решение должно базироваться на фундаментальных принципах системного анализа, экономики, информатики, управления и учитывать поведение человека в социально-экономической среде, т.е. должно базироваться на рациональных, социально и экономически обоснованных нормах поведения в этой среде.

Неиспользование системного анализа не позволяет знаниям (закладываемым традиционным образованием) превращаться в умения и навыки их применения, в навыки ведения системной деятельности (построения и реализации целенаправленных, структурированных, обеспеченных ресурсами конструктивных процедур решения проблем). Системно мыслящий и действующий человек, как правило, прогнозирует и считается с результатами своей деятельности, соизмеряет свои желания (цели) и свои возможности (ресурсы) учитывает интересы окружающей среды, развивает интеллект, вырабатывает верное мировоззрение и правильное поведение в человеческих коллективах.

Окружающий нас мир бесконечен в пространстве и во времени; человек существует конечное время, располагая при реализации цели конечными ресурсами (материальными, энергетическими, информационными, людскими, организационными, пространственными и временными).

Противоречия между неограниченностью желания человека познать мир и ограниченной (ресурсами, неопределенностью) возможностью сделать это, между бесконечностью природы и конечностью ресурсов человечества, имеют много важных последствий, в том числе - и для самого процесса познания человеком окружающего мира. Одна из таких особенностей познания, которая позволяет постепенно, поэтапно разрешать эти противоречия: использование аналитического и синтетического образа мышления, т.е. разделения целого на части и представления сложного в виде совокупности более простых компонент, и наоборот, соединения простых и построения, таким образом, сложного. Это также относится и к индивидуальному мышлению, и к общественному сознанию, и ко всему знанию людей, и к самому процессу познания.

Пример. Аналитичность человеческого знания проявляется и в существовании различных наук, и в дифференциации наук, и в более глубоком изучении все более узких вопросов, каждый из которых сам по себе и интересен, и важен, и необходим. Вместе с тем, столь же необходим и обратный процесс синтеза знаний. Так возникают "пограничные" науки - бионика, биохимия, синергетика и другие. Однако это лишь одна из форм синтеза. Другая, более высокая форма синтетических знаний реализуется в науках о самых общих свойствах природы. Философия выявляет и описывает общие свойства всех форм материи; математика изучает некоторые, но также всеобщие отношения. К числу синтетических наук относятся системный анализ, информатика, кибернетика и др., соединяющие формальные, технические, гуманитарные и прочие знания.

Итак, расчлененность мышления на анализ, синтез и взаимосвязь этих частей является очевидным признаком системности познания.

Процесс познания структурирует системы, окружающий нас мир. Все, что не познано в данный момент времени, образует "хаос в системе", который, будучи необъясним в рамках рассматриваемой теории, заставляет искать новые структуры, новую информацию, новые формы представления и описания знаний, приводит к появлению новых ветвей знания; этот хаос также дает стимул и для развития умений и навыков исследователя.

Системный подход к исследованию проблем, системный анализ - следствие научно-технической революции, а также необходимости решения ее проблем с помощью одинаковых подходов, методов, технологий. Такие проблемы возникают и в экономике, и в информатике, и в биологии, и в политике и т.д.

Вопросы для самоконтроля

1. Каковы основные системные ресурсы общества? Что характеризует каждый тип ресурсов по отношению к материи?
2. Что такое системный анализ? Что входит в предметную область системного анализа?
3. Каковы основные системные методы и процедуры?

Задачи и упражнения

1. Написать эссе на тему: "История системного анализа".
2. Написать эссе на тему: "Личность, внесшая большой вклад в развитие системного анализа".
3. Рассмотрим систему действительных чисел, каждое из которых представляет собой очередное (до следующей цифры после запятой) приближение числа "пи": 3; 3,1; 3,14; ... Укажите материальный, энергетический, информационный, человеческий, организационный, пространственный и временной аспекты рассмотрения этой системы. Укажите противоречия между познанием этой системы и ее ресурсами.

Темы для научных исследований и рефератов, интернет-листов

1. Системный анализ - как методологическая дисциплина.
2. Системология - как теоретическая дисциплина, теория систем.
3. Системотехника и системотехнологика - как прикладные дисциплины.

2. Лекция: Описания, базовые структуры и этапы анализа систем

Рассматриваются основные понятия системного анализа, признаки системы, типы топологии систем, различные формы описания систем, этапы системного анализа.

Цель лекции: введение основного понятийного аппарата системного анализа, теории систем.

Дадим вначале интуитивное определение системы и подсистемы.

Система - объект или процесс, в котором элементы-участники связаны некоторыми связями и отношениями.

Подсистема - часть системы с некоторыми связями и отношениями.

Любая система состоит из подсистем, подсистема любой системы может быть сама рассмотрена как система. Границы рассматриваемой системы определяются доступными ресурсами и окружением.

Пример. Наука - система, обеспечивающая получение, проверку, фиксацию (хранение), актуализацию знаний общества. Наука имеет подсистемы: математика, информатика, физика, экономика и др. Любое знание существует лишь в форме систем (систематизированное знание). Теория - наиболее развитая система их организации, позволяющая не только описывать, но и объяснять, прогнозировать события, процессы.

Определим основные понятия системного анализа, необходимые далее.

Состояние системы - фиксация совокупности доступных системе ресурсов (материальных, энергетических, информационных, пространственных, временных, людских, организационных), определяющих ее отношение к ожидаемому результату или его образу. Это "фотография" механизма преобразования входных данных системы в выходные данные.

Цель - образ несуществующего, но желаемого, с точки зрения задачи или рассматриваемой проблемы, состояния среды, т.е. такого состояния, которое позволяет решать проблему при данных ресурсах. Это описание, представление некоторого наиболее предпочтительного (с точки зрения поставленной цели и доступных ресурсов) состояния системы.

Пример. Основные социально-экономические цели общества: экономический рост; полная трудовая занятость населения; экономическая эффективность производства; стабильный уровень цен; экономическая свобода производителей и потребителей; справедливое распределение ресурсов и благ; социально-экономическая обеспеченность и защищенность; торговый баланс на рынке; справедливая налоговая политика.

Задача - некоторое множество исходных посылок (входных данных к задаче), описание цели, определенной над множеством этих данных, и, может быть, описание возможных стратегий достижения этой цели или возможных промежуточных состояний исследуемого объекта.

Решить задачу означает определить четко ресурсы и пути достижения указанной цели при исходных посылках. Решение задачи - описание, представление состояния задачи, при котором достигается указанная цель; решением задачи называют и сам процесс нахождения этого состояния.

Понятие проблемы в системном анализе - шире, чем понятие задачи, и состоит обычно из ряда взаимосвязанных задач.

Проблема - описание, хотя бы содержательное, ситуации, в которой определены: цель, достигаемые (достижимые, желательные) результаты и, возможно, ресурсы и стратегия достижения цели (решения). Проблема проявляется поведением системы.

Описание (спецификация) системы - это идентификация ее определяющих элементов и подсистем, их взаимосвязей, целей, функций и ресурсов, т.е. описание допустимых состояний системы.

Если входные посылки, цель, условие задачи, решение или, возможно, даже само понятие решения плохо (частично) описываемы, формализуемы, то эти задачи называются плохо формализуемыми. Поэтому при решении таких задач приходится рассматривать целый комплекс формализованных задач, с помощью которых можно исследовать эту плохо формализованную задачу. Сложность их исследования заключается в необходимости учета различных, а часто и противоречивых критериев определения, оценки решения задачи.

Пример. Плохо формализуемыми будут, например, задачи восстановления "размытых" текстов, изображений, составления учебного расписания в любом большом вузе, составления "формулы измерения интеллекта", описания функционирования мозга, социума, перевода текстов с одного языка на другой с помощью ЭВМ и др.

Определим, пока не формализованно, понятие структуры системы.

Структура - все то, что вносит порядок во множество объектов, т.е. совокупность связей и отношений между частями целого, необходимых для достижения цели.

Пример. Примеры структур: извилины мозга, факультет, государственное устройство, кристаллическая решетка вещества, микросхема. Кристаллическая решетка алмаза - структура неживой природы; пчелиные соты и полосы зебры - структуры живой природы; озеро - структура экологической природы; партия (общественная, политическая) - структура социальной природы, и т.д.

Базовые топологии структур (систем) приведены на рис. 2.1-2.4.

Рис. 2.1. Структура линейного типа



Рис. 2.2. Структура иерархического типа (первая цифра - номер уровня)

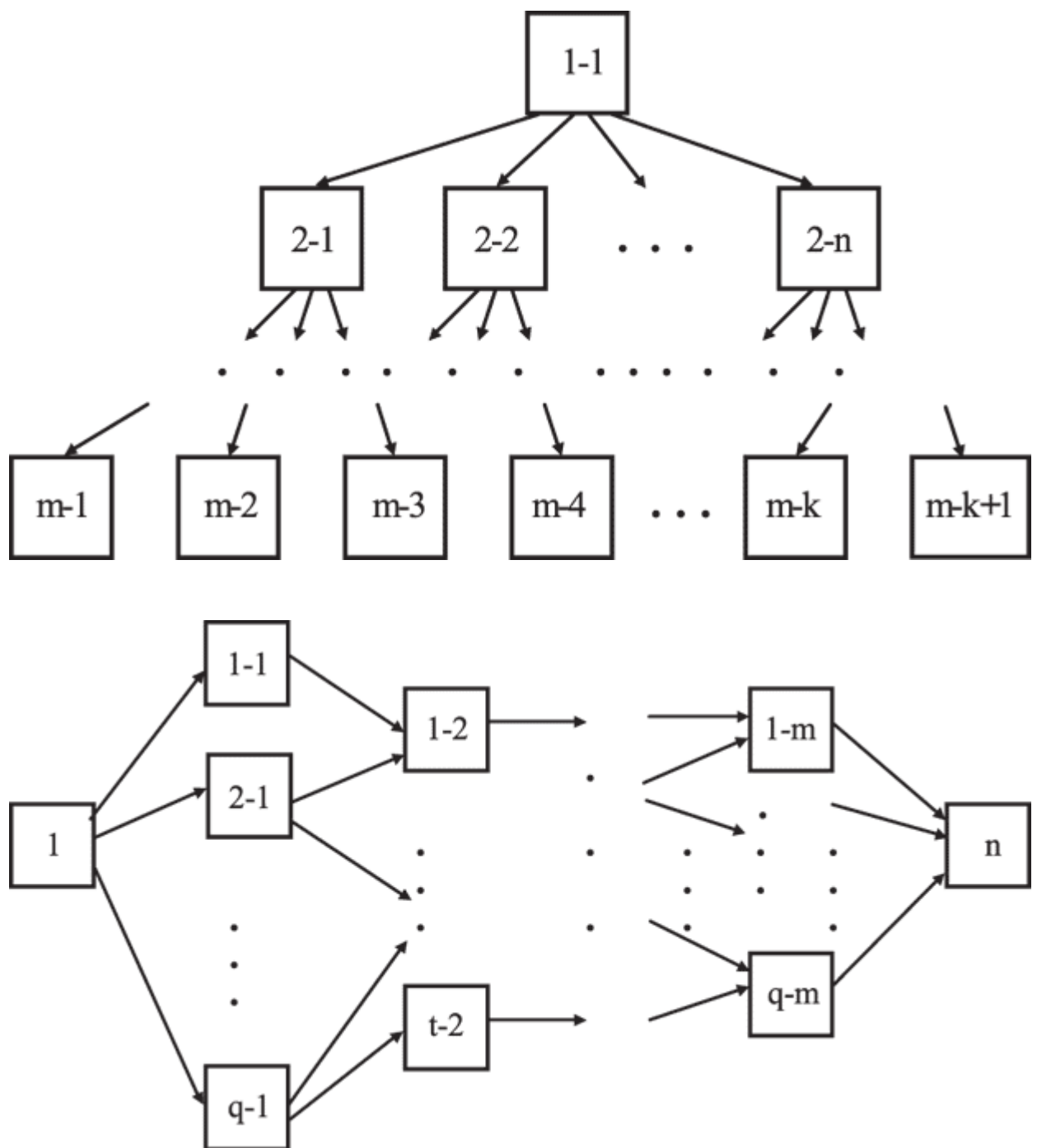


Рис. 2.3. Структура сетевого типа (вторая цифра - номер в пути)

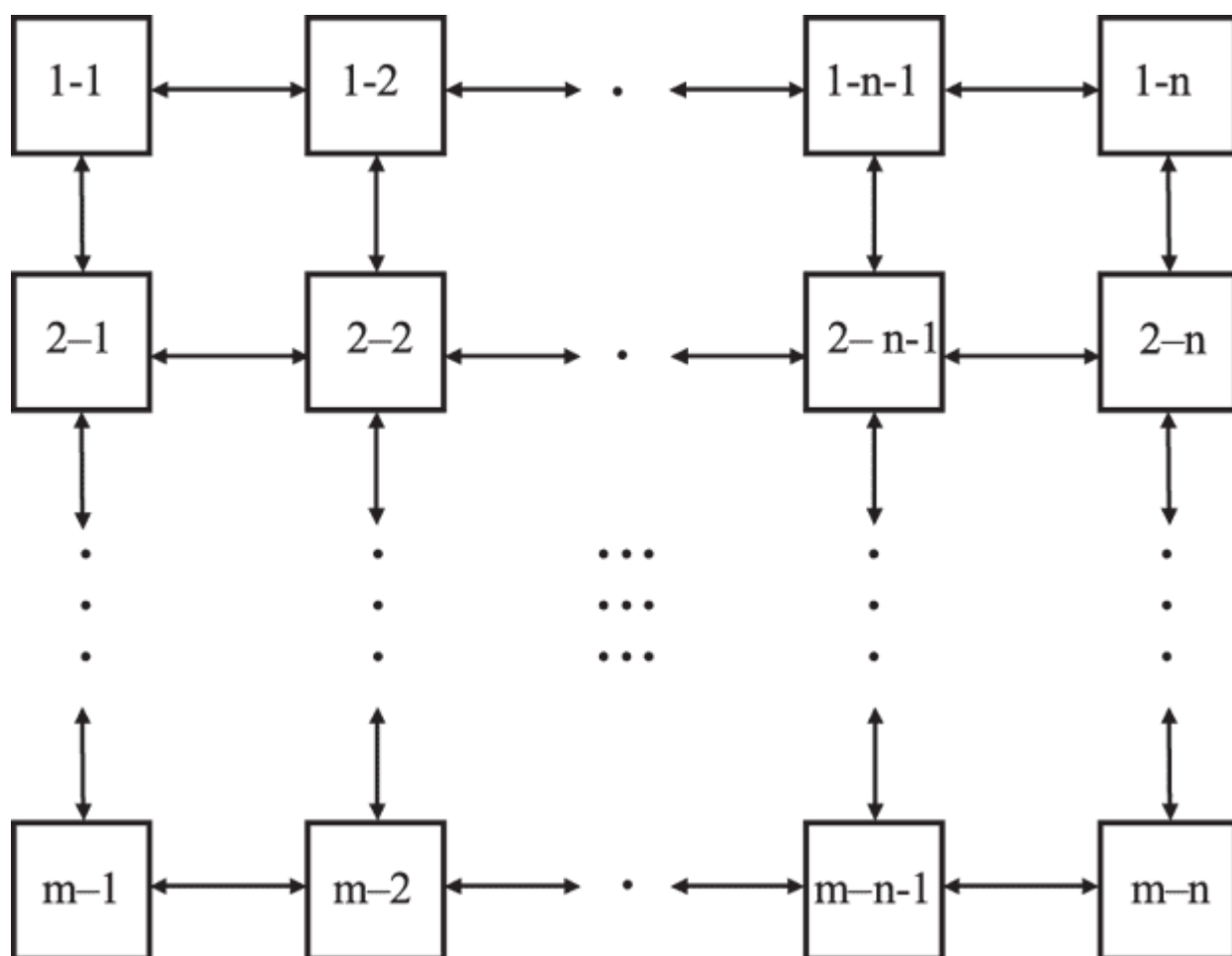


Рис. 2.4. Структура матричного типа

Пример. Примером линейной структуры является структура станций метро на одной (не кольцевой) линии в одном направлении. Примером иерархической структуры может служить структура управления вузом: "Ректор - Проректор - Декан - Заведующий кафедрой, подразделением - Преподаватель кафедры, сотрудник подразделения". Пример сетевой структуры - структура организации работ при строительстве дома: некоторые работы, например, монтаж стен, благоустройство территории и др. можно выполнять параллельно. Пример матричной структуры - структура работников отдела НИИ, выполняющих работы по одной и той же теме.

Кроме указанных основных типов структур, используются и другие, образующиеся с помощью их корректных комбинаций - соединений и вложений.

Пример. Из комбинаций "плоскостных временных" матричных структур можно получить матричную "пространственную (время-возрастную)" структуру. Комбинация сетевых структур может вновь дать сетевую структуру. Комбинация иерархической и линейной структур может привести как к иерархической ("навешивая" древовидную структуру на древовидную), так и к неопределенной ("навешивая" древовидную структуру на линейную). Смешанную структуру могут иметь системы открытого акционерного типа, корпорации на рынке с дистрибьютерской сетью и другие.

Из одинаковых элементов можно получать структуры различного типа.

Пример. Макромолекулы различных силикатов получают из одних и тех же элементов (Si, O). Это пример связей вещества и структуры (см. рис. 2.5).

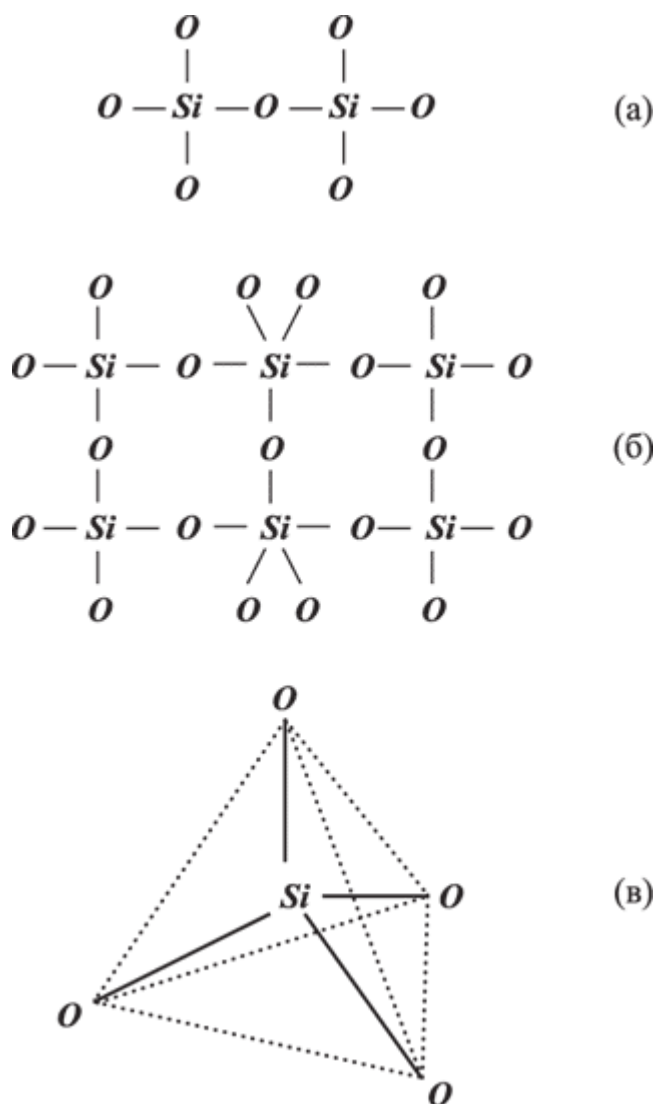


Рис. 2.5. Структуры макромолекул из кремния и кислорода (а, б, в)

Пример. Из одних и тех же составляющих рынка (ресурсы, товары, потребители, продавцы) можно образовывать рыночные структуры различного типа: ОАО, ООО, ЗАО и др. При этом структура объединения может определять свойства, характеристики системы.

В современных компьютерных архитектурах, компьютерных системах и сетях важно правильно выбрать эффективную структуру и топологию.

Пример. Последовательная структура используется при организации конвейерных вычислений на суперкомпьютерах (конвейерных вычислительных структурах). Сетевая структура (в частности, типа "бабочка") используется для организации вычислений специализированных структур, в частности, для быстрого преобразования Фурье, которое используется для обработки спутниковой информации и во многих других отраслях. Древовидные сети подвержены влиянию переменных задержек, когда данные из всех узлов одного поддерева должны быть переданы на другое поддерево. Двумерные решетки (матрицы) часто применяются для обработки изображений. Матрично-матричная структура - гиперкуб используется для связи каждого из 2^n узлов с каждым, который отличен в одном двоичном разряде, и организации их независимой работы по выполнению отдельных частей большой программы (задачи); в частности, компьютер такой архитектуры эффективно играл с Г.Каспаровым в шахматы.

Структура является **связной**, если возможен обмен ресурсами между любыми двумя подсистемами системы (предполагается, что если есть обмен i -й подсистемы с j -й подсистемой, то есть и обмен j -й подсистемы с i -й).

Если структура или элементы системы плохо (частично) описываемы или определяемы, то такое множество объектов называется плохо или слабо структурируемым (структурированным).

Таково большинство социально-экономических систем, обладающих рядом специфических черт плохо структурируемых систем, а именно:

1. мультиаспектностью и взаимосвязанностью происходящих в них процессов (экономических, социальных и т.п.), невозможностью их структурирования, так как все происходящие в них явления должны рассматриваться в совокупности;
2. отсутствием достаточной информации (как правило, количественной) о динамике процессов и применимостью лишь качественного анализа;
3. изменчивостью и многовариантностью динамики процессов и т.д.

Пример. Плохо структурируемы будут проблемы описания многих исторических эпох, проблем микромира, общественных и экономических явлений, например, динамики курса валют на рынке, поведения толпы и др.

Плохо формализуемые и плохо структурируемые проблемы (системы) наиболее часто возникают на стыке различных наук, при исследовании синергетических процессов и систем.

"Система" в переводе с греческого означает "целое, составленное из частей". Это одна из абстракций системного анализа, которую можно конкретизировать, выразить в конкретных формах.

Можно теперь дать и следующее, более полное определение системы.

Система - это средство достижения цели или все то, что необходимо для достижения цели (элементы, отношения, структура, работа, ресурсы) в некотором заданном множестве объектов (операционной среде).



Рис. 2.6. Структура системы

Для описания системы важно знать, какие она имеет структуру (строение), функции (работу) и связи (ресурсы) с окружением.

Совокупность элементов и связей между ними позволяет судить о структуре системы.

Любая система имеет внутренние состояния, внутренний механизм преобразования входных данных в выходные (внутреннее описание), а также имеет внешние проявления (внешнее описание).

Внутреннее описание дает информацию о поведении системы, о соответствии (несоответствии) внутренней структуры системы целям, подсистемам (элементам) и ресурсам в системе, внешнее описание - о взаимоотношениях с другими системами, с целями и ресурсами других систем (см. рис. 2.6).

Внешнее описание системы определяется ее внутренним описанием.

Пример. Банк есть система. Внешняя среда банка - система инвестиций, финансирования, трудовых ресурсов, нормативов и т.д. Входные воздействия - характеристики (параметры) этой системы. Внутренние состояния системы - характеристики финансового состояния. Выходные воздействия - потоки кредитов, услуг, вложений и т.д. Функции системы - банковские операции, например, кредитование. Функции системы также зависят от характера взаимодействий системы и внешней среды. Множество выполняемых банком (системой) функций зависят от внешних и внутренних функций, которые могут быть описаны (представлены) некоторыми числовыми и/или нечисловыми, например, качественными, характеристиками или характеристиками смешанного, качественно-количественного характера.

Морфологическое (структурное или топологическое) описание системы - это описание строения или структуры системы или описание совокупности A элементов этой системы и необходимого для достижения цели набора отношений R между этими элементами системы.

Функциональное описание системы - это описание законов функционирования, эволюции системы, алгоритмов ее поведения, "работы".

Информационное (информационно-логическое или инфологическое) описание системы - это описание информационных связей как системы с окружающей средой, так и подсистем системы.

Раньше информационное описание системы называли кибернетическим.

Пример. Морфологическое описание экосистемы может включать структуру обитающих в ней хищников и жертв, их трофическую структуру (структуру питания), их свойства, связи. Трофическую структуру типа "хищники и жертвы" образуют две непересекающиеся совокупности X и Y со свойствами $S(X)$ и $S(Y)$. Возьмем в качестве языка морфологического описания русский язык с элементами алгебры. Тогда можно предложить следующее упрощенное модельное морфологическое описание этой системы:

$$S = \langle A, B, R, V, Q \rangle$$

$A = \{\text{человек, тигр, коршун, щука, баран, газель, пшеница, кабан, клевер, полевая мышь (полевка), змея, желудь, карась}\},$

$X = \{\text{человек, тигр, коршун, щука, кабан, змея, баран}\},$

$Y = \{\text{газель, пшеница, клевер, полевка, желудь, карась}\},$

$S(X) = \{\text{пресмыкающееся, двуногое, четырехногое, плавающее, летающее}\},$

$S(Y) = \{\text{живое существо, зерно, трава, орех}\},$

$B = \{\text{обитатель суши, обитатель воды, растительность}\},$

$R = \{\text{хищник, жертва}\}.$

Трофическую структуру ("х поедает у") такой экосистемы можно описать следующей таблицей 2.1:

Таблица 2.1. Трофическая структура экосистемы							
$Y \setminus X$	Человек	Тигр	Коршун	Щука	Змея	Кабан	Баран
Газель	1	1	0	0	0	0	0
Пшеница	1	0	0	0	0	1	0
Клевер	0	0	0	0	0	0	1
Полевка	0	0	1	0	1	0	0
Желудь	0	0	0	0	0	1	0
Карась	1	0	0	1	0	0	0

Информационное описание системы с помощью графа представлено на рис. 2.7

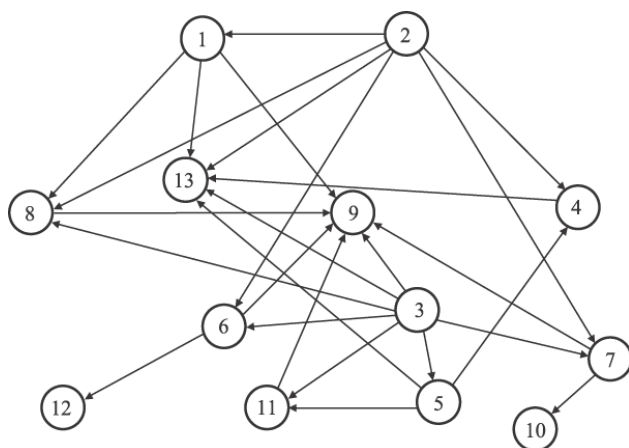


Рис. 2.7. Граф информационного описания: 1 - человек, 2 - тигр, 3 - коршун, 4 - щука, 5 - змея, 6 - кабан, 7 - баран, 8 - газель, 9 - пшеница, 10 - клевер, 11 - полевка, 12 - желудь, 13 - карась

Если использовать результаты популяционной динамики, то можно, используя приведенное морфологическое описание системы, записать адекватное функциональное описание системы. В частности, динамику взаимоотношений в данной системе можно записать в виде уравнений Лотка-Вольтерра:

$$x'_i(t) = x_i(t)(a_i - \sum_{j=1}^7 b_{ij} x_j(t)), \quad x_i(0) = x_{i0}, \quad i = 1, 2, \dots, 6$$

где $x_i(t)$ - численность (плотность) i -й популяции, b_{ij} - коэффициент поедания i -го вида жертв j -ым видом хищников (прожорливости), a_i - коэффициент рождаемости i -го вида.

Пример. Рассмотрим систему "Информационный центр". Входная, выходная и внутрисистемная информация представляется документами, графическими, аудио- и видеофайлами, программами и т.д. Системные функции: предоставление машинного времени, обработка данных, поиск информации, создание и обработка архивов и баз данных. Системные цели: внедрение новых информационных технологий, внедрение новых методов обучения персонала и пользователей, повышение эффективности поиска, получения, обработки и хранения информации. Описание системы: $x(t+1) = x(t) - a(t)x(t) + b(t)x(t)$, где $x(t)$ - эффективность методов работы с информацией в момент времени t ; $a(t)$ - коэффициент компьютерной неграмотности пользователей; $b(t)$ - коэффициент, показывающий степень внедрения новых аппаратно-программных средств.

Пример. Система "Корпоративная сеть", $S = \langle A, B, R, V, Q \rangle$, $A = \{\text{Терминал, Файловый Сервер, Почтовый Сервер, Концентратор, Маршрутизатор, Сетевой Принтер}\}$, $B = \{\text{Рабочая станция, Серверная станция, Устройства передачи пакетов из одной подсети в другую}\}$, $R = \{\text{Клиент, Сервер}\}$.

С точки зрения морфологического описания, система может быть:

- гетерогенной системой - содержащей элементы разного типа, происхождения (подсистемы, не детализируемые на элементы с точки зрения выбранного подхода морфологического описания);
- гомогенной системой - т.е. содержать элементы только одного типа, происхождения;
- смешанной системой - с гетерогенными и гомогенными подсистемами.

Морфологическое описание системы зависит от учитываемых связей, их глубины (связи между главными подсистемами, между второстепенными подсистемами, между элементами), структуры (линейная, иерархическая, сетевая, матричная, смешанная), типа (прямая связь, обратная связь), характера (позитивная, негативная).

Пример. Морфологическое описание автомата для производства некоторого изделия может включать геометрическое определение изделия, программу (задание последовательности действий по обработке заготовки), изложение операционной обстановки (маршрут обработки, ограничения действий и др.). Описание зависит от типа, глубины связей, структуры изделия и др.

Основные признаки системы:

- целостность, связность или относительная независимость от среды и систем (наиболее существенная количественная характеристика системы). С исчезновением связности исчезает и система, хотя элементы системы и даже некоторые отношения между ними могут быть сохранены;
- наличие подсистем и связей между ними или наличие структуры системы (наиболее существенная качественная характеристика системы). С исчезновением подсистем или связей между ними может исчезнуть и сама система;

- возможность обособления или абстрагирования от окружающей среды, т.е. относительная обособленность от тех факторов среды, которые в достаточной мере не влияют на достижение цели;
- связи с окружающей средой по обмену ресурсами;
- подчиненность всей организации системы некоторой цели (как это, впрочем, следует из определения системы);
- эмерджентность или несводимость свойств системы к свойствам элементов.

Целое всегда есть система, а целостность всегда присуща системе, проявляясь в системе в виде симметрии, повторяемости (цикличности), адаптируемости и саморегуляции, наличии и сохранении инвариантов.

"В организованной системе каждая часть или сторона дополняет собой другие и в этом смысле нужна для них как орган целого, имеющий особое значение" (Богданов А.А.).

При системном анализе объектов, процессов, явлений необходимо пройти (в указанном порядке) следующие этапы системного анализа:

1. Обнаружение проблемы (задачи).
2. Оценка актуальности проблемы.
3. Формулировка целей, их приоритетов и проблем исследования.
4. Определение и уточнение ресурсов исследования.
5. Выделение системы (из окружающей среды) с помощью ресурсов.
6. Описание подсистем (вскрытие их структуры), их целостности (связей), элементов (вскрытие структуры системы), анализ взаимосвязей подсистем.
7. Построение (описание, формализация) структуры системы.
8. Установление (описание, формализация) функций системы и ее подсистем.
9. Согласование целей системы с целями подсистем.
10. Анализ (испытание) целостности системы.
11. Анализ и оценка эмерджентности системы.
12. Испытание, верификация системы (системной модели), ее функционирования.
13. Анализ обратных связей в результате испытаний системы.
14. Уточнение, корректировка результатов предыдущих пунктов.

Вопросы для самоконтроля

- Что такое цель, структура, система, подсистема, задача, решение задачи, проблема?
- Каковы основные признаки и топологии систем? Каковы их основные типы описаний?
- Каковы этапы системного анализа? Каковы основные задачи этих этапов?

Задачи и упражнения

1. Каковы подсистемы системы "ВУЗ"? Какие связи между ними существуют? Описать их внешнюю и внутреннюю среду, структуру. Классифицировать (с пояснениями) подсистемы. Описать вход, выход, цель, связи указанной системы и ее подсистем. Нарисовать топологию системы.
2. Привести пример некоторой системы, указать ее связи с окружающей средой, входные и выходные параметры, возможные состояния системы, подсистемы. Пояснить на этом примере (т.е. на примере одной из задач), возникающих в данной

системе конкретный смысл понятий "решить задачу" и "решение задачи".
Поставить одну проблему для этой системы.

3. Привести морфологическое, информационное и функциональное описания одной-двух систем. Являются ли эти системы плохо структурируемыми, плохо формализуемыми системами? Как можно улучшить их структурированность и формализуемость?

Темы для научных исследований и рефератов, интернет-листов

1. Плохо структурируемые и формализуемые системы.
2. Свойства систем, их актуальность и необходимость. Примеры.
3. Этапы системного анализа, их основные цели, задачи.

3. Лекция: Функционирование и развитие системы

Рассматриваются основные понятия, касающиеся поведения систем - функционирование и развитие (эволюция), а также саморазвитие систем, необходимые для их изучения понятия теории отношений и порядка.

Цель лекции: введение в основы деятельности систем - функционирование и развитие, саморазвитие, необходимый математический аппарат для их рассмотрения - алгебру отношений.

Деятельность (работа) системы может происходить в двух основных режимах: развитие (эволюция) и функционирование.

Функционированием называется деятельность, работа системы без смены (главной) цели системы. Это проявление функции системы во времени.

Развитием называется деятельность системы со сменой цели системы.

При функционировании системы явно не происходит качественного изменения инфраструктуры системы; при развитии системы ее инфраструктура качественно изменяется.

Развитие - борьба организации и дезорганизации в системе, она связана с накоплением и усложнением информации, ее организации.

Пример. Информатизация страны в ее наивысшей стадии - всемерное использование различных баз знаний, экспертных систем, когнитивных методов и средств, моделирования, коммуникационных средств, сетей связи, обеспечение информационной а, следовательно, любой безопасности и др.; это революционное изменение, развитие общества. Компьютеризация общества, региона, организации без постановки новых актуальных проблем, т.е. "навешивание компьютеров на старые методы и технологии обработки информации" - это функционирование, а не развитие. Упадок моральных и этических ценностей в обществе, потеря цели в жизни могут также привести к "функционированию" не только отдельных людей, но и социальных слоев.

Любая актуализация информации связана с актуализацией вещества, энергии и наоборот.

Пример. Химическое развитие, химические реакции, энергия этих реакций в организмах людей приводят к биологическому росту, движению, накоплению биологической энергии; эта энергия - основа информационного развития, информационной энергии; последняя определяет энергетику социального движения и организации в обществе.

Пример. Классически принято считать, что в процессе фотосинтеза выделяется кислород и поглощается углекислота (в растениях, водорослях и некоторых микроорганизмах) и одновременно под воздействием света выделяется углекислота и поглощается кислород, - происходит дыхание (или, точнее, фотодыхание). Биоэнергетическое уравнение фотосинтеза и дыхания растений (организмов) имеет вид



Биоэнергоинформационный вариант этой формулы может иметь вид



Такая интерпретация не только учитывает, но и помогает лучше понять биоэнергоинформационное развитие системы и сложные информационные процессы, происходящие в биологической системе с энергетическими потоками.

Пример. При высокой освещенности и наличии кислорода в растении запускается внутренний механизм поглощения углекислоты (т.е. управление передается программе "Поглощение углекислоты"), который уже после запуска может происходить и в темноте, приводя к поглощению углекислоты или снижению фотосинтеза (программа "Выделение кислорода" переходит в "фоновый режим"). Соответствующая информация по подсистемам системы "Растение" передается при этом по волокнам растений.

Если в системе количественные изменения характеристик элементов и их отношений приводит к качественным изменениям, то такие системы называются развивающимися системами. Развивающиеся системы имеют ряд отличительных сторон, например, могут самопроизвольно изменять свое состояние, в результате взаимодействия с окружающей средой (как детерминированно, так и случайно). В развивающихся системах количественный рост элементов и подсистем, связей системы приводит к качественным изменениям (системы, структуры), а жизнеспособность (устойчивость) системы зависит от изменения связей между элементами (подсистемами) системы.

Пример. Развитие языка как системы зависит от развития и связей составных элементов - слова, понятия, смысла и т.д. Формула для чисел Фибоначчи: $x_n = x_{n-1} + x_{n-2}$, $n > 2$, $x_1 = 1$, $x_2 = 1$ однозначно определяет развивающуюся систему чисел. Если же рассматривать числа: 1, 1, 2, 5, 29, ..., то нетрудно заметить, что начальный отрезок похож на ряд Фибоначчи, но это

впечатление обманчиво. На самом деле, каждый член ряда (с третьего) получается не сложением двух предыдущих, а сложением их квадратов. Математически этот закон записывается совсем в другом виде: $x_n = (x_{n-1})^2 + (x_{n-2})^2$, $n=3, 4, \dots$. В "числовой записи" ряда, в отличие от аналитической, таким образом, имела некоторая неустойчивость, так как задание лишь первых четырех членов этого ряда могло привести к неверным выводам о поведении системы.

Основные признаки развивающихся систем:

- самопроизвольное изменение состояния системы;
- противодействие (реакция) влиянию окружающей среды (другим системам), приводящее к изменению первоначального состояния среды;
- постоянный поток ресурсов (постоянная работа по их перетоку "среда-система"), направленный против уравнивания их потока с окружающей средой.

Если развивающаяся система эволюционирует за счет собственных материальных, энергетических, информационных, человеческих или организационных ресурсов внутри самой системы, то такие системы называются саморазвивающимися (самодостаточно развивающимися). Это форма развития системы - "самая желанная" (для поставленной цели).

Пример. Если на рынке труда повысится спрос на квалифицированный труд, то появится стремление к росту квалификации, образования, что приведет к появлению новых образовательных услуг, качественно новых форм повышения квалификации, например, дистанционных. Развитие фирмы, появление сети филиалов может привести к новым организационным формам, в частности, к компьютеризованному офису, более того, - к высшей стадии развития автоматизированного офиса - виртуальному офису или же виртуальной корпорации. Нехватка времени для шоппинга, например, у занятых и компьютерно грамотных молодых людей с достаточным заработком ("яппи") повлияло на возникновение и развитие интернет-торговли.

Для оценки развития, развиваемости системы часто используют не только качественные, но и количественные оценки, а также оценки смешанного типа.

Пример. В системе ООН для оценки социально-экономического развития стран используют индекс HDI (Human Development Index - индекс человеческого развития, потенциала), который учитывает 4 основных параметра, изменяемых от минимальных до максимальных своих значений:

1. ожидаемая продолжительность жизни населения (25-85 лет);
2. уровень неграмотности взрослого населения (0-100 %);
3. средняя продолжительность обучения населения в школе (0-15 лет);
4. годовой доход на душу населения (200-40000 \$).

Эти сведения приводятся к общему значению HDI, по которому все страны делятся ООН на высокоразвитые, среднеразвитые и низкоразвитые. Страны с развивающимися (саморазвивающимися) экономическими, правовыми, политическими, социальными, образовательными институтами характерны высоким уровнем HDI. В свою очередь, изменение уровня HDI (параметров, от которых он зависит) влияет на саморазвиваемость указанных институтов, в первую очередь - экономических, в частности, саморегулируемость спроса и предложения, отношений производителя и потребителя, товара и стоимости, обучения и стоимости обучения. Уровень HDI, наоборот, также

может привести к переходу страны из одной категории (развитости по данному критерию) в другую, в частности, если в 1994 году Россия стояла на 34 месте в мире (из 200 стран), то в 1996 году - уже на 57-м месте; это приводит к изменениям и во взаимоотношениях с окружающей средой (в данном случае - в политике).

Гибкость системы будем понимать как способность к структурной адаптации системы в ответ на воздействия окружающей среды.

Пример. Гибкость экономической системы - способность к структурной адаптации к изменяющимся социально-экономическим условиям, способность к регулированию, к изменениям экономических характеристик и условий.

Траектория системы определяется ее структурой, элементами, окружением. Для простых систем (будем понимать такие системы как системы не свободные в выборе поведения) траекторию можно изменить, лишь изменив элементы, структуру, окружение. Для непростых (сложных - ниже о них подробнее идет речь) систем изменение траектории может произойти и по другим причинам.

Под регулированием (системы, поведения системы, траектории системы) понимается коррекция управляющих параметров по наблюдениям за траекторией поведения системы с целью возвращения системы в нужное состояние, на нужную траекторию поведения. Под траекторией системы понимается последовательность принимаемых при функционировании системы состояний, которые рассматриваются как некоторые точки во множестве состояний системы. Для физических, биологических и других систем - это фазовое пространство.

Для формализации фактов в системном анализе (как и в математике, информатике и других науках) используется понятия "отношение" и "алгебраическая структура".

Отношение r , определенное над элементами заданного множества X , - это некоторое правило, по которому каждый элемент $x \in X$ связывается с другим элементом (или другими элементами) $y \in X$. Отношение r называется n -рным отношением, если оно связывает n различных элементов X . Множество пар (x, y) , которые находятся в бинарном (2-рном) отношении друг к другу, - подмножество декартового множества $X \times Y$. Отношение r

элементов $x \in X$, $y \in Y$ обозначают как $x \xrightarrow{r} y$, $r(x, y)$ или $r(X, Y)$.

Пример. Рассмотрим классическую схему ЭВМ из устройств: 1 - ввода, 2 - логико-арифметическое, 3 - управления, 4 - запоминающее, 5 - вывода. Отношение "информационный обмен" определим так: устройство i находится в отношении r с устройством j , если из устройства i в устройство j поступает информация. Тогда можно это отношение определить матрицей R отношений (наличие r на пересечении строки i и столбца j свидетельствует о том, что устройство i находится в этом отношении с устройством j , а наличие \emptyset - об отсутствии между ними этого отношения):

$$\begin{pmatrix} \emptyset & r & r & \emptyset \\ \emptyset & \emptyset & r & r \end{pmatrix}$$

$$R = \begin{pmatrix} r & r & \emptyset & r & r \\ \emptyset & r & r & \emptyset & r \end{pmatrix}$$

Отношение, задаваемое фразой "для каждого $x \in X$ " обозначается $\forall x \in X$ и называется квантором общности, а отношение "существует $x \in X$ " имеет обозначение $\exists x \in X$ и называется квантором существования. Факт того, что элементы $x \in X$ связаны, выделены некоторым отношением r , обозначают как $X = \{x: r\}$ или $X = \{x|r\}$.

Композиция (произведение) $r = r_1 \circ r_2$. отношений r_1 и r_2 , заданных над одним и тем же множеством X , - это третье отношение r , определяемое правилом:

$$x \xrightarrow{r} y \Leftrightarrow \left((\exists z \in X) : (x \xrightarrow{r_1} z), (z \xrightarrow{r_2} y) \right)$$

Отношение r называется отношением 1) тождества; 2) рефлексивным; 3) транзитивным; 4) симметричным; 5) обратным к отношению s , если, выполнены, соответственно, условия

1. $x \xrightarrow{r} y \Leftrightarrow (x = y)$
2. $((\forall x \in X): x \xrightarrow{r} x)$
3. $((x \xrightarrow{r} y), (y \xrightarrow{r} z)) \Rightarrow (x \xrightarrow{r} z)$
4. $(x \xrightarrow{r} y) \Rightarrow (y \xrightarrow{r} x)$
5. $(x \xrightarrow{s} y) \Leftrightarrow (y \xrightarrow{r} x)$

Пример. Бинарное отношение равенства чисел "=" - рефлексивное (так как $x=x$), симметричное (так как $x=y \Rightarrow y=x$), транзитивное (так как $x=y, y=z \Rightarrow x=z$). Бинарное отношение "иметь общий делитель" - рефлексивное, симметричное, транзитивное (проверить). Бинарное отношение вложенности множеств " \subseteq " - рефлексивное, антисимметричное, транзитивное (проверить).

Частично упорядоченной по отношению r системой X называется система, для которой (т.е. для любых элементов которой) задано отношение $r(X)$, являющееся транзитивным, несимметричным, рефлексивным.

Упорядоченная по отношению $r(X)$ система - система X , такая, что $\forall x, y \in X$, либо $x \xrightarrow{r} y$, либо $y \xrightarrow{r} x$.

Система с заданным на ней (на определяющем ее множестве элементов) отношением частичного упорядочивания называется системой с порядком, а система с заданным отношением упорядочивания - системой с полным порядком.

Пример. Пусть N - множество натуральных чисел. Отношение $r(x,y)$: " x кратно y " определенное на N , как легко проверить, является отношением частичного порядка. Отношение $r(x,y)$: " $x \leq y$ " определенное на множестве действительных чисел R , - отношение частичного порядка и полного порядка. Отношение $r(x,y)$: " $x < y$ " определенное на R не является отношением полного порядка (не рефлексивно). Отношение вложенности множеств " \subseteq " - отношение частичного упорядочивания множеств, определенное на множестве всех множеств, но оно не является отношением полного порядка (не для любых двух множеств имеет место включение в ту или иную сторону).

Теперь можно дать и формализованное определение понятия структуры.

Структурой, определенной над множеством (или на множестве) X называется некоторое отношение над X типа упорядочивания. Более формальное, математическое определение: структура (решетка) - частично упорядоченное множество X , для которого любое двухэлементное подмножество $\{x, y\}$ из X имеет наибольший или наименьший элемент (супремум или инфимум).

Таким образом, систему можно понимать как целостный комплекс (кортеж) объектов $S = \langle A, R \rangle$, $A = \{a\}$, $R = \{r\}$, где r - отношение над A , A - произвольное множество элементов. Такая система называется замкнутой системой. В замкнутых системах важная характеристика функционирования системы - внутренняя структура системы. Замкнутые системы - абстрактный продукт, продукт мышления, логического построения. Они ограничены ("замкнуты") уровнем их теоретического рассмотрения.

Если Y - множество элементов внешней (по отношению к A) среды C , а в C определены отношения r над C , то тогда кортеж $S = \langle A, Y, R \rangle$ задает, определяет открытую систему. В открытых системах важной характеристикой функционирования является обмен системы ресурсами (одного или нескольких типов) с другими системами, с окружающей средой, а также характер этого обмена.

Транзитивное, рефлексивное, симметричное отношение называется отношением эквивалентности. Отношение эквивалентности $r(X)$ разбивает множество систем X на классы или классы эквивалентности - непустые и непересекающиеся множества систем, каждое из которых вместе с любым своим элементом содержит также все элементы X , эквивалентные ему по отношению $r(X)$, и не содержит других $x \in X$.

Теорема. Два класса эквивалентности над одним и тем же множеством не пересекаются. Если два элемента $x, y \in X$ не связаны отношением эквивалентности $r(x, y)$, определенным на X , то классы эквивалентности по этим элементам не пересекаются. Если на множестве X задано отношение эквивалентности $r(x, y)$, $x, y \in X$, а X_x, X_y - классы эквивалентности по x, y соответственно, то $X_x = X_y$.

Пример. Отношение между x, y , выражаемое равенством $x = y + ka$, $x, y, k, a \in \mathbb{Z}$, называется отношением сравнения x и y по модулю a и записывается как $x = y \pmod{a}$. Это отношение является отношением эквивалентности:

1. $x = x \pmod{a}$, $k=0$ (рефлексивность);
2. $x = y \pmod{a} \Rightarrow x = y + ka \Rightarrow y = x + (-k)a \Rightarrow y = x \pmod{a}$ (симметричность);
3. $x = y \pmod{a}$, $y = z \pmod{a} \Rightarrow x = y + ka$, $y = z + ma \Rightarrow x = z + (k+m)a \Rightarrow x = z \pmod{a}$ (транзитивность).

Множество целых чисел \mathbb{Z} разбивается этим отношением на k классов:

$$X_0 = \{x: x = ka, k, a \in \mathbb{Z}\},$$

$$X_1 = \{x: x = 1 + ka, k, a \in \mathbb{Z}\},$$

$$X_2 = \{x: x = 2 + ka, k, a \in \mathbb{Z}\},$$

...

$$X_{k-1} = \{x: x=k-1+ka, k, a \in \mathbb{Z}\}.$$

В частности, при $k=2$ происходит разбиение множества \mathbb{Z} на множество X_0 - четных и множество X_1 - нечетных чисел; при $k=3$ - множество \mathbb{Z} разбивается на классы X_0 - кратные 3, X_1 - дающие при делении на 3 остаток 1, X_2 - дающие при делении на 3 остаток 2.

Две системы назовем эквивалентными, если они имеют одинаковые цели, составляющие элементы, структуру. Между такими системами можно установить отношение (строго говоря, эквивалентности) некоторым конструктивным образом.

Можно также говорить об "ослабленном" типе эквивалентности - эквивалентности по цели (элементам, структуре).

Пусть даны две эквивалентные системы X и Y и система X обладает структурой (или свойством, величиной) I . Если из этого следует, что и система Y обладает этой структурой (или свойством, величиной) I , то I называется инвариантом систем X и Y . Можно говорить об инвариантном содержании двух и более систем или об инвариантном погружении одной системы в другую. Инвариантность двух и более систем предполагает наличие такого инварианта.

Пример. Если рассматривать процесс познания в любой предметной области, познания любой системы, то глобальным инвариантом этого процесса является его спиралевидность. Следовательно, спираль познания - это инвариант любого процесса познания, независимый от внешних условий и состояний (хотя параметры спирали и его развертывание, например, скорость и крутизна развертывания зависят от этих условий). Цена - инвариант экономических отношений, экономической системы; она может определять и деньги, и стоимость, и затраты. Понятие "система" - инвариант всех областей знания.

Соответствие S - бинарное отношение r над множеством $X \times Y$:

$$S = \{(x, y) : (x \xrightarrow{r} y), (x, y) \in X \times Y\}$$

Обратное соответствие к r - это соответствие $S^{-1} \subseteq Y \times X$ вида

$$S^{-1} = \{(y, x) : (x \xrightarrow{r} y), (x, y) \in X \times Y\}$$

Отношения часто используются при организации и формализации систем. При этом для них (над ними) вводятся следующие основные операции:

1. объединение двух отношений $r_1(x_1, x_2, \dots, x_n)$, $r_2(x_1, x_2, \dots, x_n)$, заданных над множеством X , есть третье отношение $r_3(X) = r_1 \cup r_2$ получаемое как теоретико-множественное объединение всех элементов X , для которых справедливо r_1 или r_2 ;
2. пересечение - $r_3(X) = r_1 \cap r_2$ - теоретико-множественное пересечение всех элементов из X , для которых справедливы r_1 и r_2 ;
3. проекция отношения $r_1(X)$ размерности k , т.е. отношения $r_1 = r_1(x_1, x_2, \dots, x_k)$, связывающего элементы $x_1, x_2, \dots, x_k \in X$ (это могут быть и не первые k элементов), -

- это отношение r_2 размерности $m < k$, т.е. оно использует некоторые из аргументов (параметров) исходного отношения;
4. разность двух отношений $r_1(x_1, x_2, \dots, x_k)$, $r_2(x_1, x_2, \dots, x_k)$ - это отношение $r_3 = r_1 - r_2$, состоящее из всех тех элементов X , для которых справедливо отношение r_1 , но не справедливо отношение r_2 ;
 5. декартово произведение двух отношений $r_2(x_1, x_2, \dots, x_k)$ и $r_1(x_{n+1}, x_{n+2}, \dots, x_{n+m})$ - отношение $r_3 = r_1 \times r_2$, составленное всевозможными комбинациями всех элементов X , для которых справедливы отношения r_1, r_2 ; первые n компонентов отношения r_3 образуют элементы, для которых справедливо отношение r_1 , а для последних m элементов справедливо отношение r_2 ;
 6. селекция (отбор, выборка) по критерию q компонентов, принадлежащих отношению r ; критерий q - некоторый предикат.

Алгебры отношений часто называют реляционными алгебрами.

В связи с употреблением интуитивно известного понятия "алгебра" уточним эту структуру, так она часто используется как основной аппарат наиболее формализованного описания систем. Алгебра - наиболее адекватный математический аппарат описания действий с буквами, поэтому алгебраические методы наилучшим образом подходят для описания и формализации различных информационных систем.

Алгеброй $A = \langle X, f \rangle$ называется некоторая совокупность определенных элементов X , с заданными над ними определенными операциями f (часто определяемые по сходству с операциями сложения и умножения чисел), которые удовлетворяют определенным свойствам - аксиомам алгебры.

Операция f называется n -местной, если она связывает n операндов (объектов - участников этой операции).

Совокупность $F = \{f\}$ операций алгебры A называется ее сигнатурой, а совокупность элементов $X = \{x\}$ - носителем алгебры.

Алгеброй Буля называется алгебра с введенными в ней двумя двухместными операциями, которые поименованы, по аналогии с арифметикой чисел, сложением и умножением, и одной одноместной операцией, называемой штрих-операцией или инверсией, причем эти операции удовлетворяют аксиомам (законам) алгебры Буля:

1. коммутативности - $x+y = y+x$, $xy = yx$;
2. ассоциативности - $(x+y)+z = x+(y+z)$, $(xy)z = x(yz)$;
3. идемпотентности - $x+x = x$, $xx = x$;
4. дистрибутивности - $(x+y)z = xz+yz$, $x(y+z) = (x+y)z$;
5. инволюции (двойной инверсии) - $\overline{\overline{x}} = x$;
6. поглощения - $x(x+y) = x$, $x+xy = x$;
7. де Моргана - $x+y = \overline{\overline{x}\overline{y}}$, $xy = \overline{\overline{x}+\overline{y}}$;
8. нейтральности: $x(y+y) = x$, $x+yu = x$;
9. существования двух особых элементов (называемых "единица -1" и "нуль-0"), причем $0 = 1$, $1 = 0$, $x+x = 1$, $xx = 0$.

Группоид - алгебра $A = \langle X, f \rangle$ с одной двухместной операцией f .

Полугруппа - группоид, в системе аксиом которой есть аксиома ассоциативности. Поэтому она называется ассоциативным группоидом.

Пример. Пусть $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ - некоторый алфавит. Тогда он образует полугруппу относительно операции конкатенации слов из $S(X)$. В таких (называемых свободными) полугруппах рассматривается одна из важнейших алгебраических проблем информатики в полугруппах - проблема тождества слов: указать конструктивный процесс установления совпадения двух слов из полугруппы $S(X)$. Эта проблема алгоритмически неразрешима и встречается, например, при разработке архитектуры процессора.

Группа - полугруппа с единицей (с элементом e : $ea=ae=a$), в которой бинарная операция f является однозначно обратимой, т.е. на этом множестве (на его носителе) разрешимы однозначно уравнения вида $xfa=b$, $afx=b$.

Пример. Пусть $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ - некоторая свободная полугруппа. Каждому из x_i , $i=1, 2, \dots, n$ сопоставим его обратный элемент x_i^{-1} , а единицу положим равной пустому слову ϵ . Тогда X образует (свободную) группу, если в качестве критерия разрешимости уравнений выбрать соотношения: $x_i x_i^{-1} = \epsilon$, $x_i^{-1} x_i = \epsilon$. Одна из важнейших алгебраических проблем информатики в группах - проблема изоморфизма (преобразования с сохранением групповой операции) двух групп: указать конструктивный процесс установления такого преобразования одной группы к другой. Эта проблема возникает при обработке информации, преобразовании одной информационной системы к другой с сохранением информации.

Кольцо - алгебра с двумя бинарными операциями: по одной из них (умножение) она является группоидом, а по другой (сложение) - группой с аксиомой коммутативности (абелевой группой), причем эти операции связаны между собой аксиомами дистрибутивности.

Поле - кольцо, у которого все ненулевые элементы по одной из операций образуют абелеву группу.

Пример. Множество рациональных, действительных чисел, квадратных матриц - образуют поля, и кольца.

Изоморфизм двух упорядоченных (по отношению r) множеств X и Y - такое взаимно-однозначное соответствие $f: X \rightarrow Y$, где из того, что $x_1 \in X$ и $x_2 \in X$ находятся в отношении r следует, что $y_1=f(x_1)$ и $y_2=f(x_2)$ находятся в отношении r и наоборот.

Изоморфизм позволяет исследовать инвариантное, общее (системное) в структурах, переносить знания (информацию) от одних структур к другим, прокладывать и усиливать междисциплинарные связи.

Свойство может существовать как структура независимо от системы, ее носителя, а система предоставляет (через свою структуру) возможность (потенцию) свойству взаимодействовать с другими системами (с другими свойствами систем), обладающими таким же свойством.

Вопросы для самоконтроля

1. Каковы основные сходства и отличия функционирования и развития, развития и саморазвития системы?
2. В чем состоит гибкость, открытость, закрытость системы?
3. Какие системы называются эквивалентными? Что такое инвариант систем? Что такое изоморфизм систем?

Задачи и упражнения

1. Составить спецификации систем (описать системы), находящихся в режиме развития и в режиме функционирования. Указать все атрибуты системы.
2. Привести примеры систем, находящихся в отношении: а) рефлексивном, симметричном, транзитивном; б) несимметричном, рефлексивном, транзитивном; в) нетранзитивном, рефлексивном, симметричном; г) нерефлексивном, симметричном, транзитивном; д) эквивалентности.
3. Найти и описать две системы, у которых есть инвариант. Изоморфны ли эти системы?

Темы для научных исследований и рефератов, интернет-листов

1. Функционирование систем, развитие и саморазвитие систем: сравнительный анализ.
2. Гибкость, связность, эквивалентность и инвариантность систем: сравнительный анализ.
3. Алгебра отношений как универсальный аппарат теории систем.

4. Лекция: Классификация систем

Рассматриваются основные типы и классы систем, понятия большой и сложной системы, типы сложности систем, примеры способов определения (оценки) сложности.

Цель лекции: введение в способы классификации систем, большие и сложные системы.

Классификацию систем можно осуществить по разным критериям. Проводить ее жестко - невозможно, она зависит от цели и ресурсов. Приведем основные способы классификации (возможны и другие критерии классификации систем).

1. По отношению системы к окружающей среде:
 - открытые (есть обмен ресурсами с окружающей средой);
 - закрытые (нет обмена ресурсами с окружающей средой).
2. По происхождению системы (элементов, связей, подсистем):
 - искусственные (орудия, механизмы, машины, автоматы, роботы и т.д.);
 - естественные (живые, неживые, экологические, социальные и т.д.);
 - виртуальные (воображаемые и, хотя реально не существующие, но функционирующие так же, как и в случае, если бы они существовали);
 - смешанные (экономические, биотехнические, организационные и т.д.).
3. По описанию переменных системы:
 - с качественными переменными (имеющие лишь содержательное описание);
 - с количественными переменными (имеющие дискретно или непрерывно описываемые количественным образом переменные);
 - смешанного (количественно-качественное) описания.
4. По типу описания закона (законов) функционирования системы:
 - типа "Черный ящик" (неизвестен полностью закон функционирования системы; известны только входные и выходные сообщения);
 - не параметризованные (закон не описан; описываем с помощью хотя бы неизвестных параметров; известны лишь некоторые априорные свойства закона);
 - параметризованные (закон известен с точностью до параметров и его возможно отнести к некоторому классу зависимостей);
 - типа "Белый (прозрачный) ящик" (полностью известен закон).
5. По способу управления системой (в системе):
 - управляемые извне системы (без обратной связи, регулируемые, управляемые структурно, информационно или функционально);
 - управляемые изнутри (самоуправляемые или саморегулируемые - программно управляемые, регулируемые автоматически, адаптируемые - приспособляемые с помощью управляемых изменений состояний, и самоорганизующиеся - изменяющие во времени и в пространстве свою структуру наиболее оптимально, упорядочивающие свою структуру под воздействием внутренних и внешних факторов);
 - с комбинированным управлением (автоматические, полуавтоматические, автоматизированные, организационные).

Пример. Рассмотрим экологическую систему "Озеро". Это открытая, естественного происхождения система, переменные которой можно описывать смешанным образом (количественно и качественно, в частности, температура водоема - количественно описываемая характеристика), структуру обитателей озера можно описать и качественно, и количественно, а красоту озера можно описать качественно. По типу описания закона функционирования системы, эту систему можно отнести к не параметризованным в

целом, хотя возможно выделение подсистем различного типа, в частности, различного описания подсистемы "Водоросли", "Рыбы", "Впадающий ручей", "Вытекающий ручей", "Дно", "Берег" и др. Система "Компьютер" - открытая, искусственного происхождения, смешанного описания, параметризованная, управляемая извне (программно). Система "Логический диск" - открытая, виртуальная, количественного описания, типа "Белый ящик" (при этом содержимое диска мы в эту систему не включаем!), смешанного управления. Система "Фирма" - открытая, смешанного происхождения (организационная) и описания, управляемая изнутри (адаптируемая, в частности, система).

Система называется большой, если ее исследование или моделирование затруднено из-за большой размерности, т.е. множество состояний системы S имеет большую размерность. Какую же размерность нужно считать большой? Об этом мы можем судить только для конкретной проблемы (системы), конкретной цели исследуемой проблемы и конкретных ресурсов.

Большая система сводится к системе меньшей размерности использованием более мощных вычислительных средств (или ресурсов) либо разбиением задачи на ряд задач меньшей размерности (если это возможно).

Пример. Это особенно актуально при разработке больших вычислительных систем, например, при разработке компьютеров с параллельной архитектурой или алгоритмов с параллельной структурой данных и с их параллельной обработкой.

Почти во всех учебниках можно встретить словосочетания "сложная задача", "сложная проблема", "сложная система" и т.п. Интуитивно, как правило, под этими понятиями понимается какое-то особое поведение системы или процесса, делающее невозможным (непреодолимая сложность) или особо трудным (преодолимая сложность) описание, исследование, предсказание или оценку поведения, развития системы.

Определения сложности - различны.

Система называется сложной, если в ней не хватает ресурсов (главным образом, информационных) для эффективного описания (состояний, законов функционирования) и управления системой - определения, описания управляющих параметров или для принятия решений в таких системах (в таких системах всегда должна быть подсистема принятия решения).

Сложной считают иногда такую систему, для которой по ее трем видам описания нельзя выявить ее траекторию, сущность, и поэтому необходимо еще дополнительное интегральное описание (интегральная модель поведения, или конфигуратор) - морфолого-функционально-инфологическое.

Пример. Сложными системами являются, например, химические реакции, если их исследовать на молекулярном уровне; клетка биологического образования, взятая на метаболическом уровне; мозг человека, если его исследовать с точки зрения выполняемых человеком интеллектуальных действий; экономика, рассматриваемая на макроуровне (т.е. макроэкономика); человеческое общество - на политико-религиозно-культурном уровне; ЭВМ (особенно пятого поколения) как средство получения знаний; язык - во многих аспектах его рассмотрения.

В сложных системах результат функционирования не может быть задан заранее, даже с некоторой вероятностной оценкой адекватности. Причины такой неопределенности - как

внешние, так и внутренние, как в структуре, так и в описании функционирования, эволюции. Сложность этих систем обусловлена их сложным поведением. Сложность системы зависит от принятого уровня описания или изучения системы - макроскопического или микроскопического. Сложность системы может определяться не только большим количеством подсистем и сложной структурой, но и сложностью поведения.

Сложность системы может быть внешней и внутренней.

Внутренняя сложность определяется сложностью множества внутренних состояний, потенциально оцениваемых по проявлениям системы и сложности управления в системе.

Внешняя сложность определяется сложностью взаимоотношений с окружающей средой, сложностью управления системой, потенциально оцениваемых по обратным связям системы и среды.

Сложные системы бывают разных типов сложности:

- структурной или организационной (не хватает ресурсов для построения, описания, управления структурой);
- динамической или временной (не хватает ресурсов для описания динамики поведения системы и управления ее траекторией);
- информационной или информационно-логической, инфологической (не хватает ресурсов для информационного, информационно-логического описания системы);
- вычислительной или реализации, исследования (не хватает ресурсов для эффективного прогноза, расчетов параметров системы, или их проведение затруднено из-за нехватки ресурсов);
- алгоритмической или конструктивной (не хватает ресурсов для описания алгоритма функционирования или управления системой, для функционального описания системы);
- развития или эволюции, самоорганизации (не хватает ресурсов для устойчивого развития, самоорганизации).

Чем сложнее рассматриваемая система, тем более разнообразные и более сложные внутренние информационные процессы приходится актуализировать для того, чтобы была достигнута цель системы, т.е. система функционировала или развивалась.

Пример. Поведение ряда различных реальных систем (например, соединенных между собой проводников с сопротивлениями x_1, x_2, \dots, x_n или химических соединений с концентрациями x_1, x_2, \dots, x_n , участвующих в реакции химических реагентов) описывается системой линейных алгебраических уравнений, записываемых в матричном виде:

$$X = AX + B$$

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}$$

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \cdot \\ b_n \end{pmatrix}$$

Заполнение матрицы A (ее структура) будет отражать сложность описываемой системы. Если, например, матрица A - верхнетреугольная матрица (элемент, расположенный на пересечении i -ой строки и j -го столбца всегда равен 0 при $i > j$), то независимо от n (размерности системы) она легко исследуется на разрешимость. Для этого достаточно выполнить обратный ход метода Гаусса. Если же матрица A - общего вида (не является ни симметричной, ни ленточной, ни разреженной и т.д.), то систему сложнее исследовать (так как при этом необходимо выполнить более сложную вычислительно и динамически процедуру прямого хода метода Гаусса). Следовательно, система будет обладать структурной сложностью (которая уже может повлечь за собой и вычислительную сложность, например, при нахождении решения). Если число n достаточно велико, то неразрешимость задачи хранения матрицы A верхнетреугольного вида в оперативной памяти компьютера может стать причиной вычислительной и динамической сложности исходной задачи. Попытка использовать эти данные путем считывания с диска приведет к многократному увеличению времени счета (увеличит динамическую сложность - добавятся факторы работы с диском).

Пример. Пусть имеется динамическая система, поведение которой описывается задачей Коши вида

$$y'(t) = ky(t), \quad y(0) = a$$

Эта задача имеет решение:

$$y(t) = ae^{-kt}$$

Отсюда видно, что $y(t)$ при $k=10$ изменяется на порядок быстрее, чем $y(t)$ при $k=1$, и динамику системы сложнее будет отслеживать: более точное предсказание для $t \rightarrow 0$ и малых k связано с дополнительными затратами на вычисления. Следовательно, алгоритмически, информационно, динамически и структурно "не очень сложная система" (при $a, k \neq 0$) может стать вычислительно и, возможно, эволюционно сложной (при $t \rightarrow 0$), а при больших t ($t \rightarrow \infty$) - и непредсказуемой. Например, для больших t значения накапливаемых погрешностей вычислений решения могут перекрыть значения самого решения. Если при этом задавать нулевые начальные данные $a \neq 0$, то система может

перестать быть, например, информационно несложной, особенно, если а трудно априорно определить.

Пример. Упрощение технических средств работы в сетях, например, научные достижения, позволяющие подключать компьютер непосредственно к сети, "к розетке электрической сети", наблюдается наряду с усложнением самих сетей, например, с увеличением количества абонентов и информационных потоков в интернет. Наряду с усложнением самой сети интернет, упрощаются (для пользователя!) средства доступа к ней, увеличиваются ее вычислительные возможности.

Структурная сложность системы оказывает влияние на динамическую, вычислительную сложность. Изменение динамической сложности может привести к изменениям структурной сложности, хотя это не является обязательным условием. Сложной системой может быть и система, не являющаяся большой системой; существенным при этом может стать связность (сила связности) элементов и подсистем системы (см. вышеприведенный пример с матрицей системы линейных алгебраических уравнений).

Сложность системы определяется целями и ресурсами (набором задач, которые она призвана решать).

Пример. Сложность телекоммуникационной сети определяется:

1. необходимой скоростью передачи данных;
2. протоколами, связями и типами связей (например, для селекторного совещания необходима голосовая телеконференция);
3. необходимостью видеосопровождения.

Само понятие сложности системы не является чем-то универсальным, неизменным и может меняться динамически, от состояния к состоянию. При этом и слабые связи, взаимоотношения подсистем могут повышать сложность системы.

Пример. Рассмотрим процедуру деления единичного отрезка $[0; 1]$ с последующим выкидыванием среднего из трех отрезков и достраиванием на выкинутом отрезке равностороннего треугольника (рис. 4.1); эту процедуру будем повторять каждый раз вновь к каждому из остающихся после выкидывания отрезков. Этот процесс является структурно простым, но динамически сложным, более того, образуется динамически интересная и трудно прослеживаемая картина системы, становящейся "все больше и больше, все сложнее и сложнее". Такого рода структуры называются фракталами, или фрактальными структурами (фрактал - от fraction - "дробь" и fracture - "излом", т.е. изломанный объект с дробной размерностью). Его отличительная черта - самоподобие, т.е. сколь угодно малая часть фрактала по своей структуре подобна целому, как ветка - дереву.

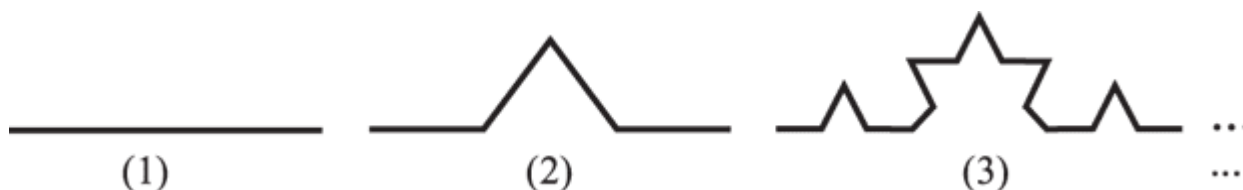


Рис. 4.1. Фрактальный объект (кривая Коха)

Уменьшив сложность системы, часто можно увеличить ее информативность, исследуемость.

Пример. Выбор рациональной проекции пространственного объекта (т.е. более оптимальная визуализация связей и отношений его частей) делает чертеж более информативным. Используя в качестве устройства эксперимента микроскоп, можно рассмотреть некоторые невидимые невооруженным глазом свойства объекта.

Система называется связной, если любые две подсистемы обмениваются ресурсом, т.е. между ними есть некоторые ресурсоориентированные отношения, связи.

При определении меры сложности системы важно выделить инвариантные свойства систем или информационные инварианты и вводить меру сложности систем на основе их описаний.

Здесь приводится математический аппарат, позволяющий формализовать понятие сложности, хотя отметим, что понятие сложности - "сложное".

Мерой ниже будем называть некоторую непрерывную действительную неотрицательную функцию, определенную на множестве событий (систем, множеств) и являющуюся аддитивной, т.е. мера конечного объединения событий (систем, множеств) равна сумме мер каждого события.

Как же определять меру сложности для систем различной структуры? Ответ на этот не менее сложный вопрос не может быть однозначным и даже вполне определённым.

Сложность связывается с мерой $\mu(S)$ - мерой сложности или числовой неотрицательной функцией (критерием, шкалой) заданной (заданным) на некотором множестве элементов и подсистем системы S .

Возможны различные способы определения меры сложности систем. Сложность структуры системы можно определять топологической энтропией - сложностью конфигурации структуры (системы):

$$S = k \ln W,$$

где $k=1,38 \times 10^{-16}$ (эрг / град) - постоянная Больцмана, W - вероятность состояния системы. В случае разной вероятности состояний эта формула будет иметь вид (мы ниже вернемся к детальному обсуждению этой формулы и ее различных модификаций):

$$S = -k \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$$

Пример. Определим сложность иерархической системы как число уровней иерархии. Увеличение сложности при этом требует больших ресурсов для достижения цели. Определим сложность линейной структуры как количество подсистем системы. Определим сложность сетевой структуры как максимальную из сложностей всех линейных структур, соответствующих различным стратегиям достижения цели (путей, ведущих от начальной подсистемы к конечной). Сложность системы с матричной структурой можно определить количеством подсистем системы. Усложнение некоторой подсистемы системы приведет к усложнению всей системы в случае линейной структуры, и, возможно, в случае иерархической, сетевой и матричной структур.

Пример. Для многоатомных молекул число межъядерных расстояний (оно определяет конфигурацию молекулы) можно считать оценкой сложности топологии (геометрической сложности) молекулы. Из химии и математики известна эта оценка: $3N-6$, где N - число атомов в молекуле. Для твердых растворов можно считать W равной числу перестановок атомов разных сортов в заданных позициях структуры; для чистого кристалла $W=1$, для смешанного - $W>1$. Для чистого кристалла сложность структуры $S=0$, а для смешанного - $S>0$, что и следовало ожидать.

Пример. В эколого-экономических системах сложность системы может часто пониматься как эволюционируемость, сложность эволюции системы, в частности, мера сложности - как функция изменений, происходящих в системе в результате контакта с окружающей средой, и эта мера может определяться сложностью взаимодействия между системой (организмом, организацией) и средой, ее управляемости. Эволюционную сложность эволюционирующей системы можно определить как разность между внутренней сложностью и внешней сложностью (сложностью полного управления системой). Решения в данных системах должны приниматься (для устойчивости систем) таким образом, чтобы эволюционная сложность равнялась нулю, т.е. чтобы совпадали внутренняя и внешняя сложности. Чем меньше эта разность, тем устойчивее система, например, чем более сбалансированы внутрирыночные отношения и регулирующие их управляющие государственные воздействия - тем устойчивее рынок и рыночные отношения.

Пример. В математических, формальных системах сложность системы может пониматься как алгоритмизируемость, вычислимость оператора системы S , в частности, как число операции и операндов, необходимых для получения корректного результата при любом допустимом входном наборе. Сложность алгоритма может быть определена количеством операций, осуществляемых командами алгоритма для самого "худшего" (самого длительного по пути достижения цели) тестового набора данных.

Пример. Сложность программного комплекса L может быть определена как логическая сложность и измерена в виде $L = L_1 / L_2 + L_3 + L_4 + L_5$, где L_1 - общее число всех логических операторов, L_2 - общее число всех исполняемых операторов, L_3 - показатель сложности всех циклов (определяется с помощью числа циклов и их вложенности), L_4 - показатель сложности циклов (определяется числом условных операторов на каждом уровне вложенности), L_5 - определяется числом ветвлений во всех условных операторах.

Пример. Аналогично примеру, приведенному в книге Дж. Касти, рассмотрим трагедию В. Шекспира "Ромео и Джульетта". Выделим и опишем 3 совокупности: А - пьеса, акты, сцены, мизансцены; В - действующие лица; С - комментарии, пьеса, сюжет, явление, реплики. Определим иерархические уровни и элементы этих совокупностей.

А:

уровень $N+2$ - Пьеса;

уровень $N+1$ - Акты $\{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\}$;

уровень N - Сцены $\{s_1, s_2, \dots, s_q\}$;

уровень $N-1$ - Мизансцены $\{m_1, m_2, \dots, m_{26}\}$.

В:

уровень N - Действующие лица $\{c_1, c_2, \dots, c_{25}\} = \{\text{Ромео, Джульетта, \dots}\}$.

C:

уровень N+3 - Пролог (адресован непосредственно зрителю и лежит вне действий, разворачивающихся в пьесе);

уровень N+2 - Пьеса;

уровень N+1 - Сюжетные линии $\{p_1, p_2, p_3, p_4\} = \{\text{Вражда семейств Капулетти и Монтекки в Вероне, Любовь Джульетты и Ромео и их венчание, Убийство Тибальда и вражда семейств требует отмщения, Ромео вынужден скрываться, Сватовство Париса к Джульетте, Трагический исход}\}$;

уровень N - Явления $\{u_1, u_2, \dots, u_8\} = \{\text{Любовь Ромео и Джульетты, Взаимоотношения между семейством Капулетти и Монтекки, Венчание Ромео и Джульетты, Схватка Ромео и Тибальда, Ромео вынужден скрываться, Сватовство Париса, Решение Джульетты, Гибель влюблённых}\}$;

уровень N-1 - Реплики $\{r_1, r_2, \dots, r_{104}\} = \{104 \text{ реплики в пьесе, которые определяются как слова, обращённые к зрителю, действующему лицу и развивающие неизвестный пока зрителю сюжет}\}$.

Отношения между этими совокупностями на различных уровнях иерархии определяемы из этих совокупностей. Например, если Y - сюжеты, X - действующие лица, то естественно определить связь I между X, Y так: действующее лицо из совокупности X уровня N+1 участвует в сюжете Y уровня N+1. Тогда связность структуры трагедии можно изобразить следующей схемой (рис. 4.2):

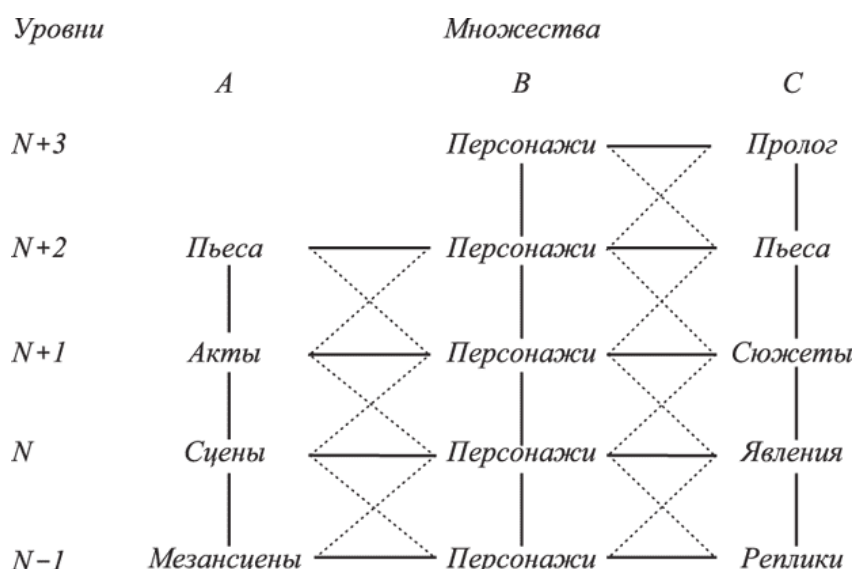


Рис. 4.2. Схема структурных связей пьесы

В этом комплексе $K(Y, X)$ все три сюжета становятся отдельными компонентами только на уровне связности $q=8$. Это означает, что сюжетные линии могут быть различны только для зрителей, следящих за 9 действующими лицами. Аналогично, при $q=6$ имеются всего 2 компоненты $\{p_1, p_2\}$, $\{p_3\}$. Следовательно, если зрители могут отслеживать только 7 персонажей, то они видят пьесу, как бы состоящую из двух сюжетов, где p_1, p_2 (мир влюбленных и вражда семейств) объединены. В комплексе $K(Y, X)$ при $q=5$ имеются 3

компоненты. Следовательно, зрители, видевшие только 6 сцен, воспринимают 3 сюжета, не связанные друг с другом. Сюжеты p_1 и p_2 объединяются при $q=4$, и поэтому зрители могут видеть эти два сюжета как один, если следят только за 5 сценами. Все 3 сюжета сливаются, когда зрители следят лишь за 3 сценами. В комплексе $K(Y, X)$ явление u_8 доминирует в структуре при $q=35$, u_3 - при $q=26$, u_6 - при $q=10$. Следовательно, u_8 вероятнее всего поймут те зрители, которые прослушали 36 реплик, хотя для понимания u_3 необходимо 27 реплик, а для понимания u_6 - только 11 реплик. Таким образом, проведенный анализ дает понимание сложности системы.

В последнее время стали различать так называемые "жесткие" и "мягкие" системы, в основном, по используемым критериям рассмотрения.

Исследование "жестких" систем обычно опирается на категории: "проектирование", "оптимизация", "реализация", "функция цели" и другие. Для "мягких" систем используются чаще категории: "возможность", "желательность", "адаптируемость", "здоровый смысл", "рациональность" и другие. Методы также различны: для "жестких" систем - методы оптимизации, теория вероятностей и математическая статистика, теория игр и другие; для "мягких" систем - многокритериальная оптимизация и принятие решений (часто в условиях неопределенности), метод Дельфи, теория катастроф, нечеткие множества и нечеткая логика, эвристическое программирование и др.

Для "переноса" знаний широко используются инварианты систем и изоморфизм систем. Важно при таком переносе не нарушать свойство эмерджентности системы.

Вопросы для самоконтроля

1. Как классифицируются системы?
2. Какая система называется большой? сложной?
3. Чем определяется вычислительная (структурная, динамическая) сложность системы? Приведите примеры таких систем.

Задачи и упражнения

1. Привести пример одной-двух сложных систем, пояснить причины и тип сложности, взаимосвязь сложностей различного типа. Указать меры (приемы, процедуры) оценки сложности. Построить 3D-, 2D-, 1D-структуры сложных систем. Сделать рисунки, иллюстрирующие основные связи.
2. Выбрав в качестве меры сложности некоторой экосистемы многообразие видов в ней, оценить сложность (многообразие) системы.
3. Привести пример оценки сложности некоторого фрагмента литературного (музыкального, живописного) произведения.

Темы для научных исследований и рефератов, интернет-листов

1. Классификационная система классов систем.
2. Большая и сложная система - взаимопереходы и взаимозависимости.
3. Единство и борьба различных типов сложностей.

5. Лекция: Система, информация, знания

Рассматриваются различные аспекты понятия "информация", типы и классы информации, методы и процедуры актуализации информации.

Цель лекции: введение в суть и значение основного, но плохо формализуемого (и поэтому определяемого обычно упрощенно, с учетом потребностей предметной области) понятия "информация" с точки зрения системного анализа.

Понятие информации - одно из основных, ключевых понятий не только в системном анализе, но и в информатике, математике, физике и др. В то же время, это понятие - плохо формализуемое, из-за его всеобщности, объемности, расплывчатости, и трактуется как:

- любая сущность, которая вызывает изменения в некоторой информационно-логической (инфологической - состоящей из сообщений, данных, знаний, абстракций, структурных схем и т.д.) модели, представляющей систему (математика, системный анализ);
- сообщения, полученные системой от внешнего мира в процессе адаптивного управления, приспособления (теория управления, кибернетика);
- отрицание энтропии, отражение меры хаоса в системе (термодинамика);
- связи и отношения, устраняющие неопределенность в системе (теория информации);
- вероятность выбора в системе (теория вероятностей);
- отражение и передача разнообразия в системе (физиология, биокибернетика);
- отражение материи, атрибут сознания, "интеллектуальности" системы (философия).

Мы будем рассматривать системное понимание этой категории, ничуть не отрицая приведенные выше понятия и, более того, используя их по мере надобности.

Процесс познания - это иерархическая система актуализации информации, в которой знания на каждом следующем уровне иерархии являются интегральным результатом актуализации знаний на предыдущем уровне. Это процесс интеграции информационных ресурсов, от получаемых с помощью простого чувственного восприятия и до сложных аксиоматических и абстрактных теорий.

Данные - синтаксические сигналы, образы, актуализируемые с помощью некоторого источника данных. Они рассматриваются безотносительно к семантическому их смыслу.

Информация - это некоторая последовательность сведений, знаний, которые актуализируемы (получаемы, передаваемы, преобразуемы, сжимаемы, регистрируемы) с помощью некоторых знаков символьного, образного, жестового, звукового, сенсомоторного типа.

Информация - это данные, рассматриваемые с учетом некоторой их семантической сущности.

Знания - информация, обеспечивающая достижение некоторой цели и структуры.

Информация с мировоззренческой точки зрения - отражение реального мира. Информация - приращение, развитие, актуализация знаний, возникающее в процессе целеполагающей интеллектуальной деятельности человека.

Никакая информация, никакое знание не появляется сразу: появлению их предшествует этап накопления, систематизации опытных данных, мнений, взглядов, их осмысление и переосмысление. Знание - продукт этого этапа и такого системного процесса.

Информация (в системе, о системе) по отношению к окружающей среде (окружению) бывает трех типов: входная, выходная и внутренняя.

Входная информация - та, которую система воспринимает от окружающей среды. Такого рода информация называется входной информацией (по отношению к системе).

Выходная информация (по отношению к окружающей среде) - та, которую система выдает в окружающую среду.

Внутренняя, внутрисистемная информация (по отношению к данной системе) - та, которая хранится, перерабатывается, используется только внутри системы, актуализируется лишь подсистемами системы.

Пример. Человек воспринимает, обрабатывает входную информацию, например, данные о погоде на улице, формирует выходную реакцию - ту или иную форму одежды. При этом используется внутренняя информация, например, генетически заложенная или приобретенная физиологическая информация о реакции, например, о "морозостойкости" человека.

Внутренние состояния системы и структура системы влияют определяющим образом на взаимоотношения системы с окружающей средой - внутрисистемная информация влияет на входную и выходную информацию, а также на изменение самой внутрисистемной информации.

Пример. Информация о финансовой устойчивости банка может влиять на его деятельность. Накапливаемая (внутрисистемно) социально-экономическая негативная информация (проявляемая, например, социальной активностью в среде) может влиять на развитие системы.

Пример. Генетически заложенная в молекулах ДНК информация и приобретенная информация (храняемая в памяти) влияют на поведение, на адаптацию человека к окружающей среде. В машинах первого поколения внутренняя структура определялась тысячами ламп, причем каждая из них отдельно была невысокой надежности, т.е. подобная система была ненадежной в работе. Это влияло на входную информацию, на функционирование системы, например, такие ЭВМ не были способны на работу в многозадачном режиме, в режиме реального времени (обработки сообщений по мере получения входных данных).

В живой и неживой природе информация может также передаваться некоторой структурой. Такую информацию называют (часто это условно можно отнести к информации) структурной информацией.

Пример. Структурные кольца среза дерева несут информацию о возрасте дерева. Структура питания хищника (или трофическая структура) несет информацию о хищнике, о среде его обитания. Структура плавников рыбы часто несет информацию о глубине среды ее обитания. Структура фирмы может объяснять многие явления и поведение фирмы.

Информация по отношению к конечному результату проблемы бывает:

- исходная (на стадии начала использования актуализации этой информации);
- промежуточная (на стадии от начала до завершения актуализации информации);
- результирующая (после использования этой информации, завершения ее актуализации).

Пример. При решении системы линейных алгебраических уравнений информация о методах решения, среде реализации, входных данных (источники, точность и т.д.), размерности системы и т.д. является исходной информацией; информация о совместности системы уравнений, численных значениях корня и т.д. - результирующая; информация о текущих состояниях коэффициентов уравнений, например, при реализации схемы Гаусса - промежуточная.

Информация (по ее изменчивости при актуализации) бывает:

- постоянная (не изменяемая никогда при ее актуализации);
- переменная (изменяемая при актуализации);
- смешанная - условно-постоянная (или условно-переменная).

Возможна также классификация информации и по другим признакам:

- по стадии использования (первичная, вторичная);
- по полноте (избыточная, достаточная, недостаточная);
- по отношению к цели системы (синтаксическая, семантическая, прагматическая);
- по отношению к элементам системы (статическая, динамическая);
- по отношению к структуре системы (структурная, относительная);
- по отношению к управлению системой (управляющая, советующая, преобразующая);
- по отношению к территории (федеральная, региональная, местная, относящаяся к юридическому лицу, относящаяся к физическому лицу);
- по доступности (открытая или общедоступная, закрытая или конфиденциальная);
- по предметной области, по характеру использования (статистическая, коммерческая, нормативная, справочная, научная, учебная, методическая и т.д., смешанная) и другие.

Информация в философском аспекте бывает:

- мировоззренческая;
- эстетическая;
- религиозная;
- научная;
- бытовая;
- техническая;
- экономическая;
- технологическая.

Все это (вместе с личностным аспектом человека как вида) составляет ноосферу общества - более высокое состояние биосферы, возникшее в результате эволюции, структурирования, упорядочивания (как статического, так и динамического) и гармонизации связей в природе и обществе под воздействием целеполагающей деятельности человечества.

Это понятие было введено В.И. Вернадским в качестве отображения концепции этапа эволюции общества и природы, т.е. системы, в рамках которой потенциально может быть реализовано гармоническое, устойчивое развитие (эволюция) систем "Общество" и "Природа", а также постепенное слияние, гармонизация наук о природе и об обществе.

Основные свойства информации (и сообщений):

- полнота (содержит все необходимое для понимания информации);
- актуальность (необходимость) и значимость (сведений);
- ясность (выразительность сообщений на языке интерпретатора);
- адекватность, точность, корректность интерпретации, приема и передачи;
- интерпретируемость и понятность интерпретатору информации;
- достоверность (отображаемого сообщениям);
- избирательность;
- адресность;
- конфиденциальность;
- информативность и значимость (отображаемых сообщений);
- массовость (применимость ко всем проявлениям);
- кодируемость и экономичность (кодирования, актуализации сообщений);
- сжимаемость и компактность;
- защищенность и помехоустойчивость;
- доступность (интерпретатору, приемнику);
- ценность (предполагает достаточный уровень потребителя).

Информация может оказаться и вредной, влияющей негативно на сознание, например, воспитывающей восприятие мира от безразличного или же не критического - до негативного, "обозленного", неадекватного. Информационный поток - достаточно сильный раздражитель.

Пример. Негативной информацией могут быть сведения о крахе коммерческого банка, о резком росте (спаде) валютного курса, об изменении налоговой политики и др.

Информация не существует без других типов ресурсов: энергии, вещества, организации, как и они не могут существовать без информации. Любые взаимодействия систем (подсистем) - взаимодействия всегда материо-энерго-информационные. Выявление (систематизация, структурирование), описание (формализация), изучение, применение инвариантов этих взаимодействий и составляет основную задачу науки как человеческой деятельности.

Методы получения и использования информации можно разделить на три группы, иногда разграничиваемые лишь условно:

1. эмпирические методы или методы получения эмпирической информации (эмпирических данных);
2. теоретические методы или методы получения теоретической информации (построения теорий);
3. эмпирико-теоретические методы (смешанные, полуэмпирические) или методы получения эмпирико-теоретической информации.

Охарактеризуем кратко эмпирические методы:

1. Наблюдение - сбор первичной информации или эмпирических утверждений о системе (в системе).
2. Сравнение - установление общего и различного в исследуемой системе или системах.
3. Измерение - поиск, формулирование эмпирических фактов.
4. Эксперимент - целенаправленное преобразование исследуемой системы (систем) для выявления ее (их) свойств.

Кроме классических форм их реализации, в последнее время используются и такие формы как опрос, интервью, тестирование и другие.

Охарактеризуем кратко эмпирико-теоретические методы.

1. Абстрагирование - установление общих свойств и сторон объекта (или объектов), замещение объекта или системы ее моделью. Абстракция в математике понимается в двух смыслах: а) абстракция, абстрагирование - метод исследования некоторых явлений, объектов, позволяющий как выделить основные, наиболее важные для исследования свойства, стороны исследуемого объекта или явления, так и игнорировать несущественные и второстепенные; б) абстракция - описание, представление объекта (явления), получаемое с помощью метода абстрагирования; особо важно в информатике такое понятие как абстракция потенциальной осуществимости, которое позволяет нам исследовать конструктивно объекты, системы с потенциальной осуществимостью (т.е. они могли бы быть осуществимы, если бы не было ограничений по ресурсам); используются и абстракция актуальной бесконечности (существования бесконечных, неконструктивных множеств, систем и процессов), а также абстракция отождествления (возможности отождествления любых двух одинаковых букв, символов любого алфавита, объектов, независимо от места их появления в словах, конструкциях, хотя их информационная ценность при этом может быть различна).
2. Анализ - разъединение системы на подсистемы с целью выявления их взаимосвязей.
3. Декомпозиция - разъединение системы на подсистемы с сохранением их взаимосвязей с окружением.
4. Синтез - соединение подсистем в систему с целью выявления их взаимосвязей.
5. Композиция - соединение подсистем в систему с сохранением их взаимосвязей с окружением.
6. Индукция - получение знания о системе по знаниям о подсистемах; индуктивное мышление: распознавание эффективных решений, ситуаций и затем проблем, которые оно может разрешать.
7. Дедукция - получение знания о подсистемах по знаниям о системе; дедуктивное мышление: определение проблемы и затем поиск ситуации, его разрешающей.
8. Эвристики, использование эвристических процедур - получение знания о системе по знаниям о подсистемах системы и наблюдениям, опыту.
9. Моделирование (простое моделирование) и/или использование приборов - получение знания об объекте с помощью модели и/или приборов; моделирование основывается на возможности выделять, описывать и изучать наиболее важные факторы и игнорировать при формальном рассмотрении второстепенные.
10. Исторический метод - поиск знаний о системе путем использования ее предыстории, реально существовавшей или же мыслимой, возможной (виртуальной).
11. Логический метод - метод поиска знаний о системе путем воспроизведения ее некоторых подсистем, связей или элементов в мышлении, в сознании.

12. Макетирование - получение информации по макету объекта или системы, т.е. с помощью представления структурных, функциональных, организационных и технологических подсистем в упрощенном виде, сохраняющем информацию, которая необходима для понимания взаимодействий и связей этих подсистем.
13. Актуализация - получение информации с помощью активизации, инициализации смысла, т.е. переводом из статического (неактуального) состояния в динамическое (актуальное) состояние; при этом все необходимые связи и отношения (открытой) системы с внешней средой должны быть учтены (именно они актуализируют систему).
14. Визуализация - получение информации с помощью наглядного или визуального представления состояний актуализированной системы; визуализация предполагает возможность выполнения в системе операции типа "передвинуть", "повернуть", "укрупнить", "уменьшить", "удалить", "добавить" и т.д. (как по отношению к отдельным элементам, так и к подсистемам системы). Это метод визуального восприятия информации.

Кроме указанных классических форм реализации теоретико-эмпирических методов, в последнее время часто используются и такие формы как мониторинг (система наблюдений и анализа состояний системы), деловые игры и ситуации, экспертные оценки (экспертное оценивание), имитация (подражание), верификация (сопоставление с опытом и заключение об обучении) и другие формы.

Охарактеризуем кратко теоретические методы.

1. Восхождение от абстрактного к конкретному - получение знаний о системе на основе знаний о ее абстрактных проявлениях в сознании, в мышлении.
2. Идеализация - получение знаний о системе или о ее подсистемах путем мысленного конструирования, представления в мышлении систем и/или подсистем, не существующих в действительности.
3. Формализация - получение знаний о системе с помощью знаков или же формул, т.е. языков искусственного происхождения, например, языка математики (или математическое, формальное описание, представление).
4. Аксиоматизация - получение знаний о системе или процессе с помощью некоторых, специально для этого сформулированных аксиом и правил вывода из этой системы аксиом.
5. Виртуализация - получение знаний о системе созданием особой среды, обстановки, ситуации (в которую помещается исследуемая система и/или ее исследующий субъект), которую реально, без этой среды, невозможно реализовать и получить соответствующие знания.

Эти методы получения информации применяются в любой сфере деятельности и системно (рис. 5.1).

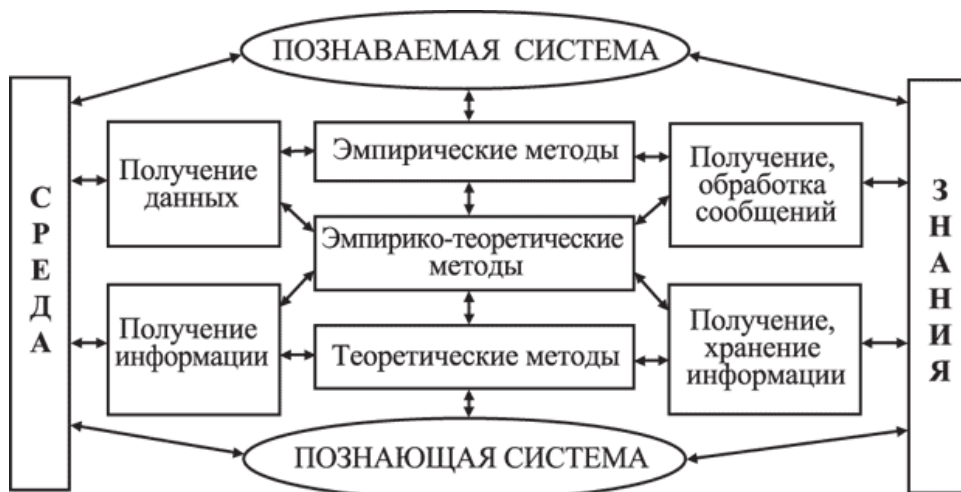


Рис. 5.1. Структура познания системы

Пример. Для построения модели планирования и управления производством в рамках страны, региона или крупной отрасли, нужно решить проблемы:

- определить структурные связи системы (как вертикальные, так и горизонтальные), уровни управления и принятия решений, ресурсы; при этом чаще используются методы наблюдения, сравнения, измерения, эксперимента, анализа и синтеза, дедукции и индукции, эвристический, исторический и логический, макетирование и др.;
- определить гипотезы, цели, возможные проблемы планирования; наиболее используемые методы: наблюдение, сравнение, эксперимент, абстрагирование, анализ, синтез, дедукция, индукция, эвристический, исторический, логический и др.;
- конструирование эмпирических моделей системы; наиболее используемые методы: абстрагирование, анализ, синтез, индукция, дедукция, формализация, идеализация и др.;
- поиск решения проблемы планирования и просчет различных вариантов, директив планирования, поиск оптимального решения; используемые чаще методы: измерение, сравнение, эксперимент, анализ, синтез, индукция, дедукция, актуализация, макетирование, визуализация, виртуализация и др.

Информация, таким образом, может быть рассмотрена как кортеж $A = \langle X, Y, f \rangle$, где носитель X - сведения, знания о предметной области, множество Y - сообщения, отражающие эти сведения, отношение f - отношение кодирования между элементами X , Y , т.е. их актуализации.

Пример. Пусть $X = \{\text{супруги, дети супругов}\}$, $Y = \{\text{"Иванов Петр Сидорович", "Иванова Ольга Николаевна", "Иванов Олег Петрович", "Иванова Наталья Петровна", "мать", "отец", "сын", "дочь", "родители", "дети"}\}$, отношение f может быть задано (словесно) перечислением связей вида: "Иванов Олег Петрович - супруг Ивановой Ольги Николаевны", "Иванова Наталья Петровна - дочь Ивановой Ольги Николаевны" и т.д.

Пример. Пусть $X = \{\text{арифметические операции}\}$, $Y = \{\text{"-(взятие противоположного числа)", "+(сложение)", "-(вычитание)", "\times(\text{умножение})", "/(\text{деление})", "\sqrt{}(\text{извлечение квадратного корня})"}\}$, f определим как установление соответствия "унарная операция".

Таким образом, основная задача науки состоит в построении, исследовании, актуализации или хранении множеств с заданным классом X однотипных задач, Y - классом структур и ресурсов, связываемых с этими задачами, и f - процессами их сопоставления и актуализации с помощью некоторых ресурсов.

Такие задачи мы решаем в ежедневной жизни, но в то же время часто правило f нельзя отыскать или построить явно или конструктивно. В этом случае приходится заменять искомый закон f с помощью подходящих явных или конструктивных представлений f , X , Y и/или Z (см. [рис. 5.2](#)) и применять эти представления всякий раз.

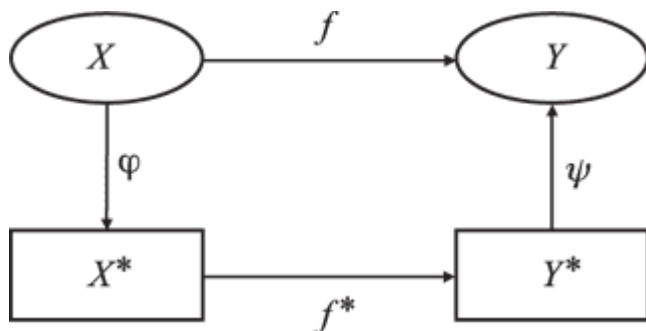


Рис. 5.2. Инвариант всех решаемых проблем науки

Правило Φ задает правило кодирования или интерпретации входного алфавита, правило Ψ - правило декодирования или интерпретации выходного алфавита, т.е. входной и выходной коды (правила, функции). При этом справедливы законы:

$$y = f(x) = \Psi(f^*(\Phi(x))) .$$

Правило f^* подбирают так, чтобы, в отличие от f , его можно было бы найти и/или исследовать, применить. Для каждого сообщения x из X определена триада:

$$(x, y^*, y) : \quad x^* = \Phi(x), \quad y^* = f^*(x^*), \quad y = \Psi(y^*) .$$

Информация - содержание сообщения, сообщение - форма проявления или актуализации информации. Информация всегда имеет носитель, актуализация информации связана с изменением носителя, ресурсов.

Пример. Сведения о сути товара могут быть изложены в рекламе, передаваемой различными сообщениями (по телевидению, по радио, в газете и т.д.). При этом соответствие этой рекламы действительности может быть независимо от типа сообщений, т.е. имеется третья сторона информации (кроме ее абстрактной сущности, ее представления сообщениями) - соответствие сведений, заложенных в информации, с проявлениями реальной системы.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое информация? Как классифицируется информация? Чем отличается информация от сообщения?
2. Каковы основные эмпирические методы получения информации?
3. Каковы основные теоретические методы получения информации?

Задачи и упражнения

1. Для задачи решения квадратного уравнения указать входную, выходную, внутрисистемную информацию, их взаимосвязи.
2. Построить тактику изучения (исследования) эпидемии гриппа в городе только эмпирическими (теоретическими, смешанными) методами?
3. Эмпирическими (теоретическими, эмпирико-теоретическими) методами получить информацию о погоде (опишите в общих чертах подходы).

Темы для научных исследований и рефератов, интернет-листов

1. Информация - знание, абстракция.
2. Информация - мера порядка, организации, разнообразия в системе.
3. Информация - структурированности и неопределенности в системе.

6. Лекция: Меры информации в системе

Рассматриваются различные способы введения меры измерения количества информации, их положительные и отрицательные стороны, связь с изменением информации в системе, примеры.

Цель лекции: введение в различные способы задания мер для измерения количества информации, их критический сравнительный анализ, основные связи информации и энтропии системы.

В предыдущей лекции было отмечено, что информация может пониматься и интерпретироваться в различных проблемах, предметных областях по-разному. Вследствие этого, имеются различные подходы к определению измерения информации и различные способы введения меры количества информации.

Количество информации - числовая величина, адекватно характеризующая актуализируемую информацию по разнообразию, сложности, структурированности (упорядоченности), определенности, выбору состояний отображаемой системы.

Если рассматривается некоторая система, которая может принимать одно из n возможных состояний, то актуальной задачей является задача оценки этого выбора, исхода. Такой оценкой может стать мера информации (события).

Мера, как было сказано выше, - непрерывная действительная неотрицательная функция, определенная на множестве событий и являющаяся аддитивной (мера суммы равна сумме мер).

Меры могут быть статические и динамические, в зависимости от того, какую информацию они позволяют оценивать: статическую (не актуализированную; на самом деле оцениваются сообщения без учета ресурсов и формы актуализации) или динамическую (актуализированную т.е. оцениваются также и затраты ресурсов для актуализации информации).

Ниже мы не всегда будем, в основном, для большей убедительности и большего содержательного понимания, проводить четкие математические границы между понятиями "количество информации" и "мера количества информации", но строгому читателю необходимо все время задавать достаточно важные вопросы: о количестве информации или о мере информации в конкретной последовательности событий идет речь? о детерминированной или стохастической информации идет речь? какова мера измерения количества информации и насколько она адекватна?

1. Мера Р. Хартли. Пусть имеется N состояний системы S или N опытов с различными, равновероятными, последовательными состояниями системы. Если каждое состояние системы закодировать, например, двоичными кодами определенной длины d , то эту длину необходимо выбрать так, чтобы число всех различных комбинаций было бы не меньше, чем N . Наименьшее число, при котором это возможно, называется мерой разнообразия множества состояний системы и задается формулой Р. Хартли: $H = \log_2 N$, где k - коэффициент пропорциональности (масштабирования, в зависимости от выбранной единицы измерения меры), a - основание системы меры.

Если измерение ведется в экспоненциальной системе, то $k=1$, $H=\ln N$ (нат); если измерение было произведено в двоичной системе, то $k=1/\ln 2$, $H=\log_2 N$ (бит); если измерение было произведено в десятичной системе, то $k=1/\ln 10$, $H=\lg N$ (дит).

Пример. Чтобы узнать положение точки в системе из двух клеток т.е. получить некоторую информацию, необходимо задать 1 вопрос ("Левая или правая клетка?"). Узнав положение точки, мы увеличиваем суммарную информацию о системе на 1 бит ($I=\log_2 2$). Для системы из четырех клеток необходимо задать 2 аналогичных вопроса, а информация равна 2 битам ($I=\log_2 4$). Если же система имеет n различных состояний, то максимальное количество информации будет определяться по формуле: $I=\log_2 n$.

Справедливо утверждение Хартли: если в некотором множестве $X=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ необходимо выделить произвольный элемент $x_i \in X$, то для того, чтобы выделить (найти) его, необходимо получить не менее $\log_a n$ (единиц) информации.

Если N - число возможных равновероятных исходов, то величина $k \ln N$ представляет собой меру нашего незнания о системе.

По Хартли, для того, чтобы мера информации имела практическую ценность, она должна быть такова, чтобы отражать количество информации пропорционально числу выборов.

Пример. Имеются 192 монеты. Известно, что одна из них - фальшивая, например, более легкая по весу. Определим, сколько взвешиваний нужно произвести, чтобы выявить ее. Если положить на весы равное количество монет, то получим 3 независимые возможности: а) левая чашка ниже; б) правая чашка ниже; в) чашки уравновешены. Таким образом, каждое взвешивание дает количество информации $I=\log_2 3$, следовательно, для определения фальшивой монеты нужно сделать не менее k взвешиваний, где наименьшее k удовлетворяет условию $\log_2 3^k \geq \log_2 192$. Отсюда, $k \geq 7$ или, $k=7$ (или $k=8$ - если считать за одно взвешивание и последнее, очевидное для определения монеты). Итак, необходимо сделать не менее 7 взвешиваний (достаточно 7).

Пример. ДНК человека можно представить себе как некоторое слово в четырехбуквенном алфавите, где каждой буквой помечается звено цепи ДНК или нуклеотид. Определим, сколько информации (в битах) содержит ДНК, если в нем содержится примерно $1,5 \times 10^{23}$ нуклеотидов (есть и другие оценки этого объема, но мы рассмотрим данный вариант). На один нуклеотид приходится $\log_2(4)=2$ (бит) информации. Следовательно, структура ДНК в организме человека позволяет хранить 3×10^{23} бит информации. Это вся информация, сюда входит и избыточная. Реально используемой - структурированной в памяти человека информации, - гораздо меньше. В связи с этим, заметим, что человек за среднюю продолжительность жизни использует около 5-6% нейронов (нервных клеток мозга - "ячеек ОЗУ человека"). Генетический код - чрезвычайно сложная и упорядоченная система записи информации. Информация, заложенная в генетическом коде (по учению Дарвина), накапливалась многие тысячелетия. Хромосомные структуры - своеобразный шифровальный код, при клеточном делении создаются копии шифра, каждая хромосома - удваивается, в каждой клетке имеется шифровальный код, при этом каждый человек получает, как правило, свой набор хромосом (код) от матери и от отца. Шифровальный код разворачивает процесс эволюции человека. Вся жизнь, как отмечал Э. Шредингер, "упорядоченное и закономерное поведение материи, основанное ... на существовании упорядоченности, которая поддерживается все время".

Формула Хартли отвлечена от семантических и качественных, индивидуальных свойств рассматриваемой системы (качества информации в проявлениях системы с помощью рассматриваемых N состояний системы). Это основная и положительная сторона формулы. Но имеется основная и отрицательная ее сторона: формула не учитывает различимость и различность рассматриваемых N состояний системы.

Уменьшение (увеличение) N может свидетельствовать об уменьшении (увеличении) разнообразия состояний N системы. Обратное, как это следует из формулы Хартли (так как основание логарифма больше 1!), - также верно.

2. Мера К. Шеннона. Формула Шеннона дает оценку информации независимо, отвлеченно от ее смысла:

$$I = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i$$

где n - число состояний системы; p_i - вероятность (или относительная частота) перехода системы в i -е состояние, причем сумма всех p_i равна 1.

Если все состояния равновероятны (т.е. $p_i=1/n$), то $I=\log_2 n$.

К. Шенноном доказана теорема о единственности меры количества информации. Для случая равномерного закона распределения плотности вероятности мера Шеннона совпадает с мерой Хартли. Справедливость и достаточная универсальность формул Хартли и Шеннона подтверждается и данными нейропсихологии.

Пример. Время t реакции испытуемого на выбор предмета из имеющихся N предметов линейно зависит от $\log_2 N$: $t=200+180\log_2 N$ (мс). По аналогичному закону изменяется и время передачи информации в живом организме. Один из опытов по определению психофизиологических реакций человека состоял в том, что перед испытуемым большое количество раз зажигалась одна из n лампочек, на которую он должен был указать в ходе эксперимента. Оказалось, что среднее время, необходимое для правильного ответа испытуемого, пропорционально не числу n лампочек, а именно величине I , определяемой по формуле Шеннона, где p_i - вероятность зажечь лампочку номер i

Легко видеть, что в общем случае

$$I = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i \leq \log_2 n$$

Если выбор i -го варианта predetermined заранее (выбора, собственно говоря, нет, $p_i=1$), то $I=0$.

Сообщение о наступлении события с меньшей вероятностью несет в себе больше информации, чем сообщение о наступлении события с большей вероятностью. Сообщение о наступлении достоверно наступающего события несет в себе нулевую информацию (и это вполне ясно: событие всё равно произойдет когда-либо).

Пример. Если положение точки в системе известно, в частности, она - в k -ой клетке, т.е. все $p_i=0$, кроме $p_k=1$, то тогда $I=\log_2 1=0$ и мы здесь новой информации не получаем (как и следовало ожидать).

Пример. Выясним, сколько бит информации несет произвольное двузначное число со всеми значащими цифрами (отвлекаясь при этом от его конкретного числового значения, т.е. каждая из возможных цифр может появиться на данном месте, в данном разряде с одинаковой вероятностью). Так как таких чисел может быть всего 90 (10-99), то информации будет количество $I=\log_2 90$ или приблизительно $I=6,5$. Так как в таких числах значащая первая цифра имеет 9 значений (1-9), а вторая - 10 значений (0-9), то $I=\log_2 90=\log_2 9+\log_2 10$. Приблизительное значение $\log_2 10$ равно 3,32. Итак, сообщение в одну десятичную единицу несет в себе в 3,32 больше информации, чем в одну двоичную единицу (чем $\log_2 2=1$), а вторая цифра, например, в числе aa, несет в себе больше информации, чем первая (если цифры a обоих разрядов неизвестны; если же эти цифры a известны, то выбора нет и информация равна нулю).

Если в формуле Шеннона обозначить $f_i=-\log_2 p_i$, то получим, что I можно понимать как среднеарифметическое величин f_i .

Отсюда, f_i можно интерпретировать как информационное содержание символа алфавита с индексом i и величиной p_i вероятности появления этого символа в сообщении, передающем информацию.

Пример. Пусть рассматривается алфавит из двух символов русского языка - "к" и "а". Относительные частоты встречаемости этих букв в частотном словаре русского языка равны соответственно $p_1=0.028$, $p_2=0.062$. Возьмем произвольное слово p длины N из k букв "к" и m ($k+m=N$) букв "а" над этим алфавитом. Число всех таких возможных слов, как это следует из комбинаторики, равно $n=N!/(k! m!)$. Оценим количество информации в таком слове: $I=\log_2 n=\ln n/\ln 2=\log_2 e[\ln N!-\ln k!-\ln m!]$. Используя известную формулу Стирлинга (эта формула, как известно из математического анализа, достаточно точна при больших N , например, при $N>100$) - $N!\approx(N/e)^N$, а точнее, ее важное следствие, - $\ln N!\approx N(\ln N-1)$, получаем оценку количества информации (в битах) на 1 символ любого слова:

$$\begin{aligned} I_1 &= I/N \approx (\log_2 e/N) [(k+m)(\ln N - 1) - k(\ln k - 1) - m(\ln m - 1)] = \\ &= (\log_2 e/N) [k \ln(N/k) - m \ln(N/m)] = \\ &= -\log_2 e [(k/N) \ln(k/N) + (m/N) \ln(m/N)] \leq \\ &\leq -\log_2 e [p_1 \ln p_1 + p_2 \ln p_2] = \\ &= -\log_2 e [0,028 \ln 0,028 + 0,062 \ln 0,062] \approx 0,235. \end{aligned}$$

Пример. В сообщении 4 буквы "а", 2 буквы "б", 1 буква "и", 6 букв "р". Определим количество информации в одном таком (из всех возможных) сообщении. Число N различных сообщений длиной 13 букв будет равно величине: $N=13!/(4!\times 2!\times 1!\times 6!)=180180$. Количество информации I в одном сообщении будет равно величине: $I=\log_2(N)=\log_2 180180 \approx 18$ (бит).

Если k - коэффициент Больцмана, известный в физике как $k=1.38 \times 10^{-16}$ эрг/град, то выражение

$$S = -k \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$$

в термодинамике известно как энтропия, или мера хаоса, беспорядка в системе. Сравнивая выражения I и S , видим, что I можно понимать как информационную энтропию (энтропию из-за нехватки информации о/в системе).

Л. Больцман дал статистическое определение энтропии в 1877 г. и заметил, что энтропия характеризует недостающую информацию. Спустя 70 лет, К. Шеннон сформулировал постулаты теории информации, а затем было замечено, что формула Больцмана инвариантна информационной энтропии, и была выявлена их системная связь, системность этих фундаментальных понятий.

Важно отметить следующее.

Нулевой энтропии соответствует максимальная информация. Основное соотношение между энтропией и информацией:

$$I + S (\log_2 e) / k = \text{const}$$

или в дифференциальной форме

$$dI/dt = - ((\log_2 e) / k) dS/dt.$$

При переходе от состояния S_1 с информацией I_1 к состоянию S_2 с информацией I_2 возможны случаи:

1. $S_1 < S_2$ ($I_1 > I_2$) - уничтожение (уменьшение) старой информации в системе;
2. $S_1 = S_2$ ($I_1 = I_2$) - сохранение информации в системе;
3. $S_1 > S_2$ ($I_1 < I_2$) - рождение новой (увеличение) информации в системе.

Главной положительной стороной формулы Шеннона является ее отвлеченность от семантических и качественных, индивидуальных свойств системы. В отличие от формулы Хартли, она учитывает различность, разноразличность состояний - формула имеет статистический характер (учитывает структуру сообщений), делающий эту формулу удобной для практических вычислений. Основной отрицательной стороной формулы Шеннона является то, что она не различает состояния (с одинаковой вероятностью достижения, например), не может оценивать состояния сложных и открытых систем и применима лишь для замкнутых систем, отвлекаясь от смысла информации. Теория Шеннона разработана как теория передачи данных по каналам связи, а мера Шеннона - мера количества данных и не отражает семантического смысла.

Увеличение (уменьшение) меры Шеннона свидетельствует об уменьшении (увеличении) энтропии (организованности) системы. При этом энтропия может являться мерой дезорганизации систем от полного хаоса ($S=S^{\max}$) и полной информационной неопределенности ($I=I^{\min}$) до полного порядка ($S=S^{\min}$) и полной информационной определенности ($I=I^{\max}$) в системе.

3. Термодинамическая мера. Информационно-термодинамический подход связывает величину энтропии системы с недостатком информации о внутренней структуре системы (не восполняемым принципиально, а не просто нерегистрируемым). При этом число состояний определяет, по существу, степень неполноты наших сведений о системе.

Пусть дана термодинамическая система (процесс) S , а H_0 , H_1 - термодинамические энтропии системы S в начальном (равновесном) и конечном состояниях

термодинамического процесса, соответственно. Тогда термодинамическая мера информации (негэнтропия) определяется формулой:

$$H(H_0, H_1) = H_0 - H_1.$$

Эта формула универсальна для любых термодинамических систем. Уменьшение $H(H_0, H_1)$ свидетельствует о приближении термодинамической системы S к состоянию статического равновесия (при данных доступных ей ресурсах), а увеличение - об удалении.

Поставим некоторый вопрос о состоянии термодинамической системы. Пусть до начала процесса можно дать p_1 равновероятных ответов на этот вопрос (ни один из которых не является предпочтительным другому), а после окончания процесса - p_2 ответов. Изменение информации при этом:

$$\Delta I = k \ln(p_1 / p_2) = k (\ln p_1 - \ln p_2).$$

Если $p_1 > p_2$ ($\Delta I > 0$) - идет прирост информации, т.е. сведения о системе стали более определенными, а при $p_1 < p_2$ ($\Delta I < 0$) - менее определенными. Универсально то, что мы не использовали явно структуру системы (механизм протекания процесса).

Пример. Предположим, что имеется развивающаяся социально-экономическая система с числом состояний 10, которая в результате эволюции развилась до системы с числом состояний 20. Нас интересует вопрос о состоянии некоторого составного элемента системы (например, предприятия). В начале мы знали ответ на вопрос и поэтому $p_1 = 1$ ($\ln p_1 = 0$). Число ответов было пропорционально величине $[\ln 10]$. После развития мы знаем уже микроэкономическое состояние, т.е. изменение информации о состоянии системы равно $\Delta I = -k \ln(20/10) = -k \ln 2$ (нат).

Пример. Предположим, что имеется термодинамическая система - газ в объеме V , который расширяется до объема $2V$ (рис. 6.1).



Рис. 6.1. Газ объема V (а) расширяемый до $2V$ (б)

Нас интересует вопрос о координате молекулы m газа. В начале (а) мы знали ответ на вопрос и поэтому $p_1 = 1$ ($\ln p_1 = 0$). Число ответов было пропорционально $\ln V$. После поднятия заслонки мы уже знаем эту координату (микросостояния), т.е. изменение (убыль) информации о состоянии системы будет равно

$$\Delta I = -k \ln(2V / V) = -k \ln 2 \quad (\text{нат}).$$

Мы получили известное в термодинамике выражение для прироста энтропии в расчете на одну молекулу, и оно подтверждает второе начало термодинамики. Энтропия - мера недостатка информации о микросостоянии статической системы.

Величина ΔI может быть интерпретирована как количество информации, необходимой для перехода от одного уровня организации системы к другому (при $\Delta I > 0$ - более высокому, а при $\Delta I < 0$ - более низкому уровню организации).

Термодинамическая мера (энтропия) применима к системам, находящимся в тепловом равновесии. Для систем, далеких от теплового равновесия, например, живых биологических систем, мера-энтропия - менее подходящая.

4. Энергоинформационная (квантово-механическая) мера. Энергия (ресурс) и информация (структура) - две фундаментальные характеристики систем реального мира, связывающие их вещественные, пространственные, временные характеристики. Если А - именованное множество с носителем так называемого "энергетического происхождения", а В - именованное множество с носителем "информационного происхождения", то можно определить энергоинформационную меру $f: A \rightarrow B$, например, можно принять отношение именованного множества с носителем (множеством имен) А или В. Отношение именованного множества должно отражать механизм взаимосвязей физико-информационных и вещественно-энергетических структур и процессов в системе.

Отметим, что сейчас актуальнее говорить о биоэнергоинформационных мерах, отражающих механизм взаимосвязей биофизико-информационных и вещественно-энергетических структур и процессов в системе.

Пример. Процесс деления клеток сопровождается излучением квантов энергии с частотами приблизительно до $N = 1.5 \times 10^{15}$ гц. Этот спектр можно воспринимать как спектр функционирования словарного запаса клетки как биоинформационной системы. С помощью этого спектра можно закодировать до 10^{15} различных биохимических реакций, что примерно в 10^7 раз больше количества реакций реально протекающих в клетке (их количество - примерно 10^8), т.е. словарный запас клетки избыточен для эффективного распознавания, классификации, регулирования этих реакций в клетке. Количество информации на 1 квант энергии: $I = \log_2 10^{15} \approx 50$ бит. При делении клеток количество энергии, расходуемой на передачу 50 бит информации равно энергии кванта (h - постоянная Планка, ν - частота излучения):

$$E = h\nu = 6,62 \times 10^{-27} \text{ (эрг/сек)} \times 0,5 \times 10^{15} \text{ (сек}^{-1}\text{)} = 3,3 \times 10^{-12} \text{ (эрг)}.$$

При этом на 1 Вт мощности "передатчика" или на $\mu = 10^7$ эрг/сек. может быть передано количество квантов:

$$n = \mu / E = 10^7 \text{ (эрг/сек)} / (3,3 \times 10^{-12} \text{ (эрг)}) \approx 3,3 \times 10^{18} \text{ (квант)}.$$

Общая скорость передачи информации на 1 Вт затрачиваемой клеткой мощности определяется по числу различных состояний клетки N и числу квантов (излучений) m:

$$V = n \log_2 N = 3,3 \times 10^{18} \times 50 \approx 1,6 \times 10^{20} \text{ (бит/сек)}.$$

Любая информация актуализируется в некоторой системе. Материальный носитель любой системы - сообщение, сигнал. Любая актуализация сопровождается изменением энергетических свойств (изменением состояния) системы. Наши знания (а, следовательно, и эволюция общества) простираются на столько, на сколько углубляется информация и совершенствуется возможность ее актуализации.

5. Другие меры информации. Многими авторами в последнее время рассматриваются различные количественные меры для измерения смысла информации, например, мера, базирующаяся на понятии цели (А. Харкевич и другие); мера, базирующаяся на понятии тезаурус $T = \langle X, Y, Z \rangle$, где X, Y, Z - множества, соответственно, имен, смыслов и значений (прагматики) этих знаний (Ю. Шрейдер и другие); мера сложности восстановления двоичных слов (А. Колмогоров и другие); меры апостериорного знания (Н. Винер и другие); мера успешности принятия решения (Н. Моисеев и другие); меры информационного сходства и разнообразия и другие способы, подходы к рассмотрению мер информации.

Пример. В качестве меры (Колмогорова) восстановления двоичного слова u по заданному отображению f и заданным двоичным словам x из непустого множества X можно взять $H(f, u) = \min |x|, x \in X, f(x) = u$. Здесь $|x|$ - длина двоичного слова x .

Пример. Если априори известно, что некоторая переменная лежит в интервале $(0; 1)$, и апостериори, что она лежит в интервале $(a; b) \subset (0; 1)$, тогда в качестве меры (Винера) количества информации, извлекаемой из апостериорного знания, можно взять отношение меры $(a; b)$ к мере $(0; 1)$.

Пример. В биологических науках широко используются так называемые индексные меры, меры видового разнообразия. Индекс - мера состояния основных биологических, физико-химических и др. компонент системы, позволяющая оценить силу их воздействия на систему, состояние и эволюцию системы. Индексы должны быть уместными, общими, интерпретируемыми, чувствительными, минимально достаточными, качественными, широко применяемыми, рациональными. Например, показателем видового разнообразия в лесу может служить

$$v = \sqrt{p_1} + \sqrt{p_2} + \dots + \sqrt{p_n}$$

где p_1, p_2, \dots, p_n - частоты видов сообщества, обитающих в лесу, n - число видов.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое мера информации? Каковы общие требования к мерам информации?
2. В чем смысл количества информации по Хартли и Шеннону? Какова связь количества информации и энтропии, хаоса в системе?
3. Какова термодинамическая мера информации? Какова квантово-механическая мера информации? Что они отражают в системе?

Задачи и упражнения

1. Система имеет N равновероятных состояний. Количество информации в системе (о ее состоянии) равно 5 бит. Чему равна вероятность одного состояния? Если состояние системы неизвестно, то каково количество информации в системе? Если известно, что система находится в состоянии номер 8, то чему равно количество информации?
2. Некоторая система может находиться в четырех состояниях с вероятностями: в первом (худшем) - 0,1, во втором и третьем (среднем) - 0,25, в четвертом (лучшем) - 0,4. Чему равно количество информации (неопределённость выбора) в системе?

3. Пусть дана система с $p_0=0,4$, $p_1=0,5$ - вероятности достижения цели управления, соответственно, до и после получения информации о состоянии системы. Оцените меру целесообразности управления этой системой (в битах).

Темы для научных исследований и рефератов, интернет-листов

1. Энтропия и мера беспорядка в системе. Информация и мера порядка в системе.
2. Квантово-механический и термодинамический подходы к измерению информации.
3. Семантические и несемантические меры информации - новые подходы и аспекты.

7. Лекция: Система и управление

Рассматриваются проблемы управления системой (в системе), схема, цели, функции и задачи управления системой, понятие и типы устойчивости системы, элементы когнитивного анализа.

Цель лекции: введение в основную проблему (атрибут) системного анализа - управление системой (в системе).

Благодаря постоянным потокам информации (от системы к окружающей среде и наоборот) система осуществляет целесообразное взаимодействие с окружающей средой, т.е. управляет или бывает управляема. Информация стала средством не только производства, но и управления.

Своевременная и оперативная информация может позволить стабилизировать систему, приспособливаться и(или) адаптироваться, восстанавливаться при нарушениях структуры и(или) подсистем. От степени информированности системы, от богатства опыта взаимодействия системы и окружающей среды зависит развитие и устойчивость системы.

Информация обладает также определенной избыточностью: чем больше сообщений о системе, тем полнее и точнее она управляется.

Пример. При передаче сообщений часто применяют способ двукратной (избыточной) последовательной передачи каждого символа (что позволяет избавляться от помех, "шумов" при передаче и осуществлять, например, контроль четности сигналов, по результатам которого выявляется количество сбоев). Пусть в результате сбоя при передаче приемником принято было слово вида "прраосснтоо". Определим, какое осмысленное (имеющее семантический смысл) слово русского языка передавалось передатчиком. Легко заметить, что "претендентами на слово" являются слова "праспо", "проспо", "рроспо", "рраспо", "просто", "просто" и "просто". Из всех этих слов осмысленным является только слово "просто".

Суть задачи управления системой - отделение ценной информации от "шумов" (бесполезного, иногда даже вредного для системы возмущения информации) и выделение информации, которая позволяет этой системе существовать и развиваться. Управление - это целенаправленная актуализация знаний. Управление и особая форма - самоуправление, - высшая форма актуализации знаний.

Управление в системе - внутренняя функция системы, осуществляемая независимо от того, каким образом, какими элементами системы она должна выполняться.

Управление системой - выполнение внешних функций управления, обеспечивающих необходимые условия функционирования системы (см. рис. 7.1).



Управление системой (в системе) используется для различных целей:

1. увеличения скорости передачи сообщений;
2. увеличения объема передаваемых сообщений;
3. уменьшения времени обработки сообщений;
4. увеличения степени сжатия сообщений;
5. увеличения (модификации) связей системы;
6. увеличения информации (информированности).

Как правило, эти цели интегрируются.

В целом информация используется для двух основных глобальных целей: сохранения стабильного функционирования системы и перевода системы в заданное целевое состояние.

Пример. Появление возможности управлять электрическими и магнитными колебаниями сделало массово доступным радио, телевидение, при этом скорость передачи информации достигла скорости света; пропускная способность телеканала по сравнению с пропускной способностью телефонного канала выросла примерно в 2000 раз, ускорение обработки - в миллионы раз. Возросла и сжатость информации, и информативность сообщений.

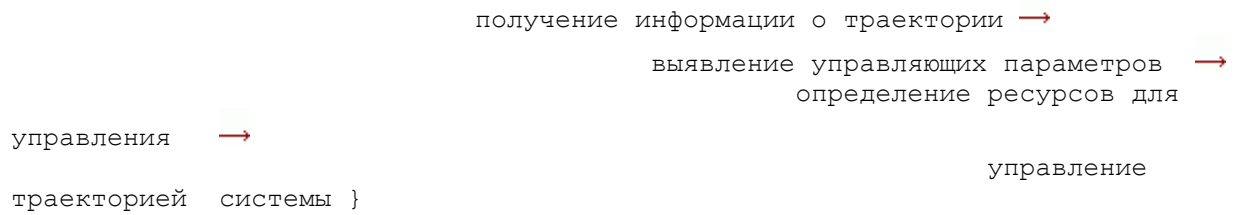
Управление любой системой (в любой системе) должно подкрепляться необходимыми ресурсами - материальными, энергетическими, информационными, людскими и организационными (административного, экономического, правового, гуманитарного, социально-психологического типа). При этом характер и степень активизации этих ресурсов может повлиять (иногда лишь косвенно) и на систему, в которой информация используется. Более того, сама информация может быть зависима от системы.

Пример. В средствах массовой информации правительство чаще ругают, актеров чаще хвалят, спортсменов упоминают обычно в связи со спортивными результатами, прогноз погоды бывает, как правило, кратким, новости политики - официальными.

Управление - непрерывный процесс, который не может быть прекращен, ибо движение, поток информации в системе не прекращается.

Цикл управления любой системой (в любой системе) таков:

- сбор информации о системе →
- обработка и анализ информации →



Основные правила организации информации для управления системой:

1. выяснение формы и структуры исходной (входной) информации;
2. выяснение средств, форм передачи и источников информации;
3. выяснение формы и структуры выходной информации;
4. выяснение надежности информации и контроль достоверности;
5. выяснение форм использования информации для принятия решений.

Пример. При управлении полетом ракеты, наземная станция управления генерирует и в определенной форме, определенными структурами посылает входную информацию в бортовую ЭВМ ракеты; при этом сигналы отсеиваются от возможных "шумов", осуществляется контроль входной информации на достоверность и только затем бортовая ЭВМ принимает решение об уточнении траектории, ее корректировке.

Если число возможных состояний системы S равно N , то общее количество разнообразия системы (мера выбора в системе - см. выше "информационные меры") равно

$$V(N) = \log_2 N.$$

Пусть управляемая система обладает разнообразием $V(N_1)$, а управляющая - $V(N_2)$. Цель управляющей системы - уменьшить значение $V(N_1)$ за счет изменения $V(N_2)$. В свою очередь, изменение $V(N_1)$, как правило, влечет изменение и $V(N_2)$, а именно, управляющая система может эффективно выполнять присущие ей функции управления лишь при условии, если верно неравенство

$$V(N_2) \geq V(N_1).$$

Это неравенство выражает принцип Эшби (необходимого разнообразия управляемой системы): управляющая подсистема системы должна иметь более высокий уровень организации (или большее разнообразие, больший выбор), чем управляемая подсистема, т.е. многообразие может быть управляемо (разрушено) лишь многообразием.

Пример. Менеджер фирмы должен быть более подготовлен, более грамотен, организован, свободен в своих решениях, чем, например, продавец фирмы. Малые, средние фирмы, ООО, АО - необходимый фактор разнообразия, успешного развития бизнеса, так как они более динамичны, гибки, адаптируемы к рынку. В развитых рыночных системах они имеют больший вес, например, в США доля крупных корпораций не более 10%.

Функции и задачи управления системой:

1. Организация системы - полное, качественное выделение подсистем, описание их взаимодействий и структуры системы (как линейной, так и иерархической, сетевой или матричной).
2. Прогнозирование поведения системы, т.е. исследование будущего системы.

3. Планирование (координация во времени, в пространстве, по информации) ресурсов и элементов, подсистем и структуры системы, необходимых (достаточных - в случае оптимального планирования) для достижения цели системы.
4. Учет и контроль ресурсов, приводящих к тем или иным желаемым состояниям системы.
5. Регулирование - адаптация и приспособление системы к изменениям внешней среды.
6. Реализация тех или иных спланированных состояний, решений.

Функции и задачи управления системой взаимосвязаны, а также взаимозависимы.

Пример. Нельзя, например, осуществлять полное планирование в экономической системе без прогнозирования, учета и контроля ресурсов, без анализа спроса и предложения - основных регуляторов рынка. Экономика любого государства - всегда управляемая система, хотя подсистемы управления могут быть организованы по-разному, иметь различные элементы, цели, структуру, отношения.

По характеру управления, охвата подсистем и подцелей (цели системы) управление может быть:

1. стратегическое, направленное на разработку, корректировку стратегии поведения системы;
2. тактическое, направленное на разработку, корректировку тактики поведения системы.

По времени управляющего воздействия системы могут быть: долгосрочно и краткосрочно управляемые.

Иногда отождествляют стратегическое и долгосрочное, тактическое и краткосрочное управление, но это не всегда верно.

Пример. Любая серьезная экономическая система стратегического управления должна включать в себя управляющую (информационную) подсистему, обрабатывающую, актуализирующую стратегическую информацию об инновационных мероприятиях, инвестиционных условиях, о возможностях и состояниях рынков товаров, услуг, ценных бумаг, доступных ресурсах, финансовых условиях и критериях, принципах и методах управления и др. Такие системы обычно имеют следующие цели и, часто, соответствующие им структуры:

1. управление координацией (Project Integration Management);
2. управление целями (Project Scope Management);
3. управление временем (Project Time Management);
4. управление стоимостью (Project Cost Management);
5. управление качеством (Project Quality Management);
6. управление людскими ресурсами (Project Human Resource Management);
7. управление коммуникациями (Project Communication Management);
8. управление рисками (Project Risk Management);
9. управление поставками (Project Procurement Management).

Все эти функции тесно переплетены между собой.

Выявление управляющих параметров и их использование для управления системой может также способствовать уменьшению сложности системы. В свою очередь, уменьшение сложности системы может сделать систему управляемой.

Система называется устойчивой структурно (динамически; вычислительно; алгоритмически; информационно; эволюционно или самоорганизационно), если она сохраняет тенденцию стремления к тому состоянию, которое наиболее соответствует целям системы, целям сохранения качества без изменения структуры или не приводящим к сильным изменениям структуры (динамики поведения; вычислительных средств; алгоритмов функционирования системы; информационных потоков; эволюции или самоорганизации - см. ниже) системы на некотором заданном множестве ресурсов (например, на временном интервале). Расплывчатое понятие "сильное изменение" каждый раз должно быть конкретизировано, детерминировано.

Пример. Рассмотрим маятник, подвешенный в некоторой точке и отклоняемый от положения равновесия на угол $0 \leq \varphi \leq \pi$. Маятник будет структурно, вычислительно, алгоритмически и информационно устойчив в любой точке, а при $\varphi=0$ (состояние покоя маятника) - устойчив и динамически, и эволюционно (самоорганизационные процессы в маятнике на микроуровне мы не учитываем). При отклонении от устойчивого состояния равновесия маятник, самоорганизуясь, стремится к равновесию. При $\varphi=\pi$ маятник переходит в динамически неустойчивое состояние. Если же рассматривать лед (как систему), то при температуре таяния эта система структурно неустойчива. Рынок при неустойчивом спросе-предложении неустойчив структурно.

Чем многообразнее входные сигналы (параметры) системы, число различных состояний системы, тем многообразнее обычно выходные сигналы, тем сложнее система, тем актуальнее проблема поиска инвариантов управления.

Понятие сложности детализируется в различных предметных областях по-разному. Для конкретизации этого понятия необходимо учитывать предысторию, внутреннюю структуру (сложность) системы и управления, приводящие систему к устойчивому состоянию. Впрочем, все внутренние связи на практике достаточно трудно не только описать, но и обнаружить. В этих случаях помогает выяснение и описание связности системы, связной и асимптотической устойчивости ее.

Асимптотическая устойчивость системы состоит в возврате системы к равновесному состоянию при $t \rightarrow \infty$ из любого неравновесного состояния.

Пример. Известная игрушка "Ванька-встанька" - пример такой системы.

Пусть система S зависит от вектора факторов, переменных $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)$.

Матрицей системы назовем матрицу $E=||e_{ij}||$ из 1 и 0: $e_{ij}=1$ лишь тогда, когда переменная x_i оказывает влияние на x_j .

Связная устойчивость состоит в асимптотической устойчивости системы при любых матрицах E .

Пример. Рассмотрим множество друзей $X=\{\text{Иванов, Петров, Сидоров}\}$ и городов $Y=\{\text{Москва, Париж, Нальчик}\}$. Тогда можно построить 3D-структуру в R_3 (в пространстве трех измерений - высота, ширина, длина), образуемую связыванием элементов X и Y ,

например, по принципу "кто где был" (рис. 7.2). В этой структуре были использованы сетевые 2D-структуры X, Y (которые, в свою очередь, использовали 1D-структуры). При этом элементы X и Y можно брать как точки, элементы пространства нулевого измерения R_0 .

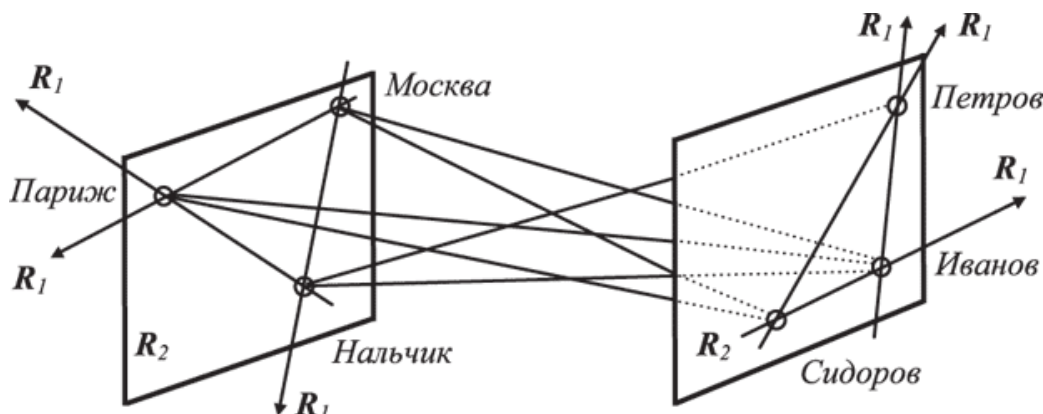


Рис. 7.2. Геометрическая иллюстрация сложных связанных структур

При системном анализе различных систем, особенно социально-экономических, удобным инструментом их изображения и изучения является инструментарий когнитивной структуризации и системно-когнитивная концепция.

Когнитология - междисциплинарное (философия, нейропсихология, психология, лингвистика, информатика, математика, физика и др.) научное направление, изучающее методы и модели формирования знания, познания, универсальных структурных схем мышления.

Цель когнитивной структуризации - формирование и уточнение гипотезы о функционировании исследуемой системы, т.е. структурных схем причинно-следственных связей, их качественной и(или) количественной оценки.

Причинно-следственная связь между системами (подсистемами) А и В положительна (отрицательна), если увеличение или усиление А ведет к увеличению или усилению (уменьшению или ослаблению) В.

Когнитивная схема (карта) ситуации представляет собой ориентированный взвешенный граф, который строится по правилам:

1. вершины взаимнооднозначно соответствуют выделенным факторам ситуации, в терминах которых описываются процессы в ситуации;
2. выявляются и оцениваются (положительное влияние, отрицательное влияние) причинно-следственные связи выделенных факторов друг на друга.

Пример. Когнитивная структурная схема для анализа проблемы энергопотребления может иметь следующий вид (рис. 7.3):

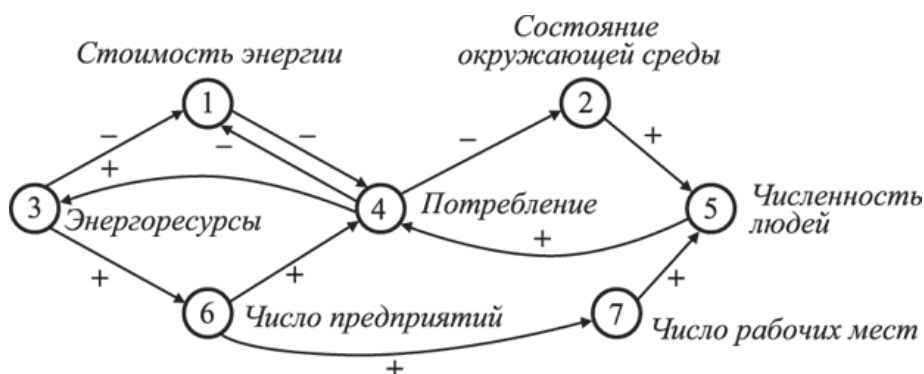


Рис. 7.3. Пример когнитивной карты

Кроме когнитивных схем (схем ситуаций) могут использоваться когнитивные решетки (шкалы, матрицы), которые позволяют определять стратегии поведения (например, производителя на рынке). Решетка образуется с помощью системы факторных координат, где каждая координата соответствует одному фактору, показателю (например, финансовому) или некоторому интервалу изменения этого фактора. Каждая область решетки соответствует тому или иному поведению. Показатели могут быть относительными (например, от 0 до 1), абсолютными (например от минимального до максимального), биполярными ("высокий или большой" - "низкий или маленький").

Пример. Такие решетки могут быть полезны, в частности, при оптимизации долевого распределения основной группы налогов между федеральным и региональным бюджетами, при выработке стратегии повышения бюджетного самообеспечения и др. На рис. 7.4 показана решетка в биполярной системе показателей; зона D - наиболее, зона А - наименее благоприятная.

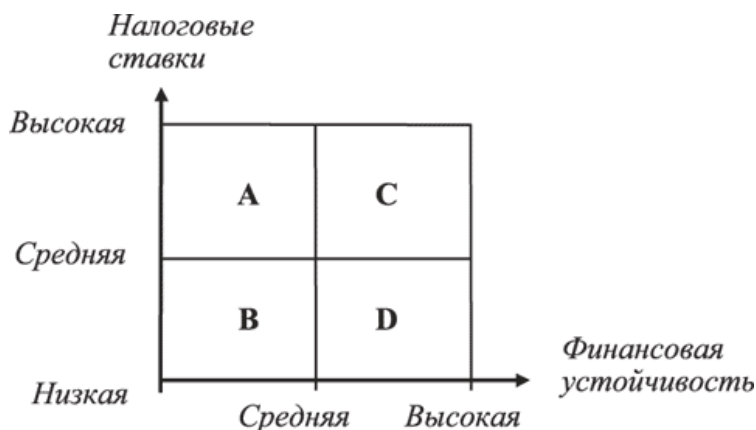


Рис. 7.4. Когнитивная решетка финансовой устойчивости фирмы

Когнитивный инструментарий позволяет снижать сложность исследования, формализации, структурирования, моделирования системы.

Когнитивная карта не отражает детальный характер или динамику изменения влияний в зависимости от изменения ситуации. Для этого необходимо построить соответствующую процедуру когнитивного системного анализа, по схеме, приводимой ниже.

Процедура когнитивного анализа системы, ситуации.

1. Выделение основных факторов системы.
2. Определение в выделенных факторах целевых факторов.
3. Определение факторов, которые могут влиять на целевые факторы.

4. Определение факторов, которые могут объяснять развитие системы, и их группировка в кластеры факторов (как правило, это иерархическая система, на нижнем уровне которой находятся наиболее элементарные, на следующем, - интегральные от них и т.д.).
5. Выделение в кластере группы интегральных факторов и характеризующих их показателей, которые могут быть информативными (поясняющими тенденции развития системы), и их детализация, формализация, математизация.
6. Определение связей между кластерами.
7. Определение связей и характера (например, положительный, отрицательный) и силы взаимовлияний внутри кластеров.
8. Проверка адекватности когнитивной схемы, т.е. сопоставление полученных результатов с логико-историческими проявлениями системы.
9. Корректировка, уточнение схемы.

Эта процедура лежит в основе системно-когнитивной концепции, на основе которой пытаются адекватно, структурированно, с помощью простых базовых когнитивных операций и, по возможности, формально, математически отразить и автоматизировать сущность процесса познания человеком, например, процессов вербализации, синтаксического синтеза, семантического анализа, макетирования, виртуализации и др.

К базовым когнитивным операциям (процедурам) можно отнести (см. также системные процедуры, упомянутые в лекции 1):

1. восприятие, регистрация свойства, отношения, объекта, процесса, системы;
2. присвоение уникального имени свойству, отношению, объекту, процессу, системе;
3. шкалирование и кластеризация, классификация;
4. обобщение;
5. сравнение;
6. идентификация, узнавание объекта по его проявлениям;
7. морфологический анализ (например, связей элементов);
8. синтаксический анализ (например, атрибутов элементов и классов);
9. семантический анализ (например, связей классов);
10. верификация, сопоставление с опытом и заключение об обучении;
11. планирование эксперимента;
12. принятие решения.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое управление системой и управление в системе? Поясните их отличия и сходства. Сформулируйте функции и задачи управления системой.
2. В чем состоит принцип Эшби? Каковы типы устойчивости систем? Как связаны сложность и устойчивость системы? Какова взаимосвязь функции и задач управления системой?
3. Что такое когнитология? Что такое когнитивная схема (решетка)? Для чего и как ее можно использовать?

Задачи и упражнения

1. Привести примеры использования (актуализации) принципа необходимого разнообразия управляемой системы и объяснить, что он регулирует.

2. Привести конкретную цель управления системой и управления для некоторой социально-экономической системы. Привести пример взаимосвязи функций и задач управления системой. Выделить параметры, с помощью которых можно управлять системой, изменять цели управления.
3. Построить когнитивную схему (решетку) одной проблемы на выбор.

Темы для научных исследований и рефератов, интернет-листов

1. Цели, задачи, этапы и правила управления системой (в системе).
2. Устойчивость систем и их типы, виды.
3. Когнитология - синтетическая наука. Когнитивные решетки (схемы) - инструментарий познания систем.

8. Лекция: Информационные системы

Рассматриваются основные системные понятия, касающиеся информационных систем, их типы, жизненный цикл проектирования информационной системы, аксиомы информационных систем.

Цель лекции: введение в системные основы информационных систем и информационного менеджмента.

Информация используется для управления, но и сама она подвержена управляющим воздействиям. Основная цель этих воздействий - поддержка информационных потоков и магистралей, способствующих достижению поставленных целей при ограниченных материально-энергетических, информационно-организационных, пространственно-временных ресурсах.

Рассмотрим сказанное на примере маркетингового информационного управления.

Пример. Маркетинговое информационное управление - планирование и прогнозирование поведения системы, корпорации, на основе рыночной информации, информационных процессов и информационных технологий на рынке, в сфере бизнеса с учетом поведения и привычек покупателя и продавца, их интерактивного контакта, оперативной реакции. Чтобы понять клиентов фирмы, ее конкурентов, дилеров и т.п., не обойтись без маркетинговых исследований. Заметим, что такие исследования нужны не только в коммерческих, но и в некоммерческих организациях. Вуз интересуется, какую репутацию он имеет в глазах абитуриентов, студентов. Политическая партия, организация интересуется своим рейтингом, мнением потенциальных избирателей о ее кандидатах. Управляющие могут привлекать высококвалифицированных исследователей-маркетологов, ибо в своих собственных интересах получать информацию, которая позволяет принимать правильные решения. Они должны хорошо знать технологию проведения маркетингового исследования и интерпретации полученной информации, которая состоит из следующих процедур: определение проблемы, целей и расстановки их приоритетов; сбор и анализ первичной информации; анализ вторичной информации; рекомендации и использование результатов. Определение проблемы - формулирование предмета маркетингового исследования: провести информационный анализ и выяснить, какую информацию и для прояснения чего собирать? Анализ вторичной информации - анализ не устаревших данных, которые были собраны ранее для целей, не связанных с решением исследуемой проблемы, особенно данных, собранных из независимых источников, которая, как правило, весьма достоверна. Возможные источники вторичной информации: планы и финансовые отчеты; данные о сбыте; данные о прибылях и убытках; счета клиентов; данные о запасах; результаты предыдущих исследований; письменные сообщения (текущая информация); жалобы потребителей, стандарты для определения результативности; периодические издания; книги, монографии и другие непериодические публикации; коммерческие исследовательские организации и др. Сбор и анализ первичных данных - сбор и анализ актуальной, "свежей" информации для решения конкретной исследуемой проблемы. Здесь важно отвечать на следующие вопросы: кого или что следует исследовать? какая информация должна собираться? кому поручить сбор данных? какие методы сбора данных использовать? сколько будет стоить исследование? какова методика сбора данных? как долго собирать данные? когда и где собирать информацию? в какой форме собирать, как и где хранить информацию? Рекомендации и использование результатов позволяют вырабатывать и принимать решения. Правильно, полно и корректно собранная информация позволяет маркетологам: получать преимущества; снижать финансовый риск; определять отношения потребителей; следить

за внешней средой; координировать стратегию и тактику поведения; оценивать деятельность других и собственную; повысить доверие к рекламе; получать поддержку в решениях; подкреплять интуицию; улучшать эффективность и др. Маркетинговые исследования - часть интегрированного информационного процесса, и на них воздействуют факторы окружающей среды (конкуренция, правительство, экономика и др.).

Во многих областях и в системном анализе важное значение имеет понятие "информационная система". Такая система отождествляется часто с некоторой системой поддержки (автоматизации) интеллектуальных работ, в частности, поиска информации, администрирования, экспертизы, принятия решений, управления, распознавания, накопления знаний, обучения и др.

Информационная система - система, в которой ее элементы, цель, ресурсы, структура (организация) рассматриваются, в основном, на информационном уровне (хотя, естественно, имеются и другие уровни рассмотрения, например, энергетический уровень).

Любая информационная система имеет следующие типы основных подсистем:

1. подсистема информационного обеспечения (данных);
2. подсистема интеллектуального обеспечения (информации, знаний);
3. подсистема технического обеспечения (аппаратуры);
4. подсистема технологического обеспечения (технологии);
5. подсистема коммуникативного обеспечения (интерфейса);
6. подсистема анализа и проектирования;
7. подсистема оценки адекватности и качества, верификации;
8. подсистема организационного взаимодействия и управления персоналом;
9. подсистема логистики (планирования и движения товаров и услуг).

Информационная среда - это среда (т.е. система и ее окружение) из взаимодействующих информационных систем, включая и информацию, актуализируемую в этих системах.

Пример. Можно выделить три основных подхода к использованию информационного менеджмента в социально-экономических системах.

1. "Отношений с общественностью" (PR - Public Relations, Пиар), при котором разрабатываются и используются системы управления социально-экономической информацией с целью создания более адекватной и благоприятной среды (включая и все виды ресурсов), общественного сознания для реализации интересов государства, монополии и человека, согласования их интересов, подчас противоречивых. Широко используются при этом методы опроса населения, изучения общественного мнения, рекламирования, прогнозирования и моделирования (особенно для повышения устойчивости и регуляции систем).
2. "Объединения достижений НТР и человека", при котором разрабатываются и реализуются системы массового обучения достижениям НТР, новым информационным технологиям, делопроизводству и т.д. с целью адаптации человека к системам с возросшими техническими и технологическими возможностями, требованиями к качеству продукции и соотношению "качество - цена".
3. "Организационного гуманизма", при котором разрабатываются и реализуются системы помещения трудящихся в стимулирующие их работу культурно-

образовательные, социально-психологические, гуманистические и материальные среды с целью раскрытия их потенциальных возможностей и способностей.

Пример. Технологический и социально-экономический отрыв стран Запада и СНГ определяется, в первую очередь, не отсутствием у нас квалифицированных рабочих, хорошей образовательной системы, ресурсов, а отсутствием адекватной им системы информационного и экономического управления, его регулирования, а не саморегулирования (самоорганизации), недостаточным вниманием к третьему подходу к информационному менеджменту. Реформы должны происходить не для обогащения небольшой группы населения, а для повышения благосостояния трудящейся массы (особенно среднего класса - базы любого государства), обеспечения его творческого и плодотворного труда. Это наиболее важно и в то же время трудно обеспечиваемо в условиях экономических реформ.

Информационная система управления - система, предназначенная для управления, - как другой системой, так и внутри системы (т.е. в качестве управляющей подсистемы).

Различают также основные 6 типов информационных систем управления (тип системы определяется целью, ресурсами, характером использования и предметной областью):

1. Диалоговая система обработки запросов (Transaction Processing System) - для реализации текущих, краткосрочных, тактического характера, часто рутинных и жестко структурируемых и формализуемых процедур, например, обработки накладных, ведомостей, бухгалтерских счетов, складских документов и т.д.
2. Система информационного обеспечения (Information Provision System) - для подготовки информационных сообщений краткосрочного (обычно) использования тактического или стратегического характера, например, с использованием данных из базы данных и структурированных, формализованных процедур.
3. Система поддержки принятия решений (Decision Support System) - для анализа (моделирования) реальной формализуемой ситуации, в которой менеджер должен принять некоторое решение, возможно, просчитав различные варианты потенциального поведения системы (варьируя ее параметры); такие системы используются как в краткосрочном, так и в долгосрочном управлении тактического или стратегического характера в автоматизированном режиме.
4. Интегрированная, программируемая система принятия решения (Programmed Decision System) предназначена для автоматического, в соответствии с программно реализованными в системе, структурированными и формализованными критериями оценки, отбора (выбора) решений; используются как в краткосрочном, так и в долгосрочном управлении тактического (стратегического) характера.
5. Экспертные системы (Expert System) - информационные консультирующие и (или) принимающие решения системы, которые основаны на структурированных, часто плохо формализуемых процедурах, использующих опыт и интуицию, т.е. поддерживающие и моделирующие работу экспертов, интеллектуальные особенности; системы используются как в долгосрочном, так и в краткосрочном оперативном прогнозировании, управлении.
6. Интеллектуальные системы, или системы, основанные на знаниях (Knowledge Based System) - поддерживают задачи принятия решения в сложных системах, где необходимо использование знаний в достаточно широком диапазоне, особенно в плохо формализуемых и плохо структурируемых системах, нечетких системах и при нечетких критериях принятия решения; эти системы наиболее эффективны и применимы для сведения проблем долгосрочного, стратегического управления к проблемам тактического и краткосрочного характера, повышения управляемости,

особенно в условиях многокритериальности. В отличие от экспертных систем, в системах, основанных на знаниях, следует по возможности избегать экспертных и эвристических процедур и прибегать к процедурам минимизации риска. Здесь более существенно влияние профессионализма персонала, ибо при разработке таких систем необходимо сотрудничество и взаимопонимание не только разработчиков, но и пользователей, менеджеров, а сам процесс разработки, как правило, происходит итерационно, итерационными улучшениями, постепенным переходом от процедурных знаний (как делать) - к непроцедурным (что делать).

Фундаментальная ошибка с неустраняемыми последствиями в информационных системах - принятие неправильных стратегических решений и критериев оценки решений.

Пример. На заре компьютеризации школ многие регионы приняли решение: как можно быстрее оснастить школы компьютерами; в результате многие из них затем не могли освободиться от несовершенной, неприспособленной для задач обучения техники (КУВТ, УКНЦ, ДВК и т.п.) и получить современную технику, так как фактически техника у них была. Стратегически правильным подходом в этой ситуации был бы подход по принципу: "подождём, пока схлынет мутная вода, затем пойдет чистая".

При построении (выборе, адаптации) информационной системы можно использовать две основные концепции, два основных подхода (третья концепция - их комбинация):

- ориентация на проблемы, которые необходимо решать с помощью этой информационной системы, т.е. проблемно-ориентированный подход (или индуктивный подход);
- ориентация на технологию, которая доступна (актуализируема) в данной системе, среде, т.е. технологически-ориентированный подход (или дедуктивный подход).

Выбор концепции зависит от стратегических (тактических) и(или) долгосрочных (краткосрочных) критериев, проблем, ресурсов.

Если вначале изучаются возможности имеющейся технологии, а после определяются актуальные проблемы, которые можно решить с их помощью, то необходимо опираться на технологически-ориентированный подход.

Если же вначале определяются актуальные проблемы, а затем внедряется технология, достаточная для решения этих проблем, то необходимо опираться на проблемно-ориентированный подход.

Ошибки в выборе подхода (проблем, технологии) могут привести не только к ошибочным стратегиям и (или) тактике, но и к полному краху системы.

При этом обе концепции построения информационной системы зависят друг от друга: внедрение новых технологий изменяет решаемые проблемы, а изменение решаемых проблем - приводит к необходимости внедрения новых технологий; и то, и другое влияет на принимаемые решения.

Дороговизна, важность, актуальность информации определяют цели и важность (приоритеты) в управлении информационными системами (в информационных системах).

Системное проектирование (разработка) и использование информационной системы должно пройти следующий жизненный цикл информационной системы:

1. предпроектный анализ (опыт создания других аналогичных систем, прототипов, отличия и особенности разрабатываемой системы и др.), анализ внешних проявлений системы;
2. внутрисистемный анализ, внутренний анализ (анализ подсистем системы);
3. системное (морфологическое) описание (представление) системы (описание системной цели, системных отношений и связей с окружающей средой, другими системами и системных ресурсов - материальных, энергетических, информационных, организационных, людских, пространственных и временных);
4. определение критериев адекватности, эффективности и устойчивости (надежности);
5. функциональное описание подсистем системы (описание моделей, алгоритмов функционирования подсистем);
6. макетирование (макетное описание) системы, оценка взаимодействия подсистем системы (разработка макета - реализации подсистем с упрощенными функциональными описаниями, процедурами, и апробация взаимодействия этих макетов с целью удовлетворения системной цели), при этом возможно использование "макетов" критериев адекватности, устойчивости, эффективности;
7. "сборка" и тестирование системы - реализация полноценных функциональных подсистем и критериев, оценка модели по сформулированным критериям;
8. функционирование системы;
9. определение целей дальнейшего развития системы и ее приложений;
10. сопровождение системы - уточнение, модификация, расширение возможностей системы в режиме ее функционирования (с целью ее эволюционирования).

Эти этапы - основные для информационного реинжиниринга систем.

Пример. Для решения текущих задач ведения бизнеса с учетом разнородных корпоративных интересов используют специальные системы планирования ресурсов предприятия (ERP), как правило, на основе удаленного ("клиент-сервер") доступа к единой базе данных и единых, predetermined бизнес-процессах, транзакциях, с открытой многоплатформенной архитектурой. Системы ERP позволяют различным организациям (география не имеет значения), с различными информационными системами создавать общую интегрированную информационную систему, используя для этого опыт и решения, разработанные фирмой-поставщиком ERP.

Пример. Особенно актуален реинжиниринг бизнес-процессов (BRP), т.е. процесс реинтеграции и рационализации производственных процессов. Реинжиниринг - это не только уменьшение размерности и сложности системы, не только реструктуризация, не только сокращение числа уровней управления, не только стремление к автоматизации, а фундаментальный, системный пересмотр всей системы (т.е. ее проблем и ресурсов), с целью существенного (например, порядкового) улучшения показателей ее эффективности, устойчивости, рентабельности, жизнеспособности (не только стратегического, но и тактического характера). Это веление времени, современного производства (товаров, услуг, знаний), так как проблемы часто (до реинжиниринга) необходимо разделить на сотни более мелких, коллективы - на сотни более мелких рабочих групп, знания необходимо привлекать как специализированные, так и более широкого диапазона, распределять ресурсы - например, географически. Все это нужно согласовывать по времени, по пространству, по структуре (организации), и число менеджеров при этом резко возрастает.

Пример. Глобализация (рынков, производства, конкуренции и др.) предъявляет свои требования по сближению национальных систем менеджмента. Появилась новая

парадигма (т.е. система определяющих концепций, взглядов) глобального менеджмента (GMP) или глобального телекоммуникационного менеджмента. Ее можно назвать системой стратегического глобального реинжиниринга, основанной на знаниях, горизонтальных связях, корпоративной динамике (способность к гибкой онлайн-реакции компании) ориентированной на клиента (продукт, услуги).

Индустрия информационных систем опирается на следующие процессы:

1. повышение мультимедийности, гипермедийности;
2. повышение дружелюбности к пользователю;
3. интеграция;
4. повышение открытости;
5. распределенность;
6. объектно-ориентированный подход;
7. метабазирование данных и информационных систем;
8. мультиагентное рассмотрение и др.

В последнее время рассматриваются (проектируются, разрабатываются и используются) так называемые корпоративные информационные системы, т.е. информационные системы в масштабе корпорации, организации.

Примеры. Информационная система пенсионных выплат населению, информационная система здравоохранения региона, информационная система биржевой деятельности.

Для разработки корпоративной информационной системы необходимо осуществить следующие мероприятия:

1. информационное обследование корпорации с целью выяснения ее основных целей функционирования, элементов, структуры, направлений, приоритетов и задач деятельности, информационных потоков и технологий, эволюционных возможностей корпорации, критериев оценки эффективности системы (результат этого этапа - проект информационной системы);
2. выбрать одну из двух основных концепций разработки информационной системы - проблемно-ориентированную или технологически-ориентированную (результат этого этапа - архитектура информационной системы, например, архитектура "клиент-сервер" с удаленным сервером баз данных, а также инструментальное и другое обеспечение системы, например, ОС UNIX, ORACLE);
3. определить ключевые элементы, подсистемы, в частности, подсистему управления корпоративной базой данных, подсистему автоматизации делопроизводства, подсистему согласования, принятия и контроля решений, подсистему тренинга (результат этапа - структура системы и подсистем, например, с использованием Lotus Notes, Action Workflow, EDMS - Electronic Document Management Systems, CBR Express).

При разработке целей, определении ресурсов необходимо тесное взаимодействие управляющего, проектирующего, разрабатывающего и пользовательского звена системы. Здесь недопустимы ложные критерии конфиденциальности и защиты информации, всегда влияющие негативно на стратегическое и долгосрочное планирование и прогнозирование, а также непрофессионализм принятия решений в каждом звене.

Главный лозунг разработки информационных систем: "Разработка информационной системы осуществляется не для внедрения (использования) информационной системы, а

для обеспечения эффективного управления, функционирования, планирования и прогнозирования, эволюции системы, которую она информационно поддерживает".

Дадим ряд утверждений, формулируемых нами содержательно в виде аксиом управления информационными системами.

Аксиома 1. Количество информации в любой подсистеме иерархической системы определяется (как правило, мультипликативно) количеством сигналов, исходящих от подсистемы нулевого уровня (исходной вершины) и достигающих данной подсистемы (или входящих в данную подсистему), и энтропией этих сигналов.

Аксиома 2. Энтропия любого элемента управляющей подсистемы при переходе в новое целевое состояние (при смене цели) определяется исходным (от нулевого уровня) информационным потоком и энтропией этого элемента.

Аксиома 3. Энтропия всей управляющей подсистемы при переходе в новое целевое состояние определяется (как правило, аддитивно, интегрально) энтропией всех ее элементов.

Аксиома 4. Полный информационный поток, направленный на объект управления за период его перехода в новое целевое состояние, равен разности энтропии всей управляющей подсистемы при переходе в новое целевое состояние и энергии объекта управления, затрачиваемой объектом управления на переход в новое состояние.

Аксиома 5. Информационная работа управляющей подсистемы по преобразованию ресурсов состоит из двух частей - работы управляющей подсистемы, затраченной на компенсацию исходной энтропии, и работы, направленной на управляемый объект, т.е. на удержание системы в устойчивом состоянии.

Аксиома 6. Полезная работа управляющей подсистемы в течение некоторого промежутка времени должна соответствовать полному информационному потоку, воздействующему на управляемую систему (в соответствии с аксиомой 4) за рассматриваемый период времени.

Соответствие, позволяющее переходить от абстракции "Информация" к ее конкретизации "Сообщение", называется интерпретацией информации с помощью определенной знаковой системы, некоторого алфавита, т.е. системы, с помощью которой представляется сообщение. Интерпретация информации всегда связана со смыслом (с семантикой) и с пониманием (с прагматикой). Соответствие такого типа всегда устанавливается при отождествлении данного сообщения с информацией, при актуализации информации.

Информация, которая может быть актуализируема в некоторой информационной системе, отражается некоторой математической (алгебраической) структурой (см. лекцию 3).

Пример. Часто эта алгебраическая структура - полугруппа, а проблема преобразования информации сводится к известной проблеме теории полугрупп, а именно - к проблеме тождества слов в свободных полугруппах.

Интерпретация информации - переход от представления элементов этой математической структуры к его семантическому смыслу.

Понимание - это соотнесение данной математической структуры с некоторыми элементами или системами реального мира (выяснение прагматического, например, экономического смысла).

Любая интерпретация I , которая соответствует некоторому сообщению S , может быть оценена своим информационным содержанием $I(S)$, и, таким образом, интерпретация есть отображение $I: R \rightarrow A$, где R - заданные сообщения, A - заданная информация.

Совокупность, кортеж вида $V=\langle A,R,I \rangle$ и есть формально информационная система.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое информационная система? Что такое информационная среда?
2. Что такое информационная система управления? Каковы ее типы?
3. В чем суть системного проектирования информационной системы? Каков его жизненный цикл?

Задачи и упражнения

1. Написать эссе на тему "Инжиниринг и реинжиниринг информационных систем".
2. Привести пример системы, указать ее управляющую (информационную) подсистему, определить тип информационной системы управления.
3. Построить (спроектировать) один несложный проект информационной системы (проходя весь жизненный цикл проектирования).

Темы для научных исследований и рефератов, интернет-листов

1. Менеджмент информационных систем.
2. Классификация информационных систем и методов их проектирования.
3. Жизненный цикл проектирования информационной системы и содержание его этапов.

9. Лекция: Информация и самоорганизация систем

Рассматриваются основные понятия информационной синергетики - самоорганизация, самоорганизующаяся система, аксиомы самоорганизации информационных систем, примеры.

Цель лекции: введение в информационную синергетику и ознакомление с самоорганизующимися системами.

Любая открытая система эволюционирует, начиная с состояния наибольшей энтропии (неопределенности), спиралеобразно, актуализируя все новые связи и отношения, стремясь к организованности и порядку в системе в процессе взаимоотношений со средой, перестраивая свою структуру с целью уменьшения энтропии.

Пример. На телевизионной игре "Что? Где? Когда?" обсуждение вопроса часто начинается хаотично, спонтанно, независимо и в конце обсуждения может organizоваться в единодушное принятие правильного решения.

Самоорганизация - это образование пространственной, временной, информационной или функциональной организации, структуры (точнее, стремление к организованности, к образованию новой структуры) за счет внутренних ресурсов системы в результате целеполагающих взаимодействий с окружением системы.

Система является самоорганизующейся, если она без целенаправленного воздействия извне (с целью создания или изменения структуры системы) обретает пространственную, временную, информационную или функциональную структуру.

Пример. Одна макроструктура (лед) при нагревании переходит в другую макроструктуру (жидкость) с совершенно другими свойствами (например, механическими), а при дальнейшем нагревании переходит в другую макроструктуру (пар), снова с иными микроскопическими свойствами.

Самоорганизация (явная или неявная) наблюдается в сложных открытых системах. Самоорганизации присущ атрибут - управление. Автоматической самоорганизации системы не происходит, для этого необходимо управляющее воздействие.

Самоорганизация - лишь возможный путь развития, эволюции системы. Это путь движения системы к упорядоченности, пусть и относительной. Четких мер, критериев упорядоченности нет, даже для физических, химических, биологических систем, где проблема порядка, равновесия давно изучаются.

Самоорганизация может наблюдаться как в живых, так и в неживых системах.

Пример. История развития ЭВМ - пример самоорганизации: от 1-го поколения ЭВМ (40-50-е годы XX века) с электронными лампами и быстродействием порядка 10^4 операций в секунду, до 1-го поколения оптических ВМ (конец 90-х годов) с голографической памятью, с логикой на потоках фотонов, нейроподобных архитектурах и быстродействием порядка 10^{12} операций в секунду.

Пример. Человеческое общество развивается спиралевидно, циклически: циклически повторяются катастрофы, засухи, неурожаи, эпидемии и т.п. Например, происходит переход от малого ледникового периода к общему постепенному потеплению, а число экстремальных природных явлений не только не уменьшается, но и увеличивается, в частности, в XVIII м веке было лишь 66 лет, в которых отмечались землетрясения в России.

Пример. Известный ученый А.Л. Чижевский, наблюдая в 20-х годах XX века за пятнами на Солнце и изучая их образование, обнаружил, что некоторые периоды усиления солнечной активности и периоды усиления военных действий Первой мировой войны совпадают. Интересную закономерность открыл Р. Вульф во второй половине 19-го века: $w=k(n+10m)$, где k - коэффициент пропорциональности, определяемый разрешающей способностью телескопа, n - общее число замеченных солнечных пятен, m - число групп пятен, w - число Вульфа, по которым можно определять солнечную активность. Существует, таким образом, 11-летний цикл солнечной активности.

Любая деятельность вопреки эволюционным процессам в системе, вопреки принципам самоорганизации, - противосистемна.

Пример. Любые экономические решения, противоречащие основному регулятору рынка, основному механизму ее организации - соотношению "спрос-предложение" приводят к вредным последствиям для системы и для ее самоорганизации. Например, выпуск товаров в объеме, превышающем спрос на рынке, может привести к снижению спроса.

В рамках идеи ноосферы, гармоничных взаимоотношений человека и природы, человек выступает как органическая часть природы.

Окружение человека (включая природу и общество) - нестабильное, неустойчивое, неравновесное, развивающееся. При рассмотрении проблем такого мира надо учитывать два его противоположных и взаимосвязанных, взаимно обуславливающих друг друга качества, - стабильность и нестабильность, порядок и хаос, определенность и неопределенность.

Нестабильность и неустойчивость не всегда есть зло, отрицательное качество, подлежащее устранению. Неустойчивость может, в соответствии с законами синергетики, выступать условием стабильного и динамического саморазвития, которое происходит за счет уничтожения, изъятия нежизнеспособных форм. Устойчивость и неустойчивость в системе, образование новых структур и разрушение старых, сменяя друг друга, развивают, эволюционируют систему. Порядок и беспорядок возникают и существуют одновременно: один включает в себя другой - это два аспекта одного целого, они дают нам различное видение мира. Из-за этого мы не можем полностью держать под контролем окружающий мир нестабильных процессов, например, полностью контролировать социально-экономические процессы.

Современная наука и технология имеют дело со сложными системами, связь между которыми осуществляется не только через порядок, через структуры порядка, но и через хаос. Только в единстве порядка и хаоса может быть исследована эволюция сложной системы. Сложная система - целое, состоящее из устойчивых и неустойчивых частей. Здесь целое - уже простая сумма частей. Эволюция такой системы ведет к новому качеству, включая и отношения с человеком. Человек находится не вне изучаемого объекта, а внутри его, познавая это целое по его составным частям, объединяя естественные науки, усиливая междисциплинарные связи, сближая естественные и

гуманитарные проблемы наук, науку и искусство. Идеи, принципы, методы и технологии современного естествознания (синергетики, информатики, системного анализа, физики открытых систем и др.), все шире внедряются в гуманитарную и социально-экономическую сферы. Есть и обратные процессы.

Пример. Естествознание и гуманитарные науки все чаще исследуют процессы и системы в совокупности с человеком: медико-биологические проблемы, экологические, включая биосферу в целом (глобальная экология), биотехнологии (генная инженерия), системы "человек-машина" и т.д. Специфику современной науки все более определяют комплексные исследовательские программы (в которых принимают участие специалисты различных областей знания), междисциплинарные исследования. Например, красота - это не только категория гуманитарная, отражение гармонии материального мира, но и категория научная, красота теоретических построений. Поиски красоты, т.е. единства и симметрии законов природы, - примечательная черта современной физики, математики, биологии, синергетики и других естественных наук. Исторический метод прилагается к большому кругу систем, например, вводится даже в квантово-механическую интерпретацию, где он ранее не применялся.

Компьютеризация и информационные технологии позволяют передавать машине все более усложняющиеся логические операции. Человеческий мозг освобождается от формализуемой, стандартизированной, рутинной логической деятельности.

Пример. Эвристические процедуры, интуиция, опыт человека, эксперта находят применение в программировании, например, при разработке антивирусных программ.

Эволюцию системы можно, как сказано выше, понимать как целенаправленное (на основе выбора) движение, изменение этой системы (как неравновесной) по некоторой траектории развития, состоящей из точек состояний.

Пример. Чтобы жить достойно, люди и правительство должны ориентироваться на социально-экономическую перспективу, т.е. траектория развития любой страны должна быть эволюционной.

Устойчивость системы - ее способность сохранять свое движение по траектории на таком уровне потребления ресурсов, который может самоподдерживаться, саморегулироваться достаточно долго.

Традиционная макроэкономика ориентируется на непрерывный и, чаще всего, количественный рост, а не на устойчивость. Для развития, эволюции требуется все больше материальных, энергетических, информационных ресурсов, а их рост сужает пространство устойчивого развития общества, снижает жизнеспособность.

Пример. При достаточно высоком уровне образования и развитой системе образования, научно-техническая и технологическая области последние два десятилетия слабо развивались в России. Например, в США в 1996 г. на науку расходы государства составляют 2,8-2,9% ВВП страны, в Японии - 3,3%, в России - 0,59%. По показателю достаточности и уровню квалификации трудовых ресурсов Россия занимает 46-е место. По оценкам специалистов, если Россия в ближайшие годы не поднимется хотя бы на 20-е, то ее экономический крах гарантирован.

Эффективность системы - способность системы оптимизировать (глобально-потенциально или локально-реально) некоторый критерий эффективности типа соотношений "затраты на обеспечение ресурсом - объем поступлений новых ресурсов".

Пример. Для социально-экономической системы - это способность производить социально-экономический эффект и не ухудшать движение по пути к достижению поставленной цели. Например, критерием эффективности банковской системы может быть не только прибыль, но и кредитование, возврат кредитов.

Эффективными можно считать действия в системе, которые поддерживают самоорганизацию системы при низком уровне энтропии за счет неравновесных процессов взаимного обмена энергией, веществом и информацией с окружающей средой.

Актуальна разработка механизмов, которые обеспечивали бы устойчивое развитие общества (в частности, социально-экономических систем) и каждого его члена в отдельности без количественного увеличения ресурсов, с помощью произведенного труда, стоимости и капитала.

Пример. Показателями развития общества могут служить ВНД - валовой национальный доход и ВВП - валовой национальный продукт, но и они не позволяют полно оценивать устойчивость развития общества, его систем, не позволяют оценивать, живет ли общество по средствам, заботясь о будущих поколениях, т.е. адекватны ли "кредитные социо-экономико-экологические отношения природы и общества", развитие культуры, науки и др.

Эволюция системы определяется борьбой организации и дезорганизации в системе, накоплением и усложнением информации, ее организацией и самоорганизацией, сложностью и разнообразием внутрисистемных процессов. Важным критерием эффективности системы (политики) является ее динамическая, структурная и организационная предсказуемость, отсутствие аномалий и обеспечение динамического роста, наличие и динамическая актуализация критериев оценки принимаемых решений.

Современному обществу и природе, с их множеством возможных путей развития, нельзя навязывать эти пути, они избираются на принципах самоуправления и саморегулирования, а именно, за счет целенаправленных воздействий на процессы с целью возврата траектории эволюции на желаемую траекторию (если в результате, например, стохастических воздействий система отклонилась от траектории).

При этом, в соответствии с принципами синергетики, необходимо учесть, что в неустойчивой социально-экономической среде действия каждого отдельного человека (микропроцессы) могут повлиять на всю систему в целом (макропроцессы).

Пример. В условиях неустойчивой экономической политики действия отдельных структур могут повлиять на социально-экономические процессы общества, что наблюдалось, например, в Ираке и других странах.

Стратегическое планирование в социально-экономических системах - ресурсообеспеченные и целенаправленные действия руководства, ведущие к разработке наилучших в каком-то смысле (например, локально-оптимальных) стратегий динамического поведения всей системы, которые приводят в окрестность поставленных целей.

Стратегическое планирование - инструмент, помогающий принимать управленческие решения по осуществлению основных задач:

1. распределения ресурсов;
2. адаптации к изменениям внешних факторов;
3. внутренней координации и мобилизации;
4. осознания организационных стратегий и целей (краткосрочных, среднесрочных, долгосрочных), динамической переоценки достижимости целей.

Пример. Планирование в социально-гуманитарной системе необходимо для достижения следующих целей:

1. повышение контрольных функций;
2. предвидение требований социальной и гуманитарной политики;
3. обеспечение своевременной реакции на изменения в системе;
4. улучшение социально-гуманитарного и экономического состояния;
5. уменьшение неопределенности, риска, увеличение эффективности и др.

Козэволюция - сопряженное, взаимообусловленное изменение систем или частей внутри целого. Это принцип глобальной эволюции. Само это понятие пришло из эволюционной популяционной теории.

Понятие коэволюции тесно связано с понятием "самоорганизации". Самоорганизация имеет дело со структурами, состояниями развивающихся систем, а коэволюция - с отношениями между такими системами, с взаимосвязями эволюционных изменений.

Пример. В последние годы активно формируется новое направление исследований - эволюционная экономика. Волнообразный, циклический характер действия основных законов наблюдается в устойчивой системе. Особенно заметен волнообразный характер социально-экономических процессов переходного периода. Государственное регулирование, его масштабы и значение претерпевают существенные изменения по мере эволюции экономики. Уменьшение роли государства будет чередоваться с периодами ее волнообразного возрастания. Снижение роли и значения системы государственного регулирования при эволюции социально-экономической системы будет чередоваться с ее усилением на определенных этапах переходного периода, будут наблюдаться периоды либерализации и контроля над ценами и заработной платой, волнообразный характер процесса приватизации и т.п. Волнообразный характер социально-экономических процессов можно объяснить следующим образом. Несмотря на различие рыночных и не рыночных государственных методов хозяйствования, их действие во многом взаимодополняющее. Более того, в развитой экономике рыночные (часто - стихийные) и государственные (часто - плановые) методы сочетаются и диффундируют, обеспечивая возврат на устойчивую траекторию развития при отклонениях от нее. В этом и заключается первопричина волнообразности.

Волнообразный и циклический характер имеют многие процессы социально-экономической и гуманитарной сфер, например, в сфере политики, права, информации и печати, религии, национальных отношений, миграционных процессов, распространения технологий, активности военных действий и др. Многие из этих циклических процессов связаны с циклами солнечной активности.

Катастрофами называются скачкообразные дестабилизирующие изменения, возникающие в виде отклика системы на плавное изменение условий окружающей среды. Эти

изменения - внезапны, непрогнозируемы с уверенной точностью, резки по отношению к темпу изменения условий среды. Если представить себе траекторию эволюции системы как множество точек, каждая из которых есть точка в пространстве факторов окружающей среды, то у траектории системы могут быть точки бифуркации - раздвоения, качественного изменения траектории.

Пример. Так называемый "черный вторник" на валютном рынке возник на фоне плавных, ничего катастрофического не предвещающих, условий среды (внешне эти условия плавно менялись накануне).

Управляемая социально-экономическая система при определённой цели, определенных начальных данных и определённых ресурсах имеет определенную область достижимости, в которой она может достичь цели при этих ресурсах за любое время.

Сформулируем основные аксиомы теории информационных динамических процессов (информационной синергетики).

Аксиома 1. Развитие (эволюция) системы определяется некоторой целью и информационными ресурсами системы, ее информационной открытостью.

Аксиома 2. При стремлении к цели система воспринимает входную информацию, которая используется и для изменения внутренней структуры самой системы, внутрисистемной информации.

Аксиома 3. Изменение внутрисистемной информации происходит таким образом, чтобы увеличивалась негэнтропия (мера порядка) системы, уменьшалась энтропия (мера беспорядка) в системе.

Аксиома 4. Любое изменение внутренней структуры системы или внутрисистемной информации оказывает воздействие на выходную информацию системы (т.е. на окружающую среду системы); внутренняя энтропия изменяет внешнюю энтропию системы.

Большое значение при исследовании управляемости системы, ее управляющих параметров, развития системы во времени, в пространстве, по структуре имеют синергетические принципы, сформулированные И.Пригожиным и его последователями, в частности, следующие:

1. принцип эволюции системы, необратимости процессов ее развития;
2. принцип возможного решающего воздействия (при определенном стечении обстоятельств) малых изменений поведения системы на ее эволюцию;
3. принцип множественности (или многовариантности) путей развития системы и возможности выбора оптимальных из них;
4. принцип невмешательства в процессы самоуправяемого развития и непредсказуемости эволюционного поведения системы и, в то же время, - учёт возможности организовать управляющие воздействия на ресурсы и процессы в системе;
5. принцип учета стохастичности и неопределенности процессов (поведения систем);
6. принцип взаимовоздействия усложнения организации, устойчивости и темпов развития систем;

7. принцип учета факторов стабильности и нестабильности системы (возникновения устойчивости из неустойчивого поведения), порядка и хаоса в системе (возникновения порядка из хаоса), определенности и неопределенности;
8. принцип взаимовлияния устойчивости среды отдельной подсистемы или элемента (микросреды) и процессов во всей системе (макросреды).

Так как синергетика - теория возникновения новых качественных свойств и структур, а возникновение смысла (интерпретация и понимание сообщений) всегда связано с качественными изменениями в системе, то можно говорить об информационной самоорганизации. Информация - синергетическая среда, с помощью которой поддерживается вся система, ее отдельные подсистемы и которая генерирует информацию о том, как должна развиваться (саморазвиваться) система.

Важным условием рождения информации в системах является их открытость. В замкнутых системах, согласно второму началу термодинамики (энтропия замкнутой системы не может убывать и растет до тех пор, пока не достигнет максимума, а, следовательно, информация становится минимальной), структуры распадаются (на макроскопическом уровне). Поэтому информация не может рождаться и храниться в системах в состоянии теплового равновесия, так как в замкнутых системах всегда устанавливается тепловое равновесие.

Пример. Магнитный диск в состоянии теплового равновесия размагничивается и не может хранить информацию. Со временем дискеты приходят в состояние теплового равновесия, и магнитное покрытие разрушается, информация теряется.

Открытые системы поддерживают "дистанцию" от состояния теплового равновесия - за счет потоков ресурсов (вещества, энергии, информации) и за счет самоорганизации, вследствие которой эти потоки существуют и направляются в соответствии с подчиненностью постоянно (от элементов - к подсистемам, от них - к системе).

Пример. Структурной единицей нервной системы является нейрон - нервная клетка. Кора переднего отдела мозга содержит несколько десятков миллиардов нейронов. Нейроны бывают различного типа: сенсорные (от рецептора кожи к спинному мозгу); сетчатки (от рецепторов сетчатки глаза - к зрительному нерву); двигательные (от рецепторов мышц - к двигательной коре). Они образуют своеобразные регистры (зрительные, слуховые, тактильные и др.). Нейрон служит для передачи информации за счет нервных импульсов. Расшифровка нервных импульсов (информации) происходит в соответствующих областях коры головного мозга. Нейроны коры мозга функционируют параллельно. Это - их замечательное преимущество (по сравнению с памятью другого вида). В коре переднего мозга около 50 млрд. нейронов. Они организованы, примерно, в 600 млн. функционирующих параллельно систем. Производительность такого типа "процессора" (распределенного матричного или нейросистемы) очень впечатляет (оцените примерно ее!). Особенностью мозга является высокое качество, скорость обработки информации. Нейроны выполняют обработку со скоростью всего около 100 инструкций в секунду (сравнить с ЭВМ, выполняющей миллионы инструкций в секунду), но они быстрее и эффективнее решают наиболее сложные (для ЭВМ, в частности) задачи распознавания и классификации, принятия решений и другие плохо формализуемые и структурируемые проблемы. Человеческий мозг - это система параллельно работающих подсистем, структур, самоорганизующихся с помощью ассоциативных связей для выработки, принятия логических (алгоритмических, рациональных) решений. Там, где невозможно принять такое решение (т.е. не удастся ассоциировать такие связи), принимается эвристическое решение. На каждом нейроне коры головного мозга одновременно

(параллельно) обрабатываются возбуждения разного типа: мотивации, целеполагания, внешние возбуждения - отражения текущего состояния управляемого объекта, возбуждения памяти (опыта). Их согласованная обработка дает картину объекта и позволяет принимать решения. Так, мозг, непрерывно перебирая результаты всех прошлых действий в аналогичных ситуациях и сравнивая их с текущей ситуацией, выбирает вариант, наиболее подходящий, целесообразный и эффективный в данной конкретной ситуации. Если при этом не найдется такая ситуация, то выбирается (прогнозируется многокритериально) такое состояние, результат которого будет наиболее адекватен; этот результат и запоминается далее. У человека существует самостоятельная потребность в информации. Нормальная жизнедеятельность возможна лишь тогда, когда из внешней среды имеется приток не только вещества, энергии, но и информации, когда нет явлений "информационного голода". Получение новой информации связано со сжатием информации, например, с пересылкой в долговременную память (подсознание) образов, смыслов и т.д.

На этапе самоорганизации вырабатывается коллективное, корпоративное поведение (т.е. новый уровень иерархии образования смысла, семантики). В живых системах при этом используется не только связь со средой, но и генетически заложенная информация или информация самоорганизации.

Пример. Стадо буйволов (каждый из которых в отдельности достаточно беззащитен перед стаей хищников) во время нападения самоорганизуется: молодняк - в центре, самцы - по окружности ("рогами наружу"). Это важно для выживания всего стада.

Информация может быть неполной, образной, например, в виде фрагментов, по которым быстро восстанавливается (самоорганизуется) более полная информация. Особенно важно быстро и полно восстанавливать эту информацию. Поэтому необходим процесс обучения, сжатия и передачи информации, знаний от поколения к поколению. Так как области знаний расширяются и углубляются, а информация лавинообразно растет, то важно находить синергетические инварианты, принципы, технологии ее передачи.

Наблюдаемая математизация и информатизация современной науки убедительно показывает, что их эффективность зависит как от данной науки, сложности и возможности адекватного описания ее законов и принципов математическими и информационными моделями, так и от используемого математического аппарата.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое самоорганизация, самоорганизующаяся система?
2. Является ли любая система самоорганизующейся? Какие системы всегда приводят к самоорганизации?
3. Каковы основные аксиомы информационной синергетики? Каковы основные синергетический принцип И. Пригожина?

Задачи и упражнения

1. Написать эссе на тему "Самоорганизация в живой природе".
2. Написать эссе на тему "Самоорганизация в неживой природе".
3. Привести пример самоорганизующейся системы и на её основе пояснить синергетические принципы И. Пригожина (предварительно ознакомившись с ними).

Темы для научных исследований и рефератов, интернет-листов

1. Философские аспекты самоорганизации.
2. Самоорганизация социально-экономических систем и их значение.
3. Аксиоматика самоорганизации систем.

10. Лекция: Основы моделирования систем

Рассматриваются основные понятия моделирования систем, системные типы и свойства моделей, жизненный цикл моделирования (моделируемой системы).

Цель лекции: введение в понятийные основы моделирования систем.

Модель и моделирование - универсальные понятия, атрибуты одного из наиболее мощных методов познания в любой профессиональной области, познания системы, процесса, явления.

Модели и моделирование объединяют специалистов различных областей, работающих над решением межпредметных проблем, независимо от того, где эта модель и результаты моделирования будут применены. Вид модели и методы его исследования больше зависят от информационно-логических связей элементов и подсистем моделируемой системы, ресурсов, связей с окружением, используемых при моделировании, а не от конкретной природы, конкретного наполнения системы.

У моделей, особенно математических, есть и дидактические аспекты - развитие модельного стиля мышления, позволяющего вникать в структуру и внутреннюю логику моделируемой системы.

Построение модели - системная задача, требующая анализа и синтеза исходных данных, гипотез, теорий, знаний специалистов. Системный подход позволяет не только построить модель реальной системы, но и использовать эту модель для оценки (например, эффективности управления, функционирования) системы.

Модель - объект или описание объекта, системы для замещения (при определенных условиях предложениях, гипотезах) одной системы (т.е. оригинала) другой системой для лучшего изучения оригинала или воспроизведения каких-либо его свойств. Модель - результат отображения одной структуры (изученной) на другую (малоизученную). Отображая физическую систему (объект) на математическую систему (например, математический аппарат уравнений), получим физико-математическую модель системы или математическую модель физической системы. Любая модель строится и исследуется при определенных допущениях, гипотезах.

Пример. Рассмотрим физическую систему: тело массой m скатывающееся по наклонной плоскости с ускорением a , на которое действует сила F . Исследуя такие системы, Ньютон получил математическое соотношение: $F=ma$. Это физико-математическая модель системы или математическая модель физической системы. При описании этой системы (построении этой модели) приняты следующие гипотезы: 1) поверхность идеальна (т.е. коэффициент трения равен нулю); 2) тело находится в вакууме (т.е. сопротивление воздуха равно нулю); 3) масса тела неизменна; 4) тело движется с одинаковым постоянным ускорением в любой точке.

Пример. Физиологическая система - система кровообращения человека - подчиняется некоторым законам термодинамики. Описывая эту систему на физическом (термодинамическом) языке балансовых законов, получим физическую, термодинамическую модель физиологической системы. Если записать эти законы на математическом языке, например, выписать соответствующие термодинамические

уравнения, то уже получим математическую модель системы кровообращения. Назовем ее физиолого-физико-математической моделью или физико-математической моделью.

Пример. Совокупность предприятий функционирует на рынке, обмениваясь товарами, сырьем, услугами, информацией. Если описать экономические законы, правила их взаимодействия на рынке с помощью математических соотношений, например, системы алгебраических уравнений, где неизвестными будут величины прибыли, получаемые от взаимодействия предприятий, а коэффициентами уравнения будут значения интенсивностей таких взаимодействий, то получим математическую модель экономической системы, т.е. экономико-математическую модель системы предприятий на рынке.

Пример. Если банк выработал стратегию кредитования, смог описать ее с помощью экономико-математических моделей и прогнозирует свою тактику кредитования, то он имеет большую устойчивость и жизнеспособность.

Слово "модель" (лат. *modelium*) означает "мера", "способ", "сходство с какой-то вещью".

Моделирование базируется на математической теории подобия, согласно которой абсолютное подобие может иметь место лишь при замене одного объекта другим точно таким же. При моделировании большинства систем (за исключением, возможно, моделирования одних математических структур другими) абсолютное подобие невозможно, и основная цель моделирования - модель достаточно хорошо должна отображать функционирование моделируемой системы.

Модели, если отвлечься от областей, сфер их применения, бывают трех типов: познавательные, прагматические и инструментальные.

Познавательная модель - форма организации и представления знаний, средство соединения новых и старых знаний. Познавательная модель, как правило, подгоняется под реальность и является теоретической моделью.

Прагматическая модель - средство организации практических действий, рабочего представления целей системы для ее управления. Реальность в них подгоняется под некоторую прагматическую модель. Это, как правило, прикладные модели.

Инструментальная модель - средство построения, исследования и/или использования прагматических и/или познавательных моделей.

Познавательные отражают существующие, а прагматические - хоть и не существующие, но желаемые и, возможно, исполнимые отношения и связи.

По уровню, "глубине" моделирования модели бывают:

- эмпирические - на основе эмпирических фактов, зависимостей;
- теоретические - на основе математических описаний;
- смешанные, полуэмпирические - на основе эмпирических зависимостей и математических описаний.

Проблема моделирования состоит из трех задач:

- построение модели (эта задача менее формализуема и конструктивна, в том смысле, что нет алгоритма для построения моделей);
- исследование модели (эта задача более формализуема, имеются методы исследования различных классов моделей);
- использование модели (конструктивная и конкретизируемая задача).

Модель M , описывающая систему $S(x_1, x_2, \dots, x_n; R)$, имеет вид: $M=(z_1, z_2, \dots, z_m; Q)$, где $z_i \in Z$, $i=1, 2, \dots, m$, Q, R - множества отношений над X - множеством входных, выходных сигналов и состояний системы, Z - множество описаний, представлений элементов и подмножеств X .

Схема построения модели M системы S с входными сигналами X и выходными сигналами Y изображена на рис. 10.1.

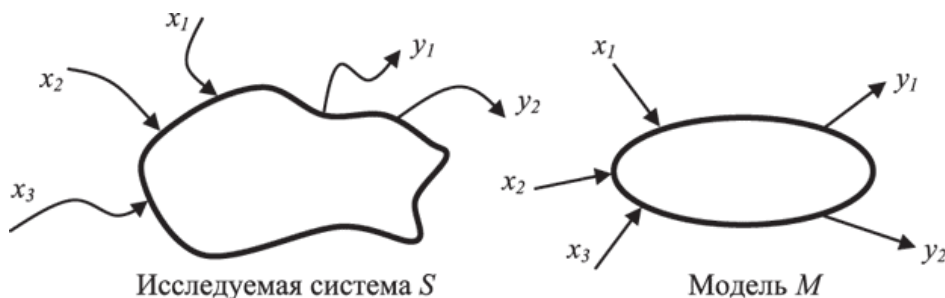


Рис. 10.1. Схема построения модели

Если на вход M поступают сигналы из X и на выходе появляются сигналы Y , то задан закон, правило f функционирования модели, системы.

Моделирование - это универсальный метод получения, описания и использования знаний. Он используется в любой профессиональной деятельности. В современной науке и технологии роль и значение моделирования усиливается, актуализируется проблемами, успехами других наук. Моделирование реальных и нелинейных систем живой и неживой природы позволяет перекидывать мостики между нашими знаниями и реальными системами, процессами, в том числе и мыслительными.

Классификацию моделей проводят по различным критериям. Мы будем использовать наиболее простую и практически значимую.

Модель называется статической, если среди параметров, участвующих в ее описании, нет временного параметра. Статическая модель в каждый момент времени дает лишь "фотографию" системы, ее срез.

Пример. Закон Ньютона $F=am$ - это статическая модель движущейся с ускорением a материальной точки массой m . Эта модель не учитывает изменение ускорения от одной точки к другой.

Модель динамическая, если среди ее параметров есть временной параметр, т.е. она отображает систему (процессы в системе) во времени.

Пример. Модель $S=gt^2/2$ - динамическая модель пути при свободном падении тела. Динамическая модель типа закона Ньютона: $F(t)=a(t)m(t)$. Еще лучшей формой динамической модели Ньютона является $F(t)=s''(t)m(t)$.

Модель дискретная, если она описывает поведение системы только в дискретные моменты времени.

Пример. Если рассматривать только $t=0, 1, 2, \dots, 10$ (сек), то модель $S_t=gt^2/2$ или числовая последовательность $S_0=0, S_1=g/2, S_2=2g, S_3=9g/2, \dots, S_{10}=50g$ может служить дискретной моделью движения свободно падающего тела.

Модель непрерывная, если она описывает поведение системы для всех моментов времени из некоторого промежутка времени.

Пример. Модель $S=gt^2/2, 0<t<100$ непрерывна на промежутке времени $(0;100)$.

Модель имитационная, если она предназначена для испытания или изучения возможных путей развития и поведения объекта путем варьирования некоторых или всех параметров модели.

Пример. Пусть модель экономической системы производства товаров двух видов 1 и 2, соответственно, в количестве x_1 и x_2 единиц и стоимостью каждой единицы товара a_1 и a_2 на предприятии описана в виде соотношения: $a_1x_1+a_2x_2=S$, где S - общая стоимость произведенной предприятием всей продукции (вида 1 и 2). Можно ее использовать в качестве имитационной модели, по которой можно определять (варьировать) общую стоимость S в зависимости от тех или иных значений объемов производимых товаров.

Модель детерминированная, если каждому входному набору параметров соответствует вполне определенный и однозначно определяемый набор выходных параметров; в противном случае - модель недетерминированная, стохастическая (вероятностная).

Пример. Приведенные выше физические модели - детерминированные. Если в модели $S=gt^2/2, 0<t<100$ мы учли бы случайный параметр - порыв ветра с силой p при падении тела, например, так: $S(p)=g(p)t^2/2, 0<t<100$, то мы получили бы стохастическую модель (уже не свободного!) падения.

Модель функциональная, если она представима в виде системы каких-либо функциональных соотношений.

Пример. Непрерывный, детерминированный закон Ньютона и модель производства товаров (см. выше) - функциональные.

Модель теоретико-множественная, если она представима с помощью некоторых множеств и отношений принадлежности им и между ними.

Пример. Пусть заданы множество $X=\{\text{Николай, Петр, Николаев, Петров, Елена, Екатерина, Михаил, Татьяна}\}$ и отношения: Николай - супруг Елены, Екатерина - супруга Петра, Татьяна - дочь Николая и Елены, Михаил - сын Петра и Екатерины, семьи Михаила и Петра дружат друг с другом. Тогда множество X и множество перечисленных отношений Y могут служить теоретико-множественной моделью двух дружественных семей.

Модель логическая, если она представима предикатами, логическими функциями.

Пример. Совокупность двух логических функций вида: $z=x \wedge y \vee x \wedge u$, $p=x \wedge u$ может служить математической моделью одноразрядного сумматора.

Модель игровая, если она описывает, реализует некоторую игровую ситуацию между участниками игры (лицами, коалициями).

Пример. Пусть игрок 1 - добросовестный налоговый инспектор, а игрок 2 - недобросовестный налогоплательщик. Идет процесс (игра) по уклонению от налогов (с одной стороны) и по выявлению сокрытия уплаты налогов (с другой стороны). Игроки выбирают натуральные числа i и j ($i, j \leq n$), которые можно отождествить, соответственно, со штрафом игрока 2 за неуплату налогов при обнаружении факта неуплаты игроком 1 и с временной выгодой игрока 2 от сокрытия налогов (в средне- и долгосрочном плане штраф за сокрытие может оказаться намного более ощутимым). Рассмотрим матричную игру с матрицей выигрышей порядка n . Каждый элемент этой матрицы A определяется по правилу $a_{ij} = |i - j|$. Модель игры описывается этой матрицей и стратегией уклонения и поимки. Эта игра - антагонистическая, бескоалиционная (формализуемые в математической теории игр понятия мы пока будем понимать содержательно, интуитивно).

Модель алгоритмическая, если она описана некоторым алгоритмом или комплексом алгоритмов, определяющим ее функционирование, развитие. Введение такого, на первый взгляд, непривычного типа моделей (действительно, кажется, что любая модель может быть представлена алгоритмом её исследования), на наш взгляд, вполне обосновано, так как не все модели могут быть исследованы или реализованы алгоритмически.

Пример. Моделью вычисления суммы бесконечного убывающего ряда чисел может служить алгоритм вычисления конечной суммы ряда до некоторой заданной степени точности. Алгоритмической моделью корня квадратного из числа x может служить алгоритм вычисления его приближенного сколь угодно точного значения по известной рекуррентной формуле.

Модель структурная, если она представима структурой данных или структурами данных и отношениями между ними.

Пример. Структурной моделью может служить описание (табличное, графовое, функциональное или другое) трофической структуры экосистемы. Постройте такую модель (одна из них была приведена выше).

Модель графовая, если она представима графом или графами и отношениями между ними.

Модель иерархическая (древовидная), если представима некоторой иерархической структурой (деревом).

Пример. Для решения задачи нахождения маршрута в дереве поиска можно построить, например, древовидную модель (рис. 10.2):

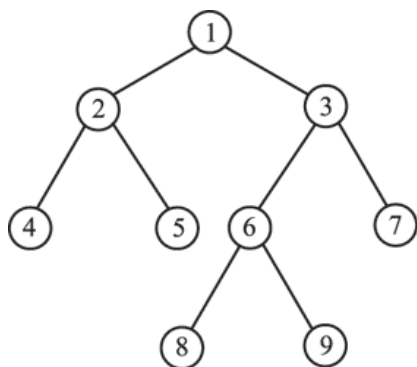


Рис. 10.2. Модель иерархической структуры

Модель сетевая, если она представима некоторой сетевой структурой.

Пример. Строительство нового дома включает операции, приведенные в нижеследующей таблице.

Таблица работ при строительстве дома				
№	Операция	Время выполнения (дни)	Предшествующие операции	Дуги графа
1	Расчистка участка	1	нет	-
2	Закладка фундамента	4	Расчистка участка (1)	1-2
3	Возведение стен	4	Закладка фундамента (2)	2-3
4	Монтаж электропроводки	3	Возведение стен (3)	3-4
5	Штукатурные работы	4	Монтаж электропроводки (4)	4-5
6	Благоустройство территории	6	Возведение стен (3)	3-6
7	Отделочные работы	4	Штукатурные работы (5)	5-7
8	Настил крыши	5	Возведение стен (3)	3-8

Сетевая модель (сетевой график) строительства дома дана на рис. 10.3.

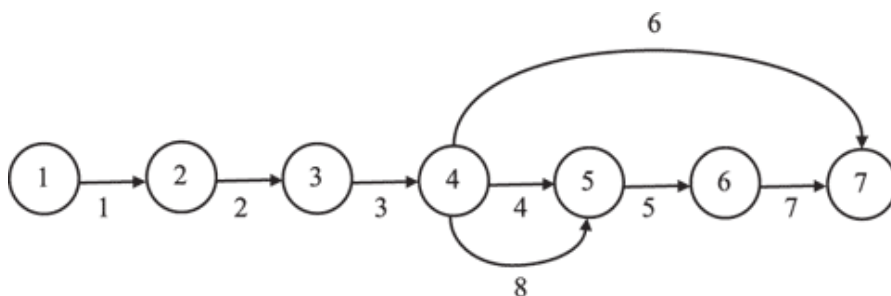


Рис. 10.3. Сетевой график строительства работ

Две работы, соответствующие дуге 4-5, параллельны, их можно либо заменить одной, представляющей совместную операцию (монтаж электропроводки и настил крыши) с новой длительностью $3+5=8$, либо ввести на одной дуге фиктивное событие, тогда дуга 4-5 примет вид.

Модель языковая, лингвистическая, если она представлена некоторым лингвистическим объектом, формализованной языковой системой или структурой. Иногда такие модели называют вербальными, синтаксическими и т.п.

Пример. Правила дорожного движения - языковая, структурная модель движения транспорта и пешеходов на дорогах. Пусть V - множество производящих основ существительных, S - множество суффиксов, P - прилагательных, "+" - операция конкатенации слов, "=" - операция присваивания, " \Rightarrow " - операция вывода (выводимости новых слов), Z - множество значений (смысловых) прилагательных. Языковая модель M словообразования: $\langle z_i \rangle \Leftarrow \langle p_i \rangle = \langle b_i \rangle + \langle s_i \rangle$. При b_i - "рыб(а)", s_i - "н(ый)", получаем по этой модели p_i - "рыбный", z_i - "приготовленный из рыбы".

Модель визуальная, если она позволяет визуализировать отношения и связи моделируемой системы, особенно в динамике.

Пример. На экране компьютера часто пользуются визуальной моделью того или иного объекта, например, клавиатуры в программе-тренажере по обучению работе на клавиатуре.

Модель натурная, если она есть материальная копия объекта моделирования.

Пример. Глобус - натурная географическая модель земного шара.

Модель геометрическая, графическая, если она представима геометрическими образами и объектами.

Пример. Макет дома является натурной геометрической моделью строящегося дома. Вписанный в окружность многоугольник дает модель окружности. Именно она используется при изображении окружности на экране компьютера. Прямая линия является моделью числовой оси, а плоскость часто изображается как параллелограмм.

Модель клеточно-автоматная, если она представляет систему с помощью клеточного автомата или системы клеточных автоматов. Клеточный автомат - дискретная динамическая система, аналог физического (непрерывного) поля. Клеточно-автоматная геометрия - аналог евклидовой геометрии. Неделимый элемент евклидовой геометрии - точка, на основе ее строятся отрезки, прямые, плоскости и т.д. Неделимый элемент клеточно-автоматного поля - клетка, на основе её строятся кластеры клеток и различные конфигурации клеточных структур. Это "мир" некоторого автомата, исполнителя, структуры. Представляется клеточный автомат равномерной сетью клеток ("ячеек") этого поля. Эволюция клеточного автомата разворачивается в дискретном пространстве - клеточном поле. Такие клеточные поля могут быть вещественно-энерго-информационными. Законы эволюции локальны, т.е. динамика системы определяется задаваемым неизменным набором законов или правил, по которым осуществляется вычисление новой клетки эволюции и его материально-энерго-информационной характеристики в зависимости от состояния окружающих ее соседей (правила соседства, как уже сказано, задаются). Смена состояний в клеточно-автоматном поле происходит одновременно и параллельно, а время идет дискретно. Несмотря на кажущуюся простоту их построения, клеточные автоматы могут демонстрировать разнообразное и сложное поведение. В последнее время они широко используются при моделировании не только физических, но и социально-экономических процессов.

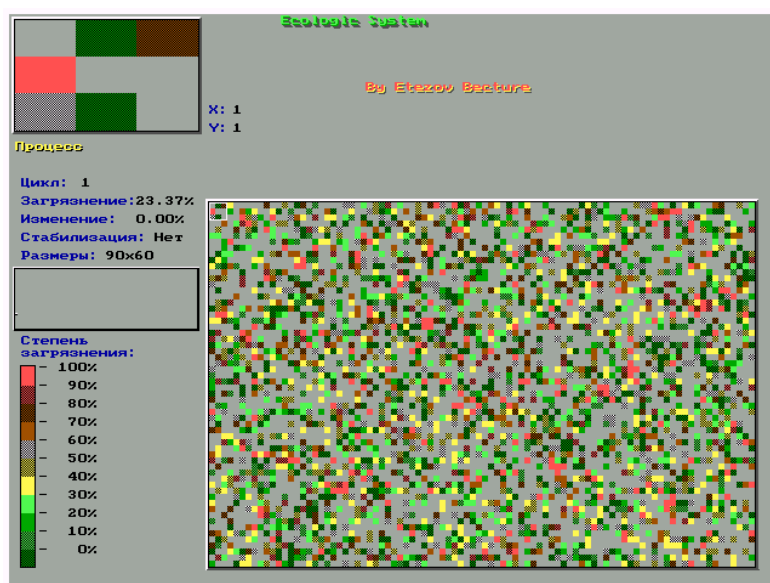
Клеточные автоматы (поля) могут быть одномерными, двумерными (с ячейками на плоскости), трехмерными (с ячейками в пространстве) или же многомерными (с ячейками в многомерных пространствах).

Пример. Классическая клеточно-автоматная модель - игра "Жизнь" Джона Конвея. Она описана во многих книгах. Мы рассмотрим другую клеточно-автоматную модель загрязнения среды, диффузии загрязнителя в некоторой среде. 2D-клеточный автомат (на плоскости) для моделирования загрязнения среды может быть сгенерирован следующими правилами:

- плоскость разбивается на одинаковые клетки: каждая клетка может находиться в одном из двух состояний: состояние 1 - в ней есть диффундирующая частица загрязнителя, и состояние 0 - если ее нет;
- клеточное поле разбивается на блоки 2×2 двумя способами, которые будем называть четным и нечетным разбиениями (у четного разбиения в кластере или блоке находится четное число точек или клеток поля, у нечетного блока - их нечетное число);
- на очередном шаге эволюции каждый блок четного разбиения поворачивается (по задаваемому правилу распространения загрязнения или генерируемому распределению случайных чисел) на заданный угол (направление поворота выбирается генератором случайных чисел);
- аналогичное правило определяется и для блоков нечетного разбиения;
- процесс продолжается до некоторого момента или до очищения среды.

Пусть единица времени - шаг клеточного автомата, единица длины - размер его клетки. Если перебрать всевозможные сочетания поворотов блоков четного и нечетного разбиения, то видим, что за один шаг частица может переместиться вдоль каждой из координатных осей на расстояние 0, 1 или 2 (без учета направления смещения) с вероятностями, соответственно, $p_0=1/4$, $p_1=1/2$, $p_2=1/4$. Вероятность попадания частицы в данную точку зависит лишь от ее положения в предыдущий момент времени, поэтому рассматриваем движение частицы вдоль оси x (y) как случайное.

На рис. 10.4 - фрагменты работы программы клеточно-автоматной модели загрязнения клеточной экосреды (размеры клеток увеличены).



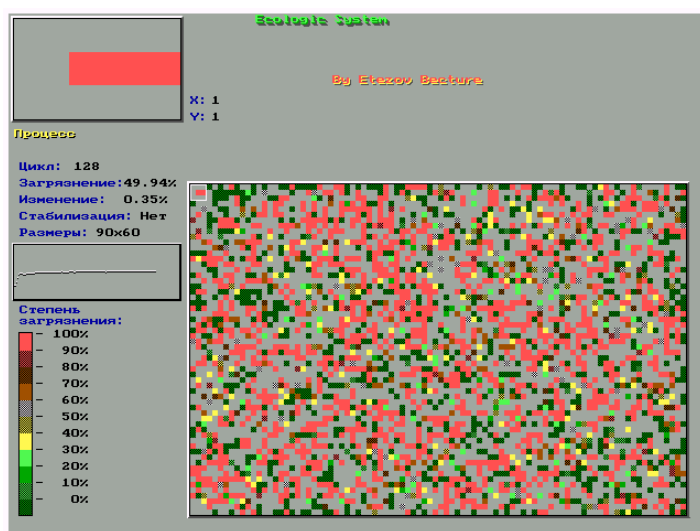


Рис. 10.4. Окно справа - состояние клеточного поля (в верхнем - исходное, слабо загрязненное, в нижнем - после 120 циклов загрязнения), в левом верхнем углу - "Микроскоп", увеличивающий кластер поля, в середине слева - график динамики загрязнения, внизу слева - индикаторы загрязнения

Модель фрактальная, если она описывает эволюцию моделируемой системы эволюцией фрактальных объектов. Если физический объект однородный (сплошной), т.е. в нем нет полостей, можно считать, что плотность не зависит от размера. Например, при увеличении R до $2R$ масса увеличится в R^2 раз (круг) и в R^3 раз (шар), т.е. $M(R) \sim R^n$ (связь массы и длины), n - размерность пространства. Объект, у которого масса и размер связаны этим соотношением, называется "компактным". Плотность его

$$\rho \sim \frac{M}{R^n} \sim R^0 - const$$

Если объект (система) удовлетворяет соотношению $M(R) \sim R^{f(n)}$, где $f(n) < n$, то такой объект называется фрактальным. Его плотность не будет одинаковой для всех значений R , а масштабируется так:

$$\rho(R) \sim \frac{M(R)}{R^n} \sim R^{f(n)-n}$$

Так как $f(n)-n < 0$, то плотность фрактального объекта уменьшается с увеличением размера, а $\rho(R)$ является количественной мерой разреженности, ветвистости (структурированности) объекта.

Пример. Пример фрактальной модели - множество Кантора. Рассмотрим $[0;1]$. Разделим его на 3 части и выбросим средний отрезок. Оставшиеся 2 промежутка опять разделим на три части и выкинем средние промежутки и т.д. Получим множество, называемое множеством Кантора. В пределе получаем несчетное множество изолированных точек (рис. 10.5)



Рис. 10.5. Множество Кантора для 3-х делений

Можно показать, что если n - размерность множества Кантора, то $n = \ln 2 / \ln 3 \approx 0,63$, т.е. этот объект (фрактал) еще не состоит только из изолированных точек, хотя уже и не состоит из отрезка. Фрактальные объекты самоподобны, если они выглядят одинаково в любом пространственном масштабе, масштабно инвариантны, фрагменты структуры повторяются через определенные пространственные промежутки. Поэтому они очень хорошо подходят для моделирования нерегулярностей, так как позволяют описывать (например, дискретными моделями) эволюцию таких систем для любого момента времени и в любом пространственном масштабе.

Самоподобие встречается в самых разных предметах и явлениях.

Пример. Самоподобны ветки деревьев, снежинки, экономические системы (волны Кондратьева), горные системы.

Фрактальная модель применяется обычно тогда, когда реальный объект нельзя представить в виде классической модели, когда имеем дело с нелинейностью (многовариантностью путей развития и необходимостью выбора) и недетерминированностью, хаотичностью и необратимостью эволюционных процессов.

Тип модели зависит от информационной сущности моделируемой системы, от связей и отношений его подсистем и элементов, а не от его физической природы.

Пример. Математические описания (модели) динамики эпидемии инфекционной болезни, радиоактивного распада, усвоения второго иностранного языка, выпуска изделий производственного предприятия и т.д. являются одинаковыми с точки зрения их описания, хотя процессы различны.

Границы между моделями различного типа или же отнесение модели к тому или иному типу часто весьма условны. Можно говорить о различных режимах использования моделей - имитационном, стохастическом и т.д.

Модель включает в себя: объект O , субъект (не обязательный) A , задачу Z , ресурсы B , среду моделирования C : $M = \langle O, Z, A, B, C \rangle$.

Основные свойства любой модели:

- целенаправленность - модель всегда отображает некоторую систему, т.е. имеет цель;
- конечность - модель отображает оригинал лишь в конечном числе его отношений и, кроме того, ресурсы моделирования конечны;
- упрощенность - модель отображает только существенные стороны объекта и, кроме того, должна быть проста для исследования или воспроизведения;
- приближительность - действительность отображается моделью грубо или приблизительно;
- адекватность - модель должна успешно описывать моделируемую систему;
- наглядность, обозримость основных ее свойств и отношений;
- доступность и технологичность для исследования или воспроизведения;
- информативность - модель должна содержать достаточную информацию о системе (в рамках гипотез, принятых при построении модели) и должна давать возможность получить новую информацию;
- сохранение информации, содержащейся в оригинале (с точностью рассматриваемых при построении модели гипотез);

- полнота - в модели должны быть учтены все основные связи и отношения, необходимые для обеспечения цели моделирования;
- устойчивость - модель должна описывать и обеспечивать устойчивое поведение системы, если даже она вначале является неустойчивой;
- целостность - модель реализует некоторую систему (т.е. целое);
- замкнутость - модель учитывает и отображает замкнутую систему необходимых основных гипотез, связей и отношений;
- адаптивность - модель может быть приспособлена к различным входным параметрам, воздействиям окружения;
- управляемость (имитационность) - модель должна иметь хотя бы один параметр, изменениями которого можно имитировать поведение моделируемой системы в различных условиях;
- эволюционируемость - возможность развития моделей (предыдущего уровня).

Жизненный цикл моделируемой системы:

- сбор информации об объекте, выдвижение гипотез, предмодельный анализ;
- проектирование структуры и состава моделей (подмоделей);
- построение спецификаций модели, разработка и отладка отдельных подмоделей, сборка модели в целом, идентификация (если это нужно) параметров моделей;
- исследование модели - выбор метода исследования и разработка алгоритма (программы) моделирования;
- исследование адекватности, устойчивости, чувствительности модели;
- оценка средств моделирования (затраченных ресурсов);
- интерпретация, анализ результатов моделирования и установление некоторых причинно-следственных связей в исследуемой системе;
- генерация отчетов и проектных (народно-хозяйственных) решений;
- уточнение, модификация модели, если это необходимо, и возврат к исследуемой системе с новыми знаниями, полученными с помощью модели и моделирования.

Моделирование - метод системного анализа. Но часто в системном анализе при модельном подходе исследования может совершаться одна методическая ошибка, а именно, - построение корректных и адекватных моделей (подмоделей) подсистем системы и их логически корректная увязка не дает гарантий корректности построенной таким способом модели всей системы. Модель, построенная без учета связей системы со средой и ее поведения по отношению к этой среде, может часто лишь служить еще одним подтверждением теоремы Геделя, а точнее, ее следствия, утверждающего, что в сложной изолированной системе могут существовать истины и выводы, корректные в этой системе и некорректные вне ее.

Наука моделирования состоит в разделении процесса моделирования (системы, модели) на этапы (подсистемы, подмодели), детальном изучении каждого этапа, взаимоотношений, связей, отношений между ними и затем эффективного описания их с максимально возможной степенью формализации и адекватности. В случае нарушения этих правил получаем не модель системы, а модель "собственных и неполных знаний".

Моделирование (в значении "метод", "модельный эксперимент") рассматривается как особая форма эксперимента, эксперимента не над самим оригиналом (это называется простым или обычным экспериментом), а над копией (заместителем) оригинала. Здесь важен изоморфизм систем (оригинальной и модельной) - изоморфизм, как самой копии, так и знаний, с помощью которых она была предложена.

Модели и моделирование применяются по основным направлениям:

- обучение (как моделям, моделированию, так и самих моделей);
- познание и разработка теории исследуемых систем (с помощью каких-либо моделей, моделирования, результатов моделирования);
- прогнозирование (выходных данных, ситуаций, состояний системы);
- управление (системой в целом, отдельными подсистемами системы), выработка управленческих решений и стратегий;
- автоматизация (системы или отдельных подсистем системы).

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое модель, для чего она нужна и как используется? Какая модель называется статической (динамической, дискретной и т.д.)?
2. Каковы основные свойства моделей и насколько они важны?
3. Что такое жизненный цикл моделирования (моделируемой системы)?

Задачи и упражнения

1. В последнее время наиболее актуальной проблемой в экономике стало воздействие уровня налогообложения на хозяйственную деятельность. В ряду прочих принципов взимания налогов важное место занимает вопрос о той предельной норме, превышение которой влечет потери общества и государства, несоизмеримые с текущими доходами бюджета. Определение совокупной величины налоговых сборов таким образом, чтобы она, с одной стороны, максимально соответствовала государственным расходам, а с другой, оказывала минимум отрицательного воздействия на деловую активность, относится к числу главных задач управления государством. Опишите, какие, на ваш взгляд, параметры необходимо учесть в модели налогообложения хозяйственной деятельности, соответствующей указанной цели. Составьте простую (например, рекуррентного вида) модель сбора налогов, исходя из налоговых ставок, изменяемых в указанных диапазонах: налог на доход - 8-12 %, налог на добавленную стоимость - 3-5 %, налог на имущество юридических лиц - 7-10%. Совокупные налоговые отчисления не должны превышать 30-35% прибыли. Укажите в этой модели управляющие параметры. Определите одну стратегию управления с помощью этих параметров.
2. Заданы числовой - $x_i, i=0, 1, \dots, n$ и символьный - $y_i, i=0, 1, \dots, m$ массивы X и Y . Составить модель стекового калькулятора, который позволяет осуществлять операции:
 1. циклический сдвиг вправо массива X или Y и запись заданного числа в x_0 или символа операции - y_0 (в "верхушку стека" $X(Y)$) т.е. выполнение операции "вталкивание в стек";
 2. считывание "верхушки стека" и последующий циклический сдвиг влево массива X или Y - операция "выталкивания из стека";
 3. обмен местами x_0 и x_1 или y_0 и y_1 ;
 4. "раздваивание верхушки стека", т.е. получение копии x_0 или y_0 в x_1 или y_1 ;
 5. считывание "верхушки стека" Y (знака +, -, * или /), затем расшифровка этой операции, считывание операндов операций с "верхушки" X , выполнение этой операции и помещение результата в "верхушку" X .
3. Известна классическая динамическая модель В.Вольтерра системы типа "хищник-жертва", являющейся моделью типа "ресурс-потребление". Рассмотрим клеточно-автоматную модель такой системы. Алгоритм поведения клеточного автомата, моделирующего систему типа "хищник-жертва", состоит из следующих этапов:

1. задаются начальные распределения хищников и жертв, случайно или детерминированно;
2. определяются законы "соседства" особей (правила взаимоотношений) клеток, например, "соседями" клетки с индексами (i,j) считаются клетки $(i-1,j)$, $(i,j+1)$, $(i+1,j)$, $(i,j-1)$;
3. задаются законы рождаемости и смертности клеток, например, если у клетки меньше двух (больше трех) соседей, она отмирает "от одиночества" ("от перенаселения").

Цель моделирования: определение эволюции следующего поколения хищников и жертв, т.е., используя заданные законы соседства и динамики дискретного развития (время изменяется дискретно), определяются число новых особей (клеток) и число умерших (погибших) особей; если достигнута заданная конфигурация клеток или развитие привело к исчезновению вида (цикличности), то моделирование заканчивается.

Темы научных исследований и рефератов, интернет-листов

1. Моделирование как метод, методология, технология.
2. Модели в микромире и макромире.
3. Линейность моделей (наших знаний) и нелинейность явлений природы и общества.

11. Лекция: Математическое и компьютерное моделирование

Рассматриваются основные понятия математического и компьютерного моделирования, вычислительный эксперимент, операции моделирования.

Цель лекции: введение в математические и компьютерные системные основы информационных систем и информационного менеджмента.

Математическая модель описывается (представляется) математическими структурами, математическим аппаратом (числа, буквы, геометрические образы, отношения, алгебраические структуры и т.д.).

У математических моделей есть и дидактические аспекты - развитие модельного и математического стиля мышления, позволяющего вникать в структуру и внутреннюю логику моделируемой системы.

Отметим основные операции (процедуры) математического моделирования.

1. Линеаризация. Пусть дана математическая модель $M=M(X, Y, A)$, где X - множество входов, Y - множество выходов, A - множество состояний системы. Схематически можно это изобразить так: $X \rightarrow A \rightarrow Y$. Если X, Y, A - линейные пространства (множества), а $\Phi: X \rightarrow A$, $\Psi: A \rightarrow Y$ - линейные операторы (т.е. любые линейные комбинации $ax+by$ аргументов Φ и Ψ преобразуют в соответствующие линейные комбинации $a\Phi(x)+b\Phi(y)$ и $a\Psi(x)+b\Psi(y)$), то система (модель) называется линейной. Все другие системы (модели) - нелинейные. Они труднее поддаются исследованию, хотя и более актуальны. Нелинейные модели менее изучены, поэтому их часто линеаризуют - сводят к линейным моделям каким-то образом, какой-то корректной линеаризующей процедурой.

Пример. Применим операцию линеаризации к модели (какой физической системы, явления?) $y=at^2/2$, $0 \leq t \leq 4$, которая является нелинейной (квадратичной). Для этого заменим один из множителей t на его среднее значение для рассматриваемого промежутка, т.е. на $t=2$. Такая (пусть простят меня знакомые с линеаризацией читатели, - хоть и очень наглядная, но очень грубая!) процедура линеаризации дает уже линейную модель вида $y=2at$. Более точную линеаризацию можно провести следующим образом: заменим множитель t не на среднее, а на значение в некоторой точке (это точка - неизвестная!); тогда, как следует из теоремы о среднем из курса высшей математики, такая замена будет достаточно точна, но при этом необходимо оценить значение неизвестной точки. На практике используются достаточно точные и тонкие процедуры линеаризации.

2. Идентификация. Пусть $M=M(X, Y, A)$, $A=\{a_i\}$, $a_i=(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ik})$ - вектор состояния объекта (системы). Если вектор a_i зависит от некоторых неизвестных параметров, то задача идентификации (модели, параметров модели) состоит в определении по некоторым дополнительным условиям, например, экспериментальным данным, характеризующим состояние, системы в некоторых случаях. Идентификация - задача построения по результатам наблюдений математических моделей некоторого типа, адекватно описывающих поведение системы. Если $S=\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ - некоторая последовательность сообщений, получаемых от источника информации о системе, $M=\{m_1, m_2, \dots, m_z\}$ - последовательность моделей, описывающих S , среди которых, возможно, содержится оптимальная (в каком-то смысле) модель, то идентификация модели M означает, что последовательность S позволяет различать (по рассматриваемому критерию адекватности) две разные модели в M . Последовательность сообщений (данных) S назовем информативной, если она позволяет различать разные модели в M . Цель идентификации - построение надежной, адекватной, эффективно функционирующей гибкой модели на основе минимального объема информативной последовательности сообщений. Наиболее часто используемые методы идентификации систем (параметров систем): метод наименьших квадратов, метод максимального правдоподобия, метод байесовских оценок, метод марковских цепных оценок, метод эвристик, экспертное оценивание и другие.

Пример. Применим операцию идентификации параметра a в модели предыдущего примера. Для этого необходимо задать дополнительно значение y для некоторого t , например, $y=6$ при $t=3$. Тогда из модели получаем: $6=9a/2$, $a=12/9=4/3$. Идентифицированный параметр a определяет следующую модель $y=2t^2/3$. Методы идентификации моделей могут быть несоизмеримо сложнее, чем приведенный прием.

3. Оценка адекватности (точности) модели.

Пример. Оценим адекватность (точность) модели $y=at^2/2$, $0 \leq t \leq 4$, полученной в результате линеаризации выше. В качестве меры (критерия) адекватности рассмотрим привычную меру - абсолютное значение разности между точным (если оно известно) значением и значением, полученным по модели (почему берется по модулю?). Отклонение точной модели от линеаризованной будет в рамках этого критерия равно $|at^2/2-2at|$, $0 \leq t \leq 4$. Если $a>0$, то, как несложно оценить с помощью производной, эта погрешность будет экстремальна при $t=2a$. Например, если $a=1$, то эта величина не превосходит 2. Это достаточно большое отклонение, и можно заключить, что наша линеаризованная модель в данном случае не является адекватной (как исходной системе, так и нелинеаризованной модели).

4. Оценка чувствительности модели (чувствительности к изменениям входных параметров).

Пример. Из предыдущего примера следует, что чувствительность модели $y=at^2/2$, $0 \leq t \leq 4$ такова, что изменение входного параметра t на 1% приводит к изменению выходного параметра y на более, чем 2%, т.е. эта модель является чувствительной.

5. Вычислительный эксперимент по модели. Это эксперимент, осуществляемый с помощью модели на ЭВМ с целью определения, прогноза тех или иных состояний системы, реакции на те или иные входные сигналы. Прибором эксперимента здесь является компьютер (и модель!). Это процедура часто отождествляется с компьютерным моделированием.

Отметим основные причины, несколько тормозящие выход математического моделирования на новые информационные технологии:

- традиционное описание модели системами математических уравнений, соотношений; в то же время, большинство плохо структурированных и плохо формализуемых систем описываются с помощью экспертных данных, эвристических и имитационных процедур, интегрированных пакетов программ, графических образов и т.д.;
- существующие средства описания и представление моделей на ЭВМ не учитывают специфику моделирования, нет единого представления моделей, генерации новых моделей по банку моделей;
- недооценка возможностей компьютера, который может делать больше, чем простая реализация алгоритма, как правило, структурируемого и/или реализуемого хорошо, отсутствие доступа к опыту моделирования на ЭВМ.

В базовой пятерке: "система (исследуемая среда) - модель (описание среды) - алгоритм (программа) - компьютер (компьютерная технология) - пользователь (выработка решения)" при компьютерном моделировании главную роль играют уже алгоритм (программа), компьютер и технология, точнее, инструментальные системы для компьютера, компьютерные технологии.

Пример. При имитационном моделировании (при отсутствии строгого и формально записанного алгоритма) главную роль играют технология и средства моделирования; аналогичная ситуация наблюдается в когнитивной графике.

Модель не эквивалентна программе, а моделирование не сводится к программированию.

Специфические операции математического моделирования, например, идентификация, линеаризация не сводятся в ЭВМ к преобразованию в ней программ. Расширяется и область применения компьютера и компьютерных моделей.

Основные функции компьютера при моделировании систем:

- исполнение роли вспомогательного средства для решения задач, доступных и для обычных вычислительных средств, алгоритмам, технологиям;
- исполнение роли средства постановки и решения новых задач, не решаемых традиционными средствами, алгоритмами, технологиями;
- исполнение роли средства конструирования компьютерных обучающих и моделирующих сред типа: "обучаемый - компьютер - обучающий", "обучающий - компьютер - обучаемый", "обучающий - компьютер - группа обучаемых", "группа обучаемых - компьютер - обучающий", "компьютер - обучаемый - компьютер";
- исполнение роли средства моделирования для получения новых знаний;

- исполнение роли "обучения" новых моделей (самообучение модели).

Компьютерное моделирование - основа представления знаний в ЭВМ (построения различных баз знаний). Компьютерное моделирование для рождения новой информации использует любую информацию, которую можно актуализировать с помощью ЭВМ. Прогресс моделирования связан с разработкой систем компьютерного моделирования, которые поддерживает весь жизненный цикл модели, а прогресс в информационной технологии - с актуализацией опыта моделирования на компьютере, с созданием банков моделей, методов и программных систем, позволяющих собирать новые модели из моделей банка. Автономные подмодели модели обмениваются информацией друг с другом через единую информационную шину - банк моделей, через базу знаний по компьютерному моделированию. Особенность компьютерных систем моделирования - их высокая интеграция и интерактивность. Часто эти компьютерные среды функционируют в режиме реального времени.

Вычислительный эксперимент - разновидность компьютерного моделирования.

Можно говорить сейчас и о специальных пакетах прикладных программ, текстовых, графических и табличных процессоров, визуальных и когнитивных средах (особенно, работающих в режиме реального времени), позволяющих осуществлять компьютерное моделирование.

Компьютерное моделирование и вычислительный эксперимент становятся новым инструментом, методом научного познания, новой технологией из-за возрастающей необходимости перехода от исследования линейных математических моделей систем (для которых достаточно хорошо известны или разработаны методы исследования, теория) к исследованию сложных и нелинейных математических моделей систем (анализ которых гораздо сложнее); грубо, но образно, говоря: "наши знания об окружающем мире - линейны и детерминированы, а процессы в окружающем мире - нелинейны и стохастичны".

Информация (абстракция), реализуясь сообщениями реального мира, овеществляется в разных предметных процессах, а реализация на компьютере вызывает необходимость использования в компьютерах специальных формализованных описаний, представлений этих процессов.

Компьютерное моделирование, от постановки задачи до получения результатов, проходит следующие этапы компьютерного моделирования.

1. Постановка задачи.
 1. Формулировка задачи.
 2. Определение цели и приоритетов моделирования.
 3. Сбор информации о системе, объекте моделирования.
 4. Описание данных (их структуры, диапазона, источника и т.д.).
2. Предмодельный анализ.
 1. Анализ существующих аналогов и подсистем.
 2. Анализ технических средств моделирования (ЭВМ, периферия).
 3. Анализ программного обеспечения (языки программирования, пакеты прикладных программ, инструментальные среды).
 4. Анализ математического обеспечения (модели, методы, алгоритмы).
3. Анализ задачи (модели).
 1. Разработка структур данных.

2. Разработка входных и выходных спецификаций, форм представления данных.
3. Проектирование структуры и состава модели (подмоделей).
4. Исследование модели.
 1. Выбор методов исследования подмоделей.
 2. Выбор, адаптация или разработка алгоритмов, их псевдокодов.
 3. Сборка модели в целом из подмоделей.
 4. Идентификация модели, если в этом есть необходимость.
 5. Формулировка используемых критериев адекватности, устойчивости и чувствительности модели.
5. Программирование (проектирование программы).
 1. Выбор метода тестирования и тестов (контрольных примеров).
 2. Кодирование на языке программирования (написание команд).
 3. Комментирование программы.
6. Тестирование и отладка.
 1. Синтаксическая отладка.
 2. Семантическая отладка (отладка логической структуры).
 3. Тестовые расчеты, анализ результатов тестирования.
 4. Оптимизация программы.
7. Оценка моделирования.
 1. Оценка средств моделирования.
 2. Оценка адекватности моделирования.
 3. Оценка чувствительности модели.
 4. Оценка устойчивости модели.
8. Документирование.
 1. Описание задачи, целей.
 2. Описание модели, метода, алгоритма.
 3. Описание среды реализации.
 4. Описание возможностей и ограничений.
 5. Описание входных и выходных форматов, спецификаций.
 6. Описание тестирования.
 7. Создание инструкций для пользователя.
9. Сопровождение.
 1. Анализ применения, периодичности использования, количества пользователей, типа использования (диалоговый, автономный и др.), анализ отказов во время использования модели.
 2. Обслуживание модели, алгоритма, программы и их эксплуатация.
 3. Расширение возможностей: включение новых функций или изменение режимов моделирования, в том числе и под модифицированную среду.
 4. Нахождение, исправление скрытых ошибок в программе, если таковые найдутся.
10. Использование модели.

Пример. Математическое и компьютерное моделирование подробно, поэтапно, мы рассмотрим на примере следующей простой модели производства. Итак, возьмем укрупненные этапы моделирования производства.

Этап 1. Содержательная постановка задачи

Современное производство характерно тем, что часть производимой продукции (в стоимостном выражении) возвращается в виде инвестиций (т.е. части конечной продукции, используемой для создания основных фондов производства) в производство.

При этом время возврата, ввода в оборот новых фондов может быть различным для различного рода производства. Необходимо промоделировать эту ситуацию и выявить динамику изменения величины основных фондов производства (капитала).

Сложность и многообразие, слабая структурированность и плохая формализуемость основных экономических механизмов, определяющих работу предприятий, не позволяют преобразовать процедуры принятия решений в экономической системе в полностью эффективные математические модели и алгоритмы прогнозирования. Поэтому целесообразно использование простых, но гибких и надежных процедур принятия решения.

Рассмотрим одну такую простую модель социально-экономического процесса.

Этап 2. Формулировка гипотез, построение, исследование модели

Динамика изменения величины капитала определяется в нашей модели, в основном, простыми процессами производства и описывается так называемыми обобщенными коэффициентами амортизации (расхода фондов) и потока инвестиций (часть конечного продукта, используемого в единицу времени для создания основных фондов). Эти коэффициенты - относительные величины (оцениваются за единицу времени). Необходимо разработать и исследовать модель динамики основных фондов. Считаем при этом допустимость определенных гипотез, определяющих систему производства.

Пусть $x(t)$ - величина основных фондов (капитала) в момент времени t , где $0 \leq t \leq N$. Через промежуток времени Δt она будет равна $x(t+\Delta t)$. Абсолютный прирост равен $\Delta x = x(t+\Delta t) - x(t)$. Относительный прирост будет равен $\delta x = [x(t+\Delta t) - x(t)] / \Delta t$.

Примем следующие гипотезы:

1. социально-экономические условия производства достаточно хорошие и способствуют росту производства, а поток инвестиций задается в виде известной функции $y(t)$;
2. коэффициент амортизации фондов считается неизменным и равным m , и при достаточно малом значении Δt , изменение основных фондов прямо пропорционально текущей величине капитала, т.е. $dx = y(t) - mx(t)$.

Считая $\Delta t \rightarrow 0$, а также учитывая определение производной, получим из предыдущего соотношения следующее математическое выражение закона изменения величины капитала - математическую модель (дифференциальное уравнение) динамики капитала:

$$x'(t) = y(t) - mx(t), \quad x(0) = x_0,$$

где $x(0)$ - начальное значение капитала в момент времени $t=0$.

Эта простейшая модель не отражает важного факта: социально-экономические ресурсы производства таковы, что между выделением инвестиций и их введением и использованием в выпуске новой продукции проходит время (лаг). Учитывая это, можно записать модель в виде

$$x'(t) = y(t-T) - mx(t), \quad x(0) = x_0$$

Этой непрерывной, дифференциальной, динамической модели можно поставить в соответствие простую дискретную модель:

$$x_{i+1} = x_i + y_j - mx_i, \quad x_0 = c, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n, \quad 0 < j < n,$$

где n - предельное значение момента времени при моделировании.

Дискретная модель следует из непрерывной при $\Delta t = 1$, при замене производной $x'(t)$ на относительное приращение (из определения производной, это справедливо при малых значениях Δt).

Этап 3. Построение алгоритма и программы моделирования

Возьмем для простоты режим моделирования, когда m, c - известны и постоянны, y - увеличивается на каждый следующий момент времени на 1%, а также рассмотрим наиболее простой алгоритм моделирования в укрупненных шагах.

1. Ввод входных данных для моделирования: $c = x(0)$ - начальный капитал; n - конечное время моделирования; m - коэффициент амортизации; s - единица измерения времени; y - инвестиции.
2. Вычисление x_i от $i=1$ до $i=n$ по рекуррентной формуле, приведенной выше.
3. Поиск стационарного состояния - такого момента времени j , $0 \leq j \leq n$, начиная с которого все x_j, x_{j+1}, \dots, x_n постоянны или изменяются на малую допустимую величину $\varepsilon > 0$.
4. Выдача результатов моделирования и, по желанию пользователя, графика.

Алгоритм, записанный на учебном алгоритмическом языке, имеет вид

```

алг Производство (арг вещ  $m, c, n$ , рез вещ таб  $x[1:366]$ , лит  $p, q$ );
дано | производство с основными фондами, изменяющимися по закону:
      |  $x[i+1] = x[i] + y - mx[i]$ ,  $x[0] = c$ ,  $i = 0, 1, 2, \dots, n$ ,  $0 < j < n$ ,
      |  $t = i * h$ ,  $h = 1$  - шаг по времени (день),
      |  $i$  - текущий момент времени,
      |  $m$  - коэффициент амортизации,
      |  $x[0] = c$  - заданная начальная величина капитала,
      |  $y$  - увеличиваемая на 1% каждый раз величина инвестиций
надо | промоделировать динамику основных фондов, т.е. выяснить:
      | 1) чему они равны на момент времени  $n$ ;
      | 2) наступает ли гибель предприятия, т.е. обращается ли капитал
      |    (основные фонды) в нуль при некотором  $t$ , и найти это  $t$ ;
      | 3) наступает ли ситуация, когда капитал стабилизируется
нач | начало тела алгоритма
      | описание типов переменных
цел  $i$ , |  $i$  - переменная цикла прогноза (текущее время)
       $j$ , |  $j$  - задаваемая величина лага
       $k$ , |  $k$  - момент гибели предприятия (если есть)
       $y$  |  $y$  - величина инвестиций, увеличиваемая по закону
 $y := 1.01 * y$ 
ввод ( $m, n, c, y$ ) | ввод исходных данных
 $p :=$  'предприятие не гибнет' | задаем начальное значение  $s$ 
 $q :=$  'капитал не стационарен' | задаем начальное значение  $q$ 
 $x[0] := c$  | начальное значение капитала (не нулевое)
 $i := 0$  | задаем начальный момент времени моделирования
нц пока ( $i \leq n$ ) и ( $x[i] > 0$ ) | заголовок цикла прогноза капитала
      | тело цикла прогноза капитала
       $x[i+1] = x[i] + y - mx[i]$  | вычисление прибыли в следующий момент
       $y := 1.01 * y$  | и увеличиваем на 1% - для следующего момента

```

```

        если x[i+1]<=0      | проверка гибели
            то      | если гибнет, - выполняется блок погибшего
предприятия
                p:="предприятие гибнет" | заменяем значение s
                k:=i-1 | и фиксируем время гибели
                нц для j от k до n | цикла вычисления всех
                    x[j]=0 | остальных, нулевых значений
прибыли
        кц      | конец блок обработки погибшего предприятия
        если x[i+1]=x[i] | проверка стационарности прибыли
            то q:="капитал стационарен" | заменяем старое
значение q
        кц
кон.

```

Приведем программу на Паскале для имитационного моделирования (программа реализована для функции типа $y=at+b$, где a, b - коэффициенты потока инвестиций; структурированность и интерфейс программы "принесены в жертву" компактности, простоте и понятности программы).

```

PROGRAM MODFOND;
{Исходные данные находятся в файле in.dat текущего каталога}
{Результаты записываются в файл out.dat текущего каталога}
Uses
    Crt, Graph, Textwin;
Type
    Vector = Array[0..2000] of Real;
    Mas     = Array[0..2000] of LongInt;
Var
    Time, Lag, t, dv, mv, i, yi, p           :Integer;
    tmax, tmin                               :LongInt;
    a, b, m, X0, maxx, minx, aa, bb, cc, sx, tk :Real;
    x                                           :Vector;
    ax, ay                                     :Mas;
    ch                                          :Char;
    f1, f2                                     :Text;
{-----}
-----}
Procedure InputKeyboard; { Ввод с клавиатуры }
Begin
    OpenWindow(10,5,70,20,' Ввод данных ',14,4);
    ClrScr; WriteLn;
    WriteLn('Введите время T прогнозирования системы:');
    Repeat
        WriteLn('Для удобства построения графика введите T не меньше 2');
        Write('T='); ReadLn(Time);
    until Time>=2;
    WriteLn('Введите лаг:');
    Repeat
        Write('Лаг должен быть строго меньше T - '); ReadLn(Lag);
    until Lag<Time;
    WriteLn('Введите коэффициенты для вычисления потока инвестиций');
    Write('Введите a>0: a= '); ReadLn(a);
    Write('Введите b>0: b= '); ReadLn(b);
    Repeat
        Write('Введите коэффициент амортизации ( 0<M<1 ) - '); ReadLn(m);
    until (m<1) and (m>0);
    Write('Введите значение фондов в начальный момент - '); ReadLn(X0);
    CloseWindow;
end;
{-----}
-----}

```



```

Procedure InputFile; { Ввод из файла }
Begin
    Assign(f1,'in.dat'); Reset(f1); Readln(f1,time,lag,a,b,m,X0);
Close(f1);
End;
{-----}
-----}
Procedure OutputFile; { Запись результата работы в файл }
Begin
    Assign(f2,'out.dat'); Rewrite(f2);
    WriteLn(f2,' Результаты моделирования:');
    WriteLn(f2,'Значение фондов в заданное время T = ',x[time]:4:2);
    WriteLn(f2,'Максимальное значение фондов = ',maxx:4:2);
    Write(f2,'Минимальное значение фондов = ',minx:4:2);
    Close(f2);
End;
{-----}
-----}
Procedure InputRnd; { Ввод случайными числами }
Begin
    Randomize;
    Repeat Time:=Random(90); until Time>=2;
    Repeat Lag:=Random(80); until Lag<Time;
    a:=Random(10); b:=Random(10); m:=Random; X0:=Random(200);
End;
{-----}
-----}
Procedure OutputScreen; { Вывод данных на экран }
Begin
    OpenWindow(10,5,70,20,' Вывод данных: ',4,3); WriteLn;
    WriteLn(' Данный набор входных параметров:'); WriteLn;
    WriteLn(' Время T - ',time);
    WriteLn(' Лаг - ',lag); WriteLn;
    WriteLn('Коэффициенты потока инвестиций:'); WriteLn;
    WriteLn(' a - ',a:4:2);
    WriteLn(' b - ',b:4:2); WriteLn;
    WriteLn('Эмпирический коэффициент амортизации - ',m:4:3);
    Write('Состояние фондов в начальный момент - ',X0:4:2);
    ReadKey; CloseWindow;
End;
{-----}
-----}
Procedure Worker; { Рабочая процедура }
Var
    yt :real;
Begin
    x[0]:=X0;
    For t:=1 to Time do
        Begin
            If t<Lag+1 then yt:=0 else yt:=a*(t-1-Lag)+b;
x[t]:=yt+(1-m)*x[t-1];
            End;
        maxx:=x[0]; minx:=x[0]; tmin:=0; tmax:=0;
        For t:=1 to Time do
            If x[t]>maxx
                then begin maxx:=x[t]; tmax:=t; end
            else if x[t]<minx then begin minx:=x[t]; tmin:=t; end;
        OpenWindow(10,5,70,13,' Результат работы модели: ',14,7);
        ClrScr; WriteLn;
        WriteLn('Значение фондов в заданное время T = ',x[time]:4:2);
        If tmin<>0 then
            WriteLn(' Величина фондов возрастает с ',tmin,' до ',tmax);
            WriteLn(' Максимальное значение фондов = ',maxx:4:2);

```

```

        Write(' Минимальное значение фондов = ',minx:4:2);
        ReadKey; CloseWindow;
End;
{-----}
{-----}
Procedure Mas_OX; { Масштабирование по оси OX }
Var
    st          :String;
Begin
    p:=1; While Time>p*24 do inc(p);
    For i:=1 to 24 do Begin Str(p*i,st); OutTextXY(65+20*i,420,st) End;
    For t:=0 to Time do ax[t]:=70+round(20*t/p);
End;
{-----}
{-----}
Procedure Mas_OY; { Масштабирование по оси OY }
Var
    st          :String;
    k, r        :Integer;
Begin
    If maxx>16
    then Begin
        k:=1; While maxx>k*16 do inc(k);
        For i:=1 to 16 do Begin Str(k*i,st);OutTextXY(35,407-
20*i,st);End;
            tk:=k;
        End
    else Begin
        r:=1; While (maxx<=16/r) and (r<16) do inc(r);
dec(r);
        For i:=1 to (trunc(16/r-0.1)+1) do
            Begin
                Str(i,st);
OutTextXY(35,407-0*r*i,st)
            End;
            tk:=1/r;
        End;
        For t:=0 to Time do ay[t]:=410-round(20*x[t]/tk);
End;
{-----}
{-----}
Procedure Ipol(x1,y1,x2,y2,x3,y3:Real); {Процедура интерполяции}
Var d1, da, db, dc          :Real;
Begin
    d1:=x1*x1*(x2-x3)+x2*x2*(x3-x1)+x3*x3*(x1-x2);
    da:=y1*(x2-x3)+y2*(x3-x1)+y3*(x1-x2);
    db:=x1*x1*(y2-y3)+x2*x2*(y3-y1)+x3*x3*(y1-y2);
    dc:=x1*x1*(x2*y3-y2*x3)+x2*x2*(x3*y1-y3*x1)+x3*x3*(x1*y2-y1*x2);
    aa:=da/d1;   bb:=db/d1;   cc:=dc/d1;
End;
{-----}
{-----}
Procedure Graf; { Построение графика }
Begin
    dv:=detect; InitGraph(dv,mv,''); SetBkColor(7); SetColor(6);
    Rectangle(30,40,600,450);
    Line(600,60,620,60); Line(620,60,620,470);
    Line(50,450,50,470); Line(50,470,620,470);
    SetFillStyle(1,1); FloodFill(610,450,6);
    SetFillStyle(1,15); FloodFill(100,100,6);
    SetColor(5); Circle(70,410,2);
    Line(70,410,70,50); Line(70,410,590,410); { оси OX и OY }

```

```

OutTextXY(587,407,'>'); OutTextXY(67,47,'^'); OutTextXY(57,415,'0');
OutTextXY(80,45,'X(T) - (Величина основных фондов производства)');
OutTextXY(590,415,'T'); OutTextXY(540,430,'(Время)'); SetColor(2);
For i:=1 to 16 do Line(67,70+20*i,70,70+20*i);
For i:=1 to 24 do Line(70+20*i,410,70+20*i,413);
Mas_OX; Mas_OY;
For t:=0 to time do Begin
    SetColor(Blue); Circle(ax[t],ay[t],2);
    SetFillStyle(SolidFill,Red);
FloodFill(ax[t],ay[t],Blue);
    End;
    SetColor(Red); SetLineStyle(3,1,1);
    Line(70,ay[time],ax[time],ay[time]);
Line(ax[time],ay[time],ax[time],410);
    Ipol(0,x[0],1,x[1],2,x[2]);
    For i:=ax[0] to ax[2] do Begin
        sx:=p*(i-70)/20;
        yi:=410-round(20*(aa*sx*sx+bb*sx+cc)/tk);
        SetColor(Red); Circle(i,yi,1);
    End;
For t:=1 to Time-2 do Begin
    Ipol(t,x[t],t+1,x[t+1],t+2,x[t+2]);
    For i:=ax[t+1] to ax[t+2] do
        Begin
            sx:=p*(i-70)/20;
            yi:=410-
round(20*(aa*sx*sx+bb*sx+cc)/tk);
            SetColor(Red); Circle(i,yi,1);
        End;
    End;
    ReadKey; CloseGraph;
End;
{-----}
-----}
Begin
While true do
    Begin
        ClrScr; TextBackGround(2); Window(1,1,80,25); ClrScr;
        OpenWindow(30,22,50,24,' Нажмите клавишу: ',4,1);
        OpenWindow(5,5,75,16,' Динамика фондов производства ',14,5);
        ClrScr; WriteLn;
        WriteLn(' Пусть x(t) - основные фонды в момент времени t,
y(t) -');
        WriteLn(' инвестиции, m - коэффициент амортизации
фондов. ');
        WriteLn(' Модель динамики основных фондов (L - лаг): ');
        Write(' x` (t) = y(t-L) - mx(t), где x(0) = Xo,
y(t)=at+b, ( a,b>0 ). ');
        ReadKey; CloseWindow;
        OpenWindow(15,10,65,17,' Выберите вариант входа-выхода:
',15,0);

        ClrScr; WriteLn;
        WriteLn(' С клавиатуры - <1>');
        WriteLn(' Из файла - <2>');
        WriteLn(' Случайными числами - <3>');
        WriteLn(' Выход - <Esc>');
        ch:=ReadKey;
        Case ch of
            #49: InputKeyboard;
            #50: Begin InputFile; OutputScreen; End;
            #51: Begin InputRnd; OutputScreen; End;
            #27: Halt(1);
        End;
    End;
End;

```

```

CloseWindow; Worker; OutputFile;
OpenWindow(22,10,58,14,'',15,5);
ClrScr; WriteLn;
Write('Для просмотра графика нажмите ввод'); ch:=ReadKey;
If ch=#13 then begin Graf; RestoreCrtMode; end;
CloseWindow; TextBackGround(15); Window(1,1,80,25);
ClrScr; OpenWindow(15,10,65,16,'',15,6); ClrScr; WriteLn;
WriteLn('          Хотите еще моделировать ?'); WriteLn;
WriteLn('Для выхода нажмите          -          < Esc >');
WriteLn('Для продолжения нажмите любую другую клавишу');
ch:=ReadKey;
If ch=#27 then Halt(1);
CloseWindow;

End;
ClrScr; TextBackGround(0);
End.

```

Этап 4. Проведение вычислительных экспериментов

Эксперимент 1. Поток инвестиций - постоянный и в каждый момент времени равен 10000. В начальный момент капитал - 1000000 руб. Коэффициент амортизации - 0,0025. Найти величину основных фондов через 20 суток, если лаг равен 5 суток.

Эксперимент 2. Основные фонды в момент времени $t=0$ была равны 5000. Через какое время общая их сумма превысит 120000 руб., если поток инвестиций постоянный и равен 200, а $m=0,02$, $T=3$?

Эксперимент 3. Какую стратегию инвестиций лучше использовать, если величина инвестиций постоянная, в начальный момент капитал равен 100000, величина амортизации постоянная?

Этап 5. Модификация (развитие) модели

Модификация 1. Коэффициент амортизации можно взять в форме $m=r-sx(t)$, где r - коэффициент обновления фондов, s - коэффициент устаревания фондов, причем $0 \leq r, s \leq 1$. При этом модель примет вид

$$x'(t) = y(t-T) - rx(t) + sx^2(t), \quad x(0) = x_0$$

Этой непрерывной, дифференциальной, динамической модели можно поставить в соответствие простую дискретную модель:

$$x_{i+1} = x_i + y_j - rx_i + sx_i^2, \\ x_0 = c, \quad i=0, 1, 2, \dots, n, \quad 0 < j < n,$$

где n - предельное значение момента времени при моделировании. Поставить цели и исследовать непрерывную и дискретную модели.

Модификация 2. Одна из моделей математической экономики задается уравнением: $dz/dt = ((1-c)*z(t) + k(t-w) + a)l$, где $z(t)$ - функция, которая характеризует выпуск продукции, k - коэффициент капиталовложений, a - независимые расходы производства, l - скорость реакции выпуска на капиталовложения, c - постоянная спроса, w - запаздывание (лаг). Поставить цели и исследовать непрерывную и дискретную модели.

Модификация 3. Для модели динамики фондов с переменным законом потока инвестиций:
а) построить гипотезы, модель и алгоритм для моделирования; б) сформулировать планы вычислительных экспериментов по этой модели; в) реализовать алгоритм и планы экспериментов на ЭВМ.

Математическое моделирование только в последнее время становится на технологическую основу, в связи с этим необходимо отметить особую роль обычно технологичного имитационного моделирования, которое позволяет нам проигрывать реальные ситуации, происходящие в системах, на их моделях. Компьютерное моделирование (получение, накопление, переработка, хранение, использование, актуализация знаний с помощью ЭВМ), в отличие от математического, используется сравнительно недавно, хотя эти технологии моделирования тесно связаны. Компьютерное моделирование, как правило, применяется тогда, когда не удастся построить математической аналитической модели или же такая модель трудоемка для исследования.

Пример. Компьютерной (физической) моделью может служить простая модель броуновского движения, получаемая генерацией компьютером нового случайного положения точки на экране и траектории ее движения; при этом отметим, что сам "датчик случайных чисел компьютера (или языка)" - это компьютерная модель, соответствующая математической модели распределения случайной величины (обычно нормального распределения) или так называемой функции распределения. Это распределение - псевдослучайное, получаемое по вполне детерминированному алгоритму.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое математическая модель?
2. Что такое линеаризация, идентификация, оценка адекватности и чувствительности модели?
3. Что такое вычислительный или компьютерный эксперимент? В чем особенности компьютерного моделирования по сравнению с математическим моделированием?

Задачи и упражнения

По приведенным ниже моделям: выписать соответствующую дискретную модель (если приведена непрерывная модель) или непрерывную модель (если приведена дискретная модель); исследовать модель в соответствии с поставленной целью (получить решение, проверить его единственность, устойчивость, наличие стационарного решения); составить алгоритм моделирования; модифицировать модель или разработать на ее основе новую; сформулировать несколько реальных систем, описываемых моделью; линеаризовать и идентифицировать модель (предложить подходы); сформулировать несколько возможных сфер применения моделей и результатов, полученных при ее исследовании; определить тип, входное и выходное множество модели.

1. Концентрация вещества, поступающего в реку со стоком, изменяется в результате действия рассеивания, адвекции, реакции. Концентрация x_i вещества в реке зависит только от расстояния i , $i=0,1,\dots,n$ по течению реки и определяется по формуле: $ab(x_{i+1}-2x_i+x_{i-1})-c(x_i-x_{i-1})-dax_i=0$, где a - площадь поперечного сечения реки, b - коэффициент рассеивания по течению реки, c - полный объемный расход реки, d - скорость разложения органического вещества. Эти величины a , b , c , d считаются пока постоянными. Общий поток вещества определяется: $N=cx_i-ab(x_{i+1}-x_i)$. Цель моделирования - прогноз загрязнения реки (для каждого i).

2. Пусть $x(t)$ - величина ресурса (вещественного, энергетического или информационного), $a(x)$ - скорость его возобновления, $y(t)$ - величина потребителя (плотность), $b=b(x,y)$ - скорость потребления ресурса потребителем, причем эксперименты показывают, что часто $b=b(x)$. При этих условиях модель баланса ресурса имеет вид: $x'(t)=a-by(t)$, $x(0)=m$, $y'(t)=cby(t)-dy(t)$, $y(0)=n$, где c - к.п.д. переработки ресурса для нужд потребителя (например, в биомассу потребителя), d - коэффициент естественной убыли потребителя. Функция $b=b(x)$, обладающая свойствами: а) $b(x)$ - монотонна, т.е. растет или убывает, $b'(x)>0$ или $b'(x)<0$; б) $b(0)=0$ (в начальный момент трофическая функция равна нулю); в) $b(x)$ - ограничена (т.е. скорость потребления ресурса ограничена) называется трофической функцией потребителя. Если $a=0$ - ресурс не возобновляем, иначе - возобновляем с постоянной скоростью a . Рассмотреть социально-экономическую интерпретацию одной модели. Цель моделирования: а) прогноз потребления; б) прогноз переработки; в) идентификация к.п.д. при различных аналогах трофической функции.
3. Пусть рынок некоторых товаров определен в виде клеточного поля. Некоторые клетки поля вначале считаются занятыми (продавцами). Ближайшие к занятым клеткам свободные (граничащие) клетки образуют периметр кластера продавцов (кластер может состоять также только из одного продавца). Ячейки периметра с вероятностью (с частотой) p занимаются новыми продавцами до тех пор, пока кластер не достигнет границ поля (экономической ниши товара) или не пройдет некоторое заданное время моделирования (время снижения потребительского интереса к товарам). Цель моделирования: а) построение клеточно-автоматной, фрактальной картины рынка через некоторое время; б) построение новых законов занятия ниши продавцами товаров и моделирование.

Темы научных исследований и рефератов, интернет-листов

1. Математическое моделирование: история, личности, будущее.
2. Компьютерное моделирование и его особенности.
3. Роль математического моделирования в современном мире.

12. Лекция: Эволюционное моделирование и генетические алгоритмы

Рассматриваются основные понятия и принципы эволюционного моделирования систем, а также генетических алгоритмов - адекватного аппарата его проведения.

Цель лекции: ввести в суть проблемы, сформулировать основные положения и принципы, цели эволюционного моделирования и дать общее понятие о генетических алгоритмах и их возможностях в эволюционном моделировании.

Потребность в прогнозе и адекватной оценке последствий осуществляемых человеком мероприятий (особенно негативных) приводит к необходимости моделирования динамики изменения основных параметров системы, динамики взаимодействия открытой системы с его окружением (ресурсы, потенциал, условия, технологии и т.д.), с которым осуществляется обмен ресурсами в условиях враждебных, конкурентных, кооперативных или же безразличных взаимоотношений. Здесь необходимы системный подход, эффективные методы и критерии оценки адекватности моделей, которые направлены не только (не столько) на максимизацию критериев типа "прибыль", "рентабельность", но и на оптимизацию отношений с окружающей средой. Если критерии первого типа важны, например, для кратко- и среднесрочного прогнозирования и тактического администрирования, то второго типа - для средне- и долгосрочного прогноза, для стратегического администрирования. При этом необходимо выделить и изучить достаточно полную и информативную систему параметров исследуемой системы и его окружения, разработать методику введения мер информативности и близости состояний системы. Важно отметить, что при этом некоторые критерии и меры могут часто конфликтовать друг с другом.

Многие такие социально-экономические системы можно описывать с единых позиций, средствами и методами единой теории - эволюционной.

При эволюционном моделировании процесс моделирования сложной социально-экономической системы сводится к созданию модели его эволюции или к поиску допустимых состояний системы, к процедуре (алгоритму) отслеживания множества допустимых состояний (траекторий). При этом актуализируются такие атрибуты биологической эволюционной динамики (в скобках даны возможные социально-экономические интерпретации этих атрибутов для эволюционного моделирования) как, например:

1. сообщество (корпорация, корпоративные объекты, субъекты, окружение);
2. видовое разнообразие и распределение в экологической нише (типы распределения ресурсов, структура связей в данной корпорации);
3. экологическая ниша (сфера влияния и функционирования, эволюции на рынке, в бизнесе);
4. рождаемость и смертность (производство и разрушение);
5. изменчивость (экономической обстановки, ресурсов);
6. конкурентные взаимоотношения (рыночные отношения);
7. память (способность к циклам воспроизводства);
8. естественный отбор (штрафные и поощрительные меры);
9. наследственность (производственные циклы и их предыстория);
10. регуляция (инвестиции);

11. самоорганизация и стремление системы в процессе эволюции максимизировать контакт с окружением в целях самоорганизации, возврата на траекторию устойчивого развития и другие.

При исследовании эволюции системы необходима ее декомпозиция на подсистемы с целью обеспечения:

1. эффективного взаимодействия с окружением;
2. оптимального обмена определяющими материальными, энергетическими, информационными, организационными ресурсами с подсистемами;
3. эволюционируемости системы в условиях динамической смены и переупорядочивания целей, структурной активности и сложности системы;
4. управляемости системы, идентификации управляющей подсистемы и эффективных связей с подсистемами системы, обратной связи.

Пусть имеется некоторая система S с N подсистемами. Для каждой i -й подсистемы определим вектор $x^{(i)} = (x_1^{(i)}, x_2^{(i)}, \dots, x_{n_i}^{(i)})$ основных параметров (т.е. параметров, без которых нельзя описать и изучить функционирование подсистемы в соответствии с целями и доступными ресурсами системы) и функцию $s^{(i)} = s(x^{(i)})$, которую назовем функцией активности или просто активностью этой подсистемы.

Пример. В бизнес-процессах это понятие близко к понятию деловой активности.

Для всей системы определены вектор состояния системы x и активность системы $s(x)$, а также понятие общего потенциала системы.

Пример. Потенциал активности может быть определен аналогично биологическому потенциалу популяции, например, с помощью интеграла от активности на задаваемом временном промежутке моделирования.

Эти функции отражают интенсивность процессов как в подсистемах, так и в системе в целом.

Важными для задач моделирования являются три значения $s_{\max}^{(i)}$, $s_{\min}^{(i)}$, $s_{\text{opt}}^{(i)}$ - максимальные, минимальные и оптимальные значения активности i -й подсистемы, а также аналогичные значения для всей системы (s_{\max} , s_{\min} , s_{opt}). В качестве показателя экономического состояния можно брать также отношение значения этого показателя к его нормированному значению, а для комплексного учета влияния параметров на состояние системы можно использовать аналоги меры информационной близости, например, по К. Шеннону.

Если дана открытая экономическая система (процесс), а H_0 , H_1 - энтропия системы в начальном и конечном состояниях процесса, то мера информации определяется как разность вида:

$$\Delta H = H_0 - H_1.$$

Уменьшение ΔH свидетельствует о приближении системы к состоянию статического равновесия (при доступных ресурсах), а увеличение - об удалении. Величина ΔH - количество информации, необходимой для перехода от одного уровня организации системы к другой (при $\Delta H > 0$ - более высокой, при $\Delta H < 0$ - более низкой организации).

Возможен подход и с использованием меры по Н. Моисееву. Пусть дана некоторая управляемая система, о состояниях которой известны лишь некоторые оценки - нижняя s_{\min} и верхняя s_{\max} . Известна целевая функция управления $F(s(t), u(t))$, где $s(t)$ - состояние системы в момент времени t , а $u(t)$ - управление из некоторого множества допустимых управлений, причем считаем, что достижимо u_{opt} - некоторое оптимальное управление из пространства U , $t_0 < t < T$, $s_{\min} \leq s \leq s_{\max}$. Мера успешности принятия решения:

$$H = | (F_{\max} - F_{\min}) / (F_{\max} + F_{\min}) | ,$$

$$F_{\max} = \max F(u_{\text{opt}}, s_{\max}), \quad F_{\min} = \min F(u_{\text{opt}}, s_{\min}), \quad t \in [t_0; T], \quad s \in [s_{\min}; s_{\max}].$$

Увеличение H свидетельствует об успешности управления системой (успешности принятого управляющего решения).

Активности подсистем прямо или опосредованно взаимодействуют с помощью системной активности $s(x)$, например, по простой схеме вида

$$\begin{cases} \frac{ds(t)}{dt} = \sum_{i=1}^n \varphi^{(i)}(s; s^{(i)}, t), \\ \frac{ds^{(i)}(t)}{dt} = \psi^{(i)}(s^{(i)}; s, t) \end{cases}$$

Функции $j(i)$, $y(i)$ должны отражать эволюционируемость системы, в частности, удовлетворять условиям:

1. периодичности, цикличности, например:

$$(\exists 0 < T < \infty, \forall t: \varphi^{(i)}(s; s^{(i)}, t) = \varphi^{(i)}(s; s^{(i)}, t+T), \quad \psi^{(i)}(s; s^{(i)}, t) = \psi^{(i)}(s; s^{(i)}, t+T));$$

2. затухания при снижении активности, например:

$$(s(x) \rightarrow 0 \quad \forall i=1, 2, \dots, n) \Rightarrow (\varphi^{(i)} \rightarrow 0, \psi^{(i)} \rightarrow 0);$$

3. равновесности и стационарности: выбор (определение) функции $\varphi^{(i)}$, $\psi^{(i)}$ осуществляется таким образом, чтобы система имела точки равновесного состояния, а $s^{(i)}_{\text{opt}}$, s_{opt} достигались в стационарных точках $x^{(i)}_{\text{opt}}$, x_{opt} для малых промежутков времени; в больших промежутках времени система может (в соответствии с теорией катастроф) вести себя хаотично, самопроизвольно порождая регулярные, упорядоченные, циклические взаимодействия (детерминированный хаос).

Взаимные активности $\psi^{(ij)}(s; s^{(i)}, s^{(j)}, t)$ подсистем i и j мы не учитываем. В качестве функции $\varphi^{(i)}$, $\psi^{(i)}$ могут быть эффективно использованы производственные функции типа Кобба-Дугласа:

$$\varphi(s) = \prod_{i=1}^n \left(\frac{s(t) - s_{\max}}{s_{\text{opt}} - s_{\min}} \right)^{\alpha_i(t)} \left(\frac{s_{\max} - s(t)}{s_{\max} - s_{\text{opt}}} \right)^{-\alpha_i(t) \frac{s_{\max} - s_{\text{opt}}}{s_{\text{opt}} - s_{\min}}}$$

В таких функциях важен параметр α_i , отражающий степень саморегуляции, адаптации системы. Как правило, его нужно идентифицировать.

Функционирование системы удовлетворяет на каждом временном интервале $(t; t+\tau)$ ограничениям вида

$$\int_t^{t+\tau} s(z) dz \leq K_\tau,$$

$$\int_t^{t+\tau} s^{(i)}(z) dz \leq K_\tau^{(i)},$$

$$\sum_{i=0}^n \int_t^{t+\tau} s^{(i)}(z) dz \leq M_\tau$$

При этом отметим, что выполнение для $\tau > 0$ одного из двух условий

$$\int_t^{t+\tau} s^{(i)}(z) dz > K_\tau^{(i)}$$

$$\sum_{i=0}^n \int_t^{t+\tau} s^{(i)}(z) dz > M_\tau$$

приводит к разрушению (катастрофе) системы.

Пример. Пусть имеется некоторая социально-экономическая среда, которая возобновляет с коэффициентом возобновления $\alpha(\tau, t, x)$ ($0 < t < T$, $0 < x < 1$, $0 < \tau < T$) свои ресурсы. Этот коэффициент зависит, в общем случае, от мощности среды (ее ресурсоемкости, ресурсообеспеченности). Рассмотрим простую гипотезу: $\alpha(\tau, t, x) = \alpha_0 + \alpha_1 x$, и чем больше ресурсов - тем больше темп их возобновления. Можно записать непрерывную эволюционную модель (а - коэффициент естественного прироста ресурсов, b - их убыли):

$$x'(\tau) = -\left[a(\tau) + \int_0^\tau b(\tau, s)x(s)ds\right]x(\tau),$$

$$x(0) = \int_0^l [\alpha_0(\tau) + \alpha_1(\tau)x(\tau)]x(\tau)d\tau.$$

Обозначим $\alpha(\tau) = \alpha_0(\tau) + \alpha_1(\tau)x(\tau) > 0$. Тогда

$$x(0) = \int_0^T \alpha(\tau, x) x(\tau) d\tau.$$

Задача всегда имеет решение $x \equiv 0$. Тогда эволюционный потенциал системы можно определить как величину:

$$\lambda = \int_0^T \alpha(\tau) e^{-\int_0^\tau \alpha(s) ds} d\tau$$

Чем выше темп α - тем выше λ , чем меньше α - тем ниже λ . Каким бы хорошим ни было состояние ресурсов в начальный момент, они неизменно будут истощаться, если потенциал системы меньше 1.

Пример. Пусть u_{\max} - максимальный уровень синтаксических ошибок в программе P, $u(t)$ - их оставшееся количество к моменту времени t . Исходя из простейшей эволюционной модели $du/dt + \lambda u_{\max} = 0$, $u(t_0) = u_0$, можно заключить, что уровень ошибок убывает при $\lambda(c - t_0) \neq -1$ ($t_0 < c < T$) по закону: $u(t) = u_0(1 + \lambda(c - t))/(1 + \lambda(c - t_0))$. Если задать дополнительно $u(t_*) = u_*$, (u_{\max} - неизвестная величина, $t_* \neq t_0$), то закон изменения уровня ошибок находится однозначно, так как: $c = (u_* t_0 - u_0 t_*) / (\lambda u_* - \lambda u_0) - 1/\lambda$.

Отметим, что если ds/dt - общее изменение энтропии системы при воздействии на систему, ds_1/dt - изменение энтропии за счет необратимых изменений структуры, потоков внутри системы (рассматриваемой как открытая система), ds_2/dt - изменение энтропии за счет усилий по улучшению обстановки (например, экономической, экологической, социальной), то справедливо уравнение И. Пригожина:

$$ds/dt = ds_1/dt + ds_2/dt.$$

При эволюционном моделировании социально-экономических систем полезно использовать и классические математические модели, и неклассические, в частности, учитывающие пространственную структуру системы (например, клеточные автоматы и фракталы), структуру и иерархию подсистем (например, графы и структуры данных), опыт и интуицию (например, эвристические, экспертные процедуры).

Пример. Пусть дана некоторая экологическая система Ω , в которой имеются точки загрязнения (выбросов загрязнителей) x_i , $i=1, 2, \dots, n$. Каждый загрязнитель x_i загрязняет последовательно экосистему в промежутке времени $(t_{i-1}; t_i]$, $t_i = t_i - t_{i-1}$. Каждый загрязнитель может оказать воздействие на активность другого загрязнителя (например, уменьшить, нейтрализовать или усилить по известному эффекту суммирования воздействия загрязнителей). Силу (меру) такого влияния можно определить через r_{ij} , $R = \{r_{ij}: i=1, 2, \dots, n-1; j=2, 3, \dots, n\}$.

Структура задаётся графом: вершины - загрязнители, ребра - меры.

Найдём подстановку минимизирующую функционал вида:

$$F = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=2}^n r_{ij} = \min$$

где F - суммарное загрязнение системы с данной структурой S .

Чем быстрее (медленнее) будет произведен учёт загрязнения в точке x_i , тем быстрее (медленнее) осуществимы социо-экономические мероприятия по его нейтрализации (усилению воздействия). Чем меньше будет загрязнителей до загрязнителя x_i , тем меньше будет загрязнение среды.

В качестве меры r_{ij} может быть взята мера, учитывающая как время начала воздействия загрязнителей (предшествующих данной x_j), так и число, а также интенсивность этих загрязнителей:

$$s_{ij} = v_{ij} \left[h_j \sum_{k=i+1}^{j-1} \tau_k + (1 + h_j)(j - i) \right]$$

где v_{ij} - весовой коэффициент, определяющий степень влияния загрязнителя x_i на загрязнитель x_j (эффект суммирования), h_j - весовой коэффициент, учитывающий удельную интенсивность действия загрязнителя x_j или интервал τ_i , в течение которого уменьшается интенсивность (концентрация) загрязнителя. Весовые коэффициенты устанавливаются экспертно или экспериментально.

Принцип эволюционного моделирования предполагает необходимость и эффективность использования методов и технологии искусственного интеллекта, в частности, экспертных систем.

Основная трудность при построении и использовании эволюционных моделей: в Природе и Познании, в которых эти модели и цели явно или неявно существуют, результаты функционирования системы и достижения цели прослеживаемы часто лишь по прошествии длительного периода времени, хотя в Обществе и Экономике Человек стремится получить результаты в соответствии с целью явно и быстро, с минимальными затратами Ресурсов.

Адекватным средством реализации процедур эволюционного моделирования являются генетические алгоритмы.

Идея генетических алгоритмов "подсмотрена" у систем живой природы, у систем, эволюция которых разворачивается в сложных системах достаточно быстро.

Генетический алгоритм - это алгоритм, основанный на имитации генетических процедур развития популяции в соответствии с принципами эволюционной динамики, приведенными выше. Часто используется для решения задач оптимизации (многокритериальной), поиска, управления.

Данные алгоритмы адаптивны, развивают решения, развиваются сами. Особенность этих алгоритмов - их успешное использование при решении NP-сложных проблем (проблем, для которых невозможно построить алгоритм с полиномиально возрастающей алгоритмической сложностью).

Пример. Рассмотрим задачу безусловной целочисленной оптимизации (размещения): найти максимум $f(i)$, i - набор из n нулей и единиц, например, при $n=5$, $i=(1,0,0,1,0)$. Это очень сложная комбинаторная задача для обычных, "негенетических" алгоритмов. Генетический алгоритм может быть построен следующей укрупненной процедурой:

1. генерируем начальную популяцию (набор допустимых решений задачи) - $I_0=(i_1, i_2, \dots, i_n)$, $i_j \in \{0,1\}$ и определяем некоторый критерий достижения "хорошего" решения, критерий остановки α , процедуру СЕЛЕКЦИЯ, процедуру СКРЕЩИВАНИЕ, процедуру МУТАЦИЯ и процедуру обновления популяции ОБНОВИТЬ;
2. $k:=0$, $f_0:=\max\{f(i), i \in I_0\}$;
3. нц пока не(α)
 1. с помощью вероятностного оператора (селекции) выбираем два допустимых решения (родителей) i_1, i_2 из выбранной популяции (вызов процедуры СЕЛЕКЦИЯ);
 2. по этим родителям строим новое решение (вызов процедуры СКРЕЩИВАНИЕ) и получаем новое решение i ;
 3. модифицируем это решение (вызов процедуры МУТАЦИЯ);
 4. если $f_0 < f(i)$ то $f_0:=f(i)$;
 5. обновляем популяцию (вызов процедуры ОБНОВИТЬ);
 6. $k:=k+1$

кц

Указанные процедуры определяются с использованием аналогичных процедур живой природы (на том уровне знаний о них, что мы имеем). Например, процедура СЕЛЕКЦИЯ может из случайных элементов популяции выбирать элемент с наибольшим значением $f(i)$. Процедура СКРЕЩИВАНИЕ (кроссовер) может по векторам i_1, i_2 строить вектор i , присваивая с вероятностью 0,5 соответствующую координату каждого из этих векторов-родителей. Это самая простая процедура. Используют и более сложные процедуры, реализующие более полные аналоги генетических механизмов. Процедура МУТАЦИЯ также может быть простой или сложной. Например, простая процедура с задаваемой вероятностью для каждого вектора меняет его координаты на противоположные (0 на 1, и наоборот). Процедура ОБНОВИТЬ заключается в обновлении всех элементов популяции в соответствии с указанными процедурами.

Пример. Работу банка можно моделировать на основе генетических алгоритмов. С их помощью можно выбирать оптимальные банковские проценты (вкладов, кредитов) некоторого банка в условиях конкуренции с тем, чтобы привлечь больше клиентов (средств). Тот банк, который сможет привлечь больше вкладов, клиентов и средств, и выработает более привлекательную стратегию поведения (эволюции) - тот и выживет в условиях естественного отбора. Филиалы такого банка (гены) будут лучше приспособляться и укрепляться в экономической нише, а, возможно, и увеличиваться с каждым новым поколением. Каждый филиал банка (индивид популяции) может быть оценен мерой его приспособленности. В основе таких мер могут лежать различные критерии, например, аналог экономического потенциала - рейтинг надежности банка или соотношение привлеченных и собственных средств банка. Такая оценка эквивалентна оценке того, насколько эффективен организм при конкуренции за ресурсы, т.е. его выживаемости, биологическому потенциалу. При этом особи (филиалы) могут приводить к появлению потомства (новых банков, получаемых в результате слияния или распада), сочетающего те или иные (экономические) характеристики родителей. Например, если один банк имел качественную политику кредитования, а другой - эффективную

инвестиционную политику, то новый банк может приобрести и то, и другое. Наименее приспособленные особи (филиалы) совсем могут исчезнуть в результате эволюции. Таким образом, отрабатывается генетическая процедура воспроизводства новых банков (нового поколения), более приспособленных и способных к выживанию в процессе эволюции банковской системы. Эта политика со временем пронизывает всю банковскую "популяцию", обеспечивая достижение цели - появления эффективно работающей, надежной и устойчивой банковской системы. Приведем соответствующий генетический алгоритм (укрупненный и упрощенный):

```

алг ГЕНЕТИЧЕСКИЙ_АЛГОРИТМ_БАНКОВСКОЙ_СИСТЕМЫ
  ввод Начальная структура банка (начальная популяция);
  СТРУКТУРА | процедура оценки структуры по приспособлению
  Стоп:=0    | флаг для завершения эволюционного процесса
  нц пока (Стоп=0)
    СЕЛЕКЦИЯ | процедура генетического отбора нового поколения
    нц пока (МЕРА) | цикл воспроизводства с критерием МЕРА
                     | мерой эффективности банковской системы
      РОДИТЕЛИ | процедура выбора двух структур (филиалов)
                     | объединяемых (скрещиваемых) на новом шаге
      ОБЪЕДИНЕНИЕ | процедура образования (объединения)
                     | нового банка (филиала)
      ОЦЕНКА | процедура оценки устойчивости нового банка,
                     | образования (рейтинга, устойчивости)
      ВКЛЮЧЕНИЕ | процедура включения (не включения) в новое
                     | поколение (в банковскую систему)

    кц
    МУТАЦИЯ | процедура эволюции (мутации) нового поколения
    если (ПРОЦЕСС) | проверка функционала завершаемости эволюции
      то Стоп:=1

  кц
кон.
```

Мы не конкретизируем структуру процедур СЕЛЕКЦИЯ, МЕРА, РОДИТЕЛИ, ОБЪЕДИНЕНИЕ, ОЦЕНКА, ВКЛЮЧЕНИЕ, МУТАЦИЯ, ПРОЦЕСС, хотя даже на интуитивном уровне ясно, что в этом алгоритме они играют решающую роль для эволюционного процесса. Не менее важен и правильный (эффективный) выбор структуры, а также представления (описания) этой структуры. Часто ее выбирают по аналогии со структурой хромосом, например, в виде битовых строк. Каждая строка (хромосома) представляет собой конкатенацию ряда подстрок (генная комбинация). Гены располагаются в различных позициях строки (локусах хромосомы). Они могут принимать некоторые значения (аллели), например, для битового представления - 0 и 1. Структура данных в генетическом алгоритме (генотип) отражает генетическую модель особи. Окружающая среда, окружение определяется вектором в пространстве параметров и соответствует термину "фенотип". Мера качества (процедура МЕРА) структуры часто определяется целевой функцией (приспособленности). Для каждого нового поколения генетический алгоритм осуществляет отбор пропорционально приспособленности (процедура ОТБОР), модификацию (процедуры РОДИТЕЛИ, ОБЪЕДИНЕНИЕ, ВКЛЮЧЕНИЕ) и мутацию (процедура МУТАЦИЯ). Например, в процедуре ОТБОР каждой структуре ставится в соответствие отношение ее приспособленности к суммарной приспособленности популяции и затем происходит отбор (с замещением) всех особей для дальнейшей генетической обработки в соответствии с этой величиной. Размер отбираемой комбинации можно брать пропорциональным приспособляемости, и поэтому особи (кластеры) с более высокой приспособленностью с большей вероятностью будут чаще выбираться, чем особи с низкой приспособленностью. После отбора выбранные особи подвергаются кроссоверу (рекомбинации), т.е. разбиваются на пары. Для каждой пары может применяться кроссовер. Неизмененные особи переходят к стадии мутации. Если

кроссовер происходит, полученные потомки заменяют собой родителей и переходят к мутации.

Хотя генетические алгоритмы и могут быть использованы для решения задач, которые, видимо, нельзя решать другими методами, они не гарантируют нахождение оптимального решения (по крайней мере, - за приемлемое время; полиномиальные оценки здесь часто неприменимы). Здесь более уместны критерии типа "достаточно хорошо и достаточно быстро". Главное же преимущество в другом: они позволяют решать сложные задачи, для которых не разработаны пока устойчивые и приемлемые методы, особенно на этапе формализации и структурирования системы, в когнитивных системах. Генетические алгоритмы эффективны в комбинации с другими классическими алгоритмами, эвристическими процедурами, а также в тех случаях, когда о множестве решений есть некоторая дополнительная информация, позволяющая настраивать параметры модели, корректировать критерии отбора, эволюции.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое эволюционное моделирование? Каковы критерии эффективности при эволюционном моделировании? Для какого типа прогнозирования (по длительности) используется и является эффективным эволюционное моделирование?
2. Что такое генетический алгоритм?
3. Каковы основные общие и различные свойства генетических и "не генетических" алгоритмов?

Задачи и упражнения

1. Привести одну экологическую или экономическую эволюционирующую систему и сформулировать основные принципы и понятия для постановки задачи эволюционного моделирования этой системы.
2. На примере некоторой системы показать, как можно осуществить её декомпозицию с целью ее эволюционного моделирования. Указать приоритеты декомпозиции. Привести для задачи некоторый способ (описание) активности системы, а также функции, по которым можно определять эволюционируемость системы.
3. Описать укрупненный генетический алгоритм эволюции некоторого предприятия (некоторых предприятий).

Темы научных исследований и рефератов, интернет-листов

1. Эволюционное моделирование - особенности, значение, приложения.
2. Генетические алгоритмы - особенности, значение, применение.
3. Имитационное эволюционное моделирование плохо структурируемых, плохо формализуемых систем с помощью генетических алгоритмов.

13. Лекция: Основы принятия решений и ситуационного моделирования

Рассматриваются основные понятия теории принятия решений и ситуационного моделирования систем, примеры.

Цель лекции: содержательное введение в основы принятия решений и ситуационное моделирование систем.

Принятие решения и целеполагающая ресурсоориентированная деятельность человека в социальной, экономической, политической, идеологической, военной сферах тесно связаны. В них крайне нежелательны ошибки, которые могут привести к пагубным последствиям. Но из-за ограниченных информационных возможностей человека ошибки всегда возможны. Поэтому есть настоятельная необходимость применения научного подхода к обоснованию и принятию решений.

Принятие решений, наряду с прогнозированием, планированием, ситуационным анализом обстановки, исполнением решений, контролем и учетом является функцией управления. Все функции управления направлены так или иначе на формирование или реализацию решений, и любую функцию управления технологически можно представить в виде последовательности каких-либо связанных общей целью решений.

При прогнозировании и планировании принимаются решения, связанные с выбором методов и средств, организацией работы, оценкой достоверности информации, выбором наиболее достоверного варианта прогноза и наилучшего варианта плана. Таким образом, функция принятия решений является с методологической и технологической точек зрения более общей, чем другие функции управления. Для лица, принимающего решение (ЛПР), принятие решений является основной задачей, которую он обязан исполнять в процессе управления. Поэтому знание методов, технологий и средств решений этой задачи является необходимым элементом квалификации руководителя, базой для дальнейшего управления.

Конечным результатом любой задачи принятия решений становится решение, конструктивное предписание к действию. Решение является одним из видов мыслительной деятельности и имеет следующие признаки: имеется выбор из множества возможностей; выбор ориентирован на сознательное достижение целей; выбор основан на сформировавшейся установке к действию. Основной характеристикой решения является его эффективность, т.е. степень, темп достижения целей и затраты ресурсов для принятия и реализации решения. Решение тем эффективнее, чем больше степень достижения целей и меньше стоимость затрат.

Принятие решения - это выбор одного из множества рассматриваемых допустимых вариантов. Обычно их число конечно, а каждый вариант выбора определяет некоторый результат (экономический эффект, прибыль, выигрыш, полезность, надежность и т.д.), допускающий количественную оценку. Такой результат обычно называется полезностью решения. Таким образом, ищется вариант с наибольшим значением полезности решения. Возможен и подход с минимизацией противоположной оценки, например, отрицательной величины полезности. Часто на практике встречается ситуация, когда каждому варианту решения соответствует единственный результат (детерминированность выбора решения),

хотя возможны и другие случаи, например, когда каждому варианту i и условию j , характеризующему полезность, соответствует результат решения x_{ij} . Таким образом, можно говорить о матрице решений $\|x_{ij}\|$, $i=1,2,...,m$; $j=1,2,...,m$. Чтобы оценить решение, необходимо уметь оценивать все его последствия. Существуют различные подходы для такой оценки. Например, если решения альтернативные, то можно последствия каждого из них характеризовать суммой его наибольшего и наименьшего результатов, максимумом из возможных таких сумм, максимумом из максимумов по всем вариантам (оптимистическая позиция выбора), максимумом из среднего арифметического (нейтральная позиция выбора), максимумом из минимума (пессимистическая позиция) и другие.

Классические модели принятия решений, как правило, являются оптимизационными, ставящими цель максимизировать выгоду и на основе этих моделей получить практическую прибыль. Так как теоретиков больше интересует первая сторона, а практиков - вторая, то при разработке и использовании таких моделей необходимо их тесное сотрудничество. Практические рекомендации (решения) могут быть получены, если при построении модели принятия решений придать большее значение учету существенных структурных элементов моделируемой системы, т.е. разработке имитационной модели принятия решений, с привлечением экспериментальных, полужэкспериментальных и теоретических методов. Кроме классических, оптимизационных процедур принятия решений существуют и ряд базовых неклассических (неоклассических) процедур, технологий принятия решений, некоторые из которых мы рассмотрим.

Классификация задач принятия решений проводится по различным признакам. Наиболее существенными являются: степень определенности информации; использование эксперимента для получения информации; количество лиц, принимающих решения; содержание решений; направленность решений.

На процесс принятия решения часто воздействуют различные случайные (стохастические) параметры, усложняющие процедуру. Недостаток информации об их распределении (сложность их измерения) приводит к необходимости принятия каких-то гипотез как об области их изменения, так и о характере их распределения (о функции распределения вероятностей). Правильность используемых гипотез необходимо проверять с помощью методов оценки статистических гипотез. При отсутствии достаточной информации для такой процедуры приходится привлекать большое число типов распределения. Проблемы принятия решений с недетерминированными параметрами называют проблемами принятия решений в условиях недостатка информации. Чем меньше информации у нас, тем больше может оказаться различие между ожидаемым и действительным результатами принимаемых решений в целом. Мера влияния информации (параметров) на результат решения называется релевантностью. Особо важно в социально-экономической сфере принятие решения при наличии рисков (неплатежей, невозвратов кредитов, ухудшения условий жизни и т.д.).

Формализуемые решения принимаются на основе соответствующих математических методов (алгоритмов). Математическая модель задачи оптимизации формализуемого решения включает следующие элементы:

1. заданную оптимизируемую целевую функцию (критерий управляемости): $\Phi = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$, где x_j ($j=1, 2, \dots, n$) - параметры, учитываемые при принятии решения (отражающие ресурсы принятия решений);

2. условия, отражающие ограниченность ресурсов и действий ЛПР при принятии решений: $g_i(x_j) < a_i$, $k_i(x_j) = b_i$; $c_j < x_j < d_i$, $i=1,2,...,m$; $j=1,2,...,n$.

Непременным требованием для решения задачи оптимизации является условие $n > m$.

В зависимости от критерия эффективности, стратегий и факторов управления выбирается тот или иной метод (алгоритм) оптимизации.

Основными являются следующие классы методов:

1. методы линейного и динамического программирования (принятия решения об оптимальном распределении ресурсов);
2. методы теории массового обслуживания (принятие решения в системе со случайным характером поступления и обслуживания заявок на ресурсы);
3. методы имитационного моделирования (принятие решения путем проигрывания различных ситуаций, анализа откликов системы на различные наборы задаваемых ресурсов);
4. методы теории игр (принятие решений с помощью определения стратегии в тех или иных состязательных задачах);
5. методы теории расписаний (принятие решений с помощью разработки календарных расписаний выполнения работ и использования ресурсов);
6. методы сетевого планирования и управления (принятие решений с помощью оценки и перераспределения ресурсов при выполнении проектов, изображаемых сетевыми графиками);
7. методы многокритериальной (векторной) оптимизации (принятие решений при условии существования многих критериев оптимальности решения)

и другие методы.

Выбор решения - заключительный и наиболее ответственный этап процесса принятия решений. Здесь ЛПР должно осмыслить полученную на этапах постановки задачи и формирования решений информацию и использовать ее для обоснования выбора. В реальных задачах принятия решений к началу этапа выбора решения еще сохраняется большая неопределенность, поэтому сразу осуществить выбор единственного решения из множества допустимых решений практически очень сложно. Поэтому используется принцип последовательного уменьшения неопределенности, который заключается в последовательном трехэтапном (обычно) сужении множества решений. На первом этапе исходное множество альтернативных решений Y сужается (используя ограничения на ресурсы) до множества приемлемых или допустимых решений $Y_1 \subseteq Y$. На втором этапе множество допустимых решений Y_1 сужается (учитывая критерий оптимальности) до множества эффективных решений $Y_2 \subseteq Y_1$. На третьем этапе осуществляется выбор (на основе критерия выбора и дополнительной информации, в том числе и экспертной) единственного решения $Y^* \in Y_2$.

Система принятия решений - совокупность организационных, методических, программно-технических, информационно-логических и технологических обеспечений принятия решений для достижения поставленных целей.

Общая процедура принятия решений может состоять из следующих этапов:

- анализ проблемы и среды (цели принятия решения, их приоритеты, глубина и ограничения рассмотрения, элементы, связи, ресурсы среды, критерии оценки);
- постановка задачи (определение спецификаций задачи, альтернатив и критериев выбора решения);
- выбор (адаптация, разработка) метода решения задачи;
- выбор (адаптация, разработка) метода оценки решения;
- решение задачи (математическая и компьютерная обработка данных, имитационные и экспертные оценки, уточнение и модификация, если это необходимо);
- анализ и интерпретация результатов.

Задачи принятия решений могут быть поставлены и решены в условиях детерминированных (определенности, формализованности и единственности целевой функции, ее количественной оцениваемости), риска (возможные решения, исходы распределены вероятностно) и недетерминированных (неопределенности, неточности, плохой формализуемости информации).

В моделях принятия решений используются различные процедуры. В частности, наиболее просты и эффективны следующие:

- методы математического программирования;
- методы кривых безразличия;
- многокритериального выбора альтернатив на основе четкого или же нечеткого отношения предпочтения;
- последовательной оценки и последующего исключения вариантов;
- многомерного ранжирования (шкалирования) объектов и другие.

При выборе рационального решения необходимо принимать во внимание внешнюю среду и побочные явления, динамическую изменчивость критериев оценок решения, необходимость ранжирования аспектов и приоритетов решения, их неполноту и разнородность (а иногда и конфликтность).

Продemonстрируем ситуационное моделирование на примере моделирования деятельности банка. Банковская система является одной из подсистем современной экономической системы, наиболее подверженной информатизации. Развитие банковской системы сопровождается постоянным поиском адекватных оптимальных методов и инструментов управления, принятия решений на основе экономико-математического анализа и моделирования деятельности банков. При этом необходимо учитывать тот факт, что финансовые операции имеют еще и стохастические составляющие, усложняющие и без того сложные процессы начисления процентных ставок, взносов и выплат, регулирования и управления, инвестиций и др. Эти процессы сложны не только динамически, но и вычислительно, логически. Кроме того, от таких прогнозов зависят и прогноз, анализ темпов инфляции, структуры активов и пассивов банка, доходности акций, курсов валют, процентная ставка и др.

Ситуационный анализ денежных потоков состоит в основном - часто на имитационном моделировании - анализе эффективности того или иного набора финансовых операций и процедур (из множества возможных и допустимых) путем сравнения результатов их воздействия на финансовые, денежные потоки с величиной финансовых, денежных активов без учета их воздействия. Следовательно, ситуационный анализ денежных потоков является динамическим процессом, использующим методы оптимизации и критерии оптимальности. При ситуационном анализе некоторых базовых значений

величины активов (соответствующих определенным финансовым условиям и обязательствам, например, величине уставного капитала), можно по некоторым критериям оптимальности (целевым функциям оптимизации), выбрать оптимальный набор возможных, допустимых финансовых операций, обеспечивающих, например, наибольшую доходность. Возможно построение целевой функции максимизации с учетом ликвидности. Возможно также получение решения задач, свидетельствующего об отсутствии роста (или малого роста) каких-либо финансовых параметров, например, активов, из которого можно сделать вывод о невозможности проведения оптимизирующих операций (процедур).

Пусть d_t - средний уровень доходности, получаемый в результате проведения некоторых инвестиционных мероприятий, а P_t - процентная ставка на момент времени $t=0, 1, 2, \dots, T$. Тогда рост активов A будет осуществляться по закону

$$A = \sum_{t=1}^T P_t (1 + d_t)^t$$

и можно использовать при ситуационном анализе критерий эффективности:

$$\sum_{t=1}^T P_t (1 + d_t)^t \Rightarrow \max.$$

Соотношение между доходностью активов и ценой пассивов коммерческого банка является важнейшим показателем, который отражает эффективность денежно-финансовой политики банка.

Ситуационный анализ соотношения осложняется рядом факторов:

1. структура активов и пассивов могут отражаться ссудами различной длительности, а также различными схемами размещения и привлечения обязательств и ценных бумаг, например, возврат денег может быть осуществлен по схеме ежемесячного отчисления процентов и уплаты кредита в конце либо по схеме единовременного возврата суммы долга и процентов в конце промежутка кредитования;
2. необходимостью учета (прогноза) инфляционного ожидания и "увеличения" или "очистки" тех или иных составляющих активов и пассивов в зависимости от инфляции;
3. различными параметрами и факторами, влияющими на степень риска, затрудненностью оценки величины риска.

Различные структуры и схемы размещения и привлечения финансовых ресурсов определяют и различные динамические модели.

Например, если схема предусматривает возврат долга с процентами одновременно, реальная ставка рублевого кредита d может быть определена по формуле

$$d = (z - a) / (1 + a/100) \quad (\%),$$

где z - номинальная ставка рублевого кредита (%), a - инфляция за период кредитования (%).

Для валютного кредита, очищенного от инфляции, с учетом внутренней конвертируемости рубля:

$$d = [((1+z/100) (1+g/100) - (1+a/100)) / (1+a/100)] 100 \quad (\%),$$

где z - номинальная ставка валютного кредита (%), g - рост курса валюты за период кредитования (%).

Если же договор размещения кредитов предусматривает учет динамики возврата долга (части долга) и уплаты процентов, то реальная ставка может определяться следующей процедурой:

1. определяется динамика срочных выплат (части долга и процентов), гарантирующая полное выполнение обязательств за период кредитования, т.е. обеспечивающая выполнение условий

$$\sum_{t=1}^T g_t (1+z)^{-t} = S$$

где g_t - ежемесячные (ежеквартальные, ежегодные) выплаты, t - номер месяца (квартала, года), в конце которого происходит выплата, S - размер ссуды, выданной в начале договора кредитования, T - количество дней (месяцев, кварталов, лет) кредитования;

2. задается динамика инфляции, например, дискретная функция $a_t = a(t)$, $t = 1, 2, \dots, T$;
3. определяется реальная ставка d - решение уравнения:

$$\sum_{t=1}^T g_t / \prod_{i=1}^t (1 + a_i / 100) (1 + d / 100) = S;$$

если кредит - валютный, то необходимо дополнить этапы 1-3 этой процедуры следующими этапами:

4. осуществляется прогноз роста курса валюты, т.е. определяется (задается) дискретная функция $g_t = g(t)$, $t = 1, 2, \dots, T$;
5. реальная ставка определяется из уравнения вида (S - ссуда в валюте):

$$\sum_{t=1}^T g_t / \prod_{i=1}^t (1 + a_i / 100) (1 + g_i / 100) (1 + d / 100) = S.$$

В долговременных финансово-кредитных операциях проценты либо выплачиваются сразу после их начисления, либо их реинвестируют, применяя сложные проценты. Исходная сумма S (база) увеличивается по принятому (кредитором и дебитором) соглашению, а для простых процентов база постоянная и равна начальной сумме S . Присоединение начисленных процентов к базовой сумме называется капитализацией процентов, $t = 0, \dots, T$.

Важнейшим показателем при ситуационном анализе и моделировании деятельности и жизнеспособности банка является надежность, банковский или кредитный риск. Надежность банка - не просто вероятность быть надежным банком в данный момент, а

вероятность банка сохранять надежностные характеристики и отношения на некотором допустимом промежутке их варьирования и для определенного промежутка времени.

Пусть $x=(x_1, x_2, \dots, x_n) \in \Omega$ - вектор, характеризующий надежность банка, а Ω - некоторое множество его допустимых изменений. В качестве меры надежности можно взять условную вероятность $p=p(P/\Omega)$, где P - оценка (степень) надежности, P/Ω - оценка при условии изменения $x \in \Omega$.

Пример. Пусть $\Omega=\Omega(x_1, x_2, x_3)$ - информационные ресурсы, доступные объекту (субъекту), который производит анализ надежности банка, а $x=(x_1, x_2, x_3)$, где x_1 - активы банка, x_2 - пассивы банка, x_3 - дебиторская задолженность банку. Пусть, например, мы хотим оценить надежность банка, но не имеем о банке информации (или имеем нулевую информацию). Тогда значение $p(P/\Omega)$ можно получить, только исходя из двух возможных равновероятных состояний - банк либо надежен, либо не надежен, т.е. $p(P/\Omega)=0,5$. Результат мало информативен и может быть применен к любому банку при любых условиях Ω . Пусть теперь известно, что существует лишь 30 % надежных банков, т.е. мы при оценке надежности банка используем эту информацию. В этом случае можно оценить надежность банка как $0 \leq p(P/\Omega) \leq 0,3$. В то же время, как и для предыдущего случая, такая оценка надежности будет малоинформативной, так как здесь мы имеем, как и в первом случае, два возможных состояния ($p \leq 0,3$ и $p > 0,3$) и по формуле Шеннона количество информации в том и в другом случае равно

$$I = \log_2 N = \log_2 2 = 1 \text{ (бит)}.$$

Чем более точной информацией о банке владеет вкладчик (дебитор), тем проще ему можно принимать верные решения, т.е. тем чаще и ближе будут оценки вероятности (надежности) p к $p=0$ и $p=1$. Чем меньше информации, тем сложнее принять однозначное решение, тем чаще и ближе будет оценка вероятности к $p=0,5$ ("пятьдесят на пятьдесят").

Величину $p(P/\Omega)$ принято называть апостериорной вероятностью (a posteriori - после опыта). Под опытом здесь подразумевается процесс получения информации Ω , следовательно, $p(P/\Omega)$ - вероятность быть надежным банком с учетом полученной в результате опыта информации.

При определении надежности (например, экспертами) могут допускаться ошибки, в том числе и субъективного характера. Это - вероятность "ложной классификации". Пусть p_1 - вероятность отнесения (априори) надежного банка в класс ненадежных, а p_2 - вероятность отнесения (априори) ненадежного банка в класс надежных банков. Если не учитывать гипотез о степени их предпочтения (рейтинг банка), то показатель качества классификации - сумма вероятностей совершения ошибок, т.е. $p=p_1+p_2$. Можно снабдить их весами (предпочтения) a_1 и a_2 , например, если $a_1=1$, $a_2=2$, то вероятность p_2 в 2 раза важнее p_1 (иначе говоря, в 2 раза опаснее относить ненадежный банк в группу надежных, чем надежный банк в группу ненадежных). Тогда итоговый показатель является средневзвешенной суммой вероятностей:

$$p=a_1q_1+a_2q_2,$$

где $a_1, a_2 \geq 0$, $q_1, q_2 \geq 0$, q_1, q_2 - вероятности ошибок, $q_1=1-p_1$, $q_2=1-p_2$.

Показатель p называют байесовским риском. Чем больше p , тем хуже произведена классификация, а чем она ближе к нулю, тем классификация ближе к реальной или априорной классификации.

Для ситуационного анализа необходимо иметь адекватные модели потока платежей. Как правило, этот поток - дискретный. Рассмотрим одну из простых подмоделей модели ситуационного анализа, дополняющую выше приведенную процедуру.

Пусть в момент времени $t_0=0$ имеется капитал $x(0)$ (денежных единиц), а в момент времени $t=t_1, t_2, \dots, t_n$ имеются транзакции (приход, расход) $y(t_i)$, $i=1, 2, \dots, n$. Рассмотрим, как это бывает на практике, одинаковые промежутки времени (год, месяц, день) $[t_0; t_1]$, $(t_2; t_3]$, \dots , $(t_{n-1}; t_n]$, т.е. $t_i - t_{i-1} = \text{const}$ и векторы $t=(0, t_1, t_2, \dots, t_n)$, $x=(x(0), x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_n))$, $y=(0, y(t_1), y(t_2), \dots, y(t_n))$, $v=(0, v(t_1), v(t_2), \dots, v(t_n))$, где $v(t_i)$ - коэффициент дисконта на промежутке времени $(0; t_i]$, т.е. коэффициент относительной скидки или отношения приращения ссуды (капитала) за срок от 0 до t_i к наращенной сумме. Тогда потоки доходов и расходов будут, соответственно, равны

$$P = x(0) + \sum_{i=1}^n x(t_i) v(t_i),$$

$$R = \sum_{i=1}^n y(t_i) v(t_i).$$

Будем считать доходы кредитора (инвестора) отрицательными величинами (отдает), а поступления - положительными. Тогда $z(0) = -x(0)$ - начальный доход (начальная величина инвестиций), а $z(t_i) = y(t_i) - x(t_i)$ - поступление на его счет, $i=1, 2, \dots, n$.

Чистая стоимость потока $Q=R-P$ равна:

$$Q = \sum_{i=1}^n y(t_i) v(t_i) - x(0) - \sum_{i=1}^n x(t_i) v(t_i) = -x(0) + \sum_{i=1}^n [y(t_i) - x(t_i)] v(t_i) = -x(0) + \sum_{i=1}^n z(t_i) v(t_i)$$

Аналогично, чистое наращенное значение потока на момент времени $t_i > 0$ равно (вводя $a(t_j, t_i)$ - коэффициент наращения на $(t_j; t_i]$, $j=1, \dots, n-1$)

$$Q_i = \sum_{j=1}^i z(t_j) a(t_j, t_i).$$

Наращенное значение всех платежей к моменту времени $t_n=T$ равно Q_n .

Одним из эффективных механизмов принятия деловых решений (в проблемах инвестирования, выработки стратегии поведения, развития и т.д.) является использование ИСПР (просто СПР) - информационных систем поддержки решений (Decision Support Systems), сочетающих современные средства аналитической обработки и средства визуализации информации и технологии поддержки деятельности экспертной группы.

Пример. В области организационного управления наибольший интерес имеют так называемые ситуационные (эмерджентные) комнаты (центры), позволяющие быстро

"погрузить" ЛПР в рассматриваемую проблемную ситуацию, обстановку, помочь разобраться в проблеме и принять локально-оптимальное (не обязательно глобально-оптимальное) решение. Например, президент США имеет несколько таких комнат. Существуют ситуационные центры Президента РФ, Совета Безопасности, МЧС. Ситуационные комнаты - это специальное место для поддержки построения, проигрывания проблемной ситуации и принятия решений одним человеком или группой людей. Эффект от использования ситуационной комнаты зависит от корректности поставленной проблемы, полноты и достоверности используемых данных, сценария обсуждения, технологий интеллектуальной и компьютерной поддержки (например, использования экспертных систем), временного интервала прогноза и др. Простое использование автоматизированной системы обработки документов, поисковых систем, средств визуализации и мультимедиа - недостаточные условия для функционирования ситуационной комнаты. Основная функция СПР - поддержка умственной, эвристической и творческой деятельности ЛПР. СПР может работать в следующих режимах:

1. проблемный мониторинг и актуализация информации (СМИ, органов власти, объектов управления и пр.) с целью текущего информирования и предупреждения о накапливающихся небольших негативных явлениях;
2. планово-аналитический режим - плановое заслушивание и обсуждение аналитических докладов по проблемной ситуации с целью поддержки и принятия заслушиваемого решения по заранее фиксированному сценарию подачи, демонстрации материала для анализа "вширь" и "вглубь";
3. чрезвычайный режим - оперативный мониторинг информации, принятие и контроль исполнения решений по непредвиденным, чрезвычайным проблемам с целью уменьшения негативных факторов, влияющих на обычное в таких ситуациях совмещение построения сценария, обсуждения и принятия решений.

В базовом варианте, ситуационная комната может включать экран коллективного доступа; компьютер (обычно, ноутбук) с возможностью отображения на экран коллективного доступа; средства доступа к базе данных (знаний), в том числе - с целью сохранения сценария обсуждения, систему подготовки презентаций.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое принятие решения? Что такое полезность решения?
2. Что такое ЛПР, СПР, ИСПР?
3. Как могут классифицироваться задачи принятия решений? Как влияет неопределенность и многокритериальность на такую классификацию и на решение задачи принятия решений?

Задачи и упражнения

1. Требуется принять решение о том, когда необходимо проводить профилактический ремонт ЭВМ, чтобы минимизировать потери из-за неисправности. В случае, если ремонт будет производиться слишком часто, затраты на обслуживание будут большими при малых потерях из-за случайных поломок. Так как невозможно предсказать заранее, когда возникнет неисправность, необходимо найти вероятность того, что ПЭВМ выйдет из строя в период времени t . ЭВМ ремонтируется индивидуально, если она остановилась из-за поломки. Через T интервалов времени выполняется профилактический ремонт всех n ПЭВМ. Построить процедуру принятия решения о ремонте (исходя из различных ситуаций, в которые помещено ЛПР).

2. Интенсивность спроса x (спрос в единицу времени) на некоторый товар задается непрерывной функцией распределения $f(x)$. Если запасы в начальный момент невелики, возможен дефицит товара. В противном случае к концу рассматриваемого периода запасы нереализованного товара могут оказаться большими. Потери возможны и в том, и в другом случае. Предложите процедуру принятия решения о необходимом запасе товаров.
3. При работе на ЭВМ необходимо периодически проверять наличие вирусов. Приостановка в обработке информации приводит к определенным экономическим издержкам. Если же вирус вовремя не будет обнаружен, возможна и потеря информации, и затраты на восстановление. Варианты решения таковы: E_1 - полная проверка; E_2 - минимальная проверка (проверка каталога); E_3 - отказ от проверки. ЭВМ может находиться в состояниях: F_1 - вирус отсутствует; F_2 - вирус есть, но он не успел активизироваться; F_3 - некоторые файлы испорчены вирусом и нуждаются в восстановлении. Предложите процедуру принятия решения. Организуйте группу и руководство по ситуационному моделированию для решения этой проблемы (для принятия решений по проблеме).

Темы научных исследований и рефератов, интернет-листов

1. Функции, задачи, поведение ЛПР.
2. Системы поддержки и принятия решений.
3. Оптимизация и принятие решений.

14. Лекция: Модели знаний

Рассматриваются основные модели знаний, их структура, атрибуты, примеры.

Цель лекции: введение в основные модели представления и формализации знаний, их атрибуты и структуры.

Такие понятия как "интеллект", "интеллектуальность", у специалистов различного профиля (системного анализа, информатики, нейропсихологии, психологии, философии и др.) могут несколько различаться, причем это не несет в себе никакой опасности.

Примем, не обсуждая ее положительные и отрицательные стороны, следующую "формулу интеллекта":

"Интеллект = цель + факты + способы их применения",

или, в несколько более "математическом", формализованном виде:

"Интеллект = цель + аксиомы + правила вывода из аксиом".

При поиске наиболее удобных, рациональных средств и форм информационного обмена человек чаще всего сталкивается с проблемой компактного, однозначного и достаточно полного представления знаний.

Знания - система понятий и отношений для такого обмена. Можно условно классифицировать знания в предметной области на понятийные, конструктивные, процедурные, фактографические знания и метазнания.

Понятийные знания - набор понятий, используемых при решении данной задачи, например, в фундаментальных науках и теоретических областях наук, т.е. это понятийный аппарат науки.

Конструктивные знания - наборы структур, подсистем системы и взаимодействий между их элементами, например, в технике.

Процедурные знания - методы, процедуры (алгоритмы) их реализации и идентификации, например, в прикладных науках.

Фактографические - количественные и качественные характеристики объектов и явлений, например, в экспериментальных науках.

Метазнания - знания о порядке и правилах применения знаний (знания о знаниях).

Представление знаний есть процесс, конечная цель которого - представление информации (семантического смысла, значения) в виде информативных сообщений (синтаксических форм): фраз устной речи, предложений письменной речи, страниц книги, понятий справочника, объектов географической карты, мазков и персонажей картины и т.п.

Для этого необходимо пользоваться некоторой конструктивной системой правил для их представления и восприятия (прагматического смысла). Назовем такую систему правил

формализмом представления знаний. Неформализуемые знания - это знания, получаемые с применением неизвестных (неформализуемых) правил, например, эвристик, интуиции, здравого смысла и принятия решений на их основе.

Человек пользуется естественным формализмом - языком, письменностью. Язык, языковые конструкции развиваются благодаря тому, что человеческие знания постоянно нуждаются в языковом представлении, выражении, сжати, хранении, обмене. Мысль, которую нельзя выразить в языковой конструкции, не может быть включена в информационный обмен. Язык - форма представления знаний. Чем многообразнее язык народа, чем больше знаний он может отражать, тем богаче культура народа. В то же время, предложения и слова языка должны иметь однозначный семантический смысл. Особую роль играет язык математики как язык наук (не только точных, но и гуманитарных), формализации знаний, основа изложения системы знаний в естественных науках. Свой язык имеют химия, физика, экономика, информатика и т.д. Языки наук часто пересекаются и взаимообогащаются при исследовании междисциплинарных проблем.

Использование языковых систем и диалектов повышает надежность информационного обмена, снижая возможность неправильного истолкования передаваемой информации и уровень шумов в сообщениях. Главное назначение языка науки - создавать и использовать типовые, "стандартные" формы изложения, сжати и хранения знаний, ликвидация полисемии (смысловой многозначности) естественного языка. Полисемия, обогащая естественный язык, делая его богаче и выразительнее, тем не менее, является в информационном обмене источником семантического шума, смысловой неоднозначности, а часто - и алогичности, неалгебраичности.

Пример. Найдем и формализуем закономерность в последовательности 1, 10, 11, 100, 111, 1000, 1111, 10000, Из сравнения членов $A[i]$ ($i=1,2,\dots$) последовательности, стоящих на четных местах и на нечетных местах, видно, что: 1) элемент на нечетном месте получается из элемента на предыдущем нечетном месте добавлением единицы справа к нему; 2) каждый элемент на четном месте получается из элемента на предыдущем четном месте добавлением справа к нему нуля. Это словесно описанное (неформализованное) правило можно записать на математическом языке, в аналитическом виде. Получим для случаев 1) и 2): $A[2n]=10A[2n-2]$, $A[2n-1]=10A[2n-1]+1$, $n=1, 2, \dots$. Можно записать формулу, объединяющую обе эти формулы: $A[2n+m]=10A[2n+n-2]+m$, где $m=0$ или $m=1$. Лучшая форма (с меньшей полисемией): $A[2n+\text{mod}(n,2)]=10A[2n+\text{mod}(n,2)-2]+\text{mod}(n,2)$.

Пример. Формализуем закон формирования последовательности: АВ, ААВ, АВВ, АААВ, АВВВ, Словесное описание правила имеет вид: к слову, стоящему на очередном нечетном месте, добавляется с конца символ "В", а к слову, стоящему на очередном четном месте слева, добавляется символ "А". "Формульная" запись правила: $X_{2n+1}=X_{2n-1}+B$, $X_{2n}=A+X_{2n-2}$, $n=1, 2, 3, \dots$. Здесь операция "+" означает конкатенацию (присоединение текста к тексту справа), а X_n - элемент последовательности на n-м месте.

Одной из важных форм (методов) формализации знаний является их представление классом (классификация).

Классификация - выделение некоторого критерия (некоторых критериев) распределения и группировка систем или процессов таким образом, что в одну группу попадают лишь те системы (процессы), которые удовлетворяют этому критерию (значению критерия). Классификация - это метод научной систематики, особенно важный на начальном этапе формирования базовых знаний научного направления. Классификация, установление

эквивалентности объектов, систем позволяет решать такие важные задачи информатики как фиксация знаний, поиск по образцу, сравнение и др.

Пример. Такими системами являются классификационная система К. Линнея в ботанике, систематика живых организмов, таблица элементов Д. Менделеева, систематика экономических систем, механизмов, "табель о рангах", введенная Петром Первым в 1722 г. Эта табель подразделяла чины на 14 рангов. Каждому чину соответствовала определенная должность. Первые 6 рангов статской и придворной служб и первый обер-офицерский чин в армии давали право на получение потомственного дворянства, что способствовало формированию дворянской бюрократии. Таким образом, "табель о рангах" выполняла социально-экономическую классификацию определенной (определяющей) части общества, социально-экономическое стимулирующее упорядочивание.

Указанные выше классификационные системы - иерархические структуры (модели) представления знаний. Отдельные понятия, факты, знания, связаны между собой отношениями дедуктивного (от частного к общему), индуктивного (от общего к частному) или индуктивно-дедуктивного вывода и формализуются соответствующими формальными структурами: древовидными, морфологическими, реляционными и др.

Пример. Рассмотрим систему "Фирма". Опишем всех сотрудников фирмы в лексикографически упорядоченном списке с именем "Сотрудники", указывая табельный номер, ФИО, год рождения, образование, специальность, разряд, стаж работы. Этот список дает нам знание о коллективе, его возрастных и профессиональных качествах и др. Составим другой список - "Зарботная плата", где укажем для каждого сотрудника условия оплаты, величину их заработка (стоимости единицы времени их работы). Этот список дает нам знания о системе оплаты фирмы, ее финансового состояния и др. Оба списка содержат необходимый объем знаний о трудовом коллективе, если цель исследования этой системы - начисление заработной платы. Здесь мы наблюдаем и древовидные, и морфологические, и реляционные модели представления знаний.

Для более строгой формализации (сложных и динамических) знаний в последнее время используют такой перспективный инструмент, как категории и функторы. Впрочем, математическая сложность такого аппарата не дает применять его на первоначальных этапах формализации знаний и он чаще используется лишь тогда, когда знания получили достаточно полную математическую форму описания.

Появление и развитие объектно-ориентированных технологий и объектно-ориентированного проектирования, использующих близкие по духу идеи, тем не менее, актуализируют аппарат категорий и функторов, поэтому введем основные начальные понятия.

Категория $K = \langle S, M \rangle$ - это совокупность S элементов (компоненты, характеристики, параметры, свойства и другие параметры исследуемой системы), называемых объектами категории, и совокупность преобразований, морфизмов M - специального типа преобразований, которые позволяют описывать (определять), например, эквивалентность, инвариантность и другие свойства. Объекты и морфизмы связаны между собой так, что:

1. каждой упорядоченной паре объектов $A, B \in S$ сопоставлено множество $M(A, B)$ морфизмов из M ;
2. каждый морфизм $m \in M$ принадлежит только одному из множеств $M(A, B)$;

3. в классе морфизмов M введен закон композиции морфизмов: произведение $a \circ b$ морфизма $a \in M(A, B)$ на морфизм $b \in M(C, D)$ определено и принадлежит $M(A, B)$ тогда и только тогда, когда объект $B \in X$ совпадает с объектом $C \in X$, причем композиция морфизмов ассоциативна: $(a \circ b) \circ c = a \circ (b \circ c)$;
4. в каждом множестве $M(A, A)$ содержится единичный или тождественный морфизм I_A : $\forall a \in M(X, A), \forall b \in M(A, Y), \forall A, X, Y \in F, \exists I_A: a \circ I_A = a, I_A \circ b = b$.

Категории, их использование для представления знаний адекватны мыслительным процедурам человека, учитывающим опыт, интуицию, понимание мира в терминах категорий, которым мы затем приписываем реальные оболочки, конкретные структуры. Объекты категории могут быть связаны между собой, влиять друг на друга, даже если у них нет общего (формального) сходства, а свойства категорий отражают сущность способностей человека, его поведения в окружении.

Функтор - обобщение понятия категории. Для введения преобразования между категориями используем понятие функтора. Функтор - аналог семантической операции, т.е. преобразования информации, приводящего к появлению некоторого смыслового (семантического) содержания.

Функтор определяется парой отображений, которые сохраняют композицию морфизмов и тождественные отображения (сохраняют смысл информации при преобразованиях): одно отображение преобразует объекты S (грубо говоря, - информацию), а другое - преобразует морфизмы M (грубо говоря, - семантический смысл).

Самый плохо формализуемый в информатике процесс - это процесс образования семантического смысла. Строгая математическая основа аппарата категорий и функторов позволяет исследовать семантический смысл математически корректно (путем построения семантических сетей, анализа фреймов, продукционных правил и др.), что является необходимым условием формализации знаний, разработки баз знаний и систем интеллектуальной поддержки принятия решений.

Категорийно-функторный подход к проблеме формализации знаний позволяет формализовать многие интуитивно используемые понятия.

Пример. Формализуем, например, понятия "формула", "теория". Формула F_i - запись вида $R_i^{(k)}(x_1, \dots, x_k)$, которую следует читать так: k переменных x_1, \dots, x_k удовлетворяют отношению $R_i^{(k)}$. В каждой i -ой формуле F_i может быть различное число свободных (не связанных) переменных. Понятие "(формальная) теория" можно определить как кортеж $T = \langle S, F \rangle$, где S - сигнатура (множество определенных, разрешенных операций), а F - множество формул без свободных переменных (аксиом теории). Если дополнительно определено и множество правил вывода P , то $T = \langle S, F, P \rangle$. Отсюда видно, что формальная теория базируется на конкретной предметной области, определяемой сигнатурой.

Для компьютерного представления и обработки знаний и данных о предметной области (об объектах, процессах, явлениях, их структуре и взаимосвязях), они должны быть формализованы и представлены в определенном формализованном виде.

При традиционном способе реализации математической модели, знаний, заложенных в ней, строится моделирующий алгоритм (моделирующая программа), т.е. знания процедурно зависят от метода (алгоритма) обработки. В интеллектуальных системах (в системах искусственного интеллекта, в частности) знания о предметной области

представлены в виде декларативной (описательной) модели формирования базы знаний и соответствующих правил вывода из нее и явно не зависят от процедуры их обработки. Для этого используются специальные модели представления знаний, например, продукционные, фреймовые, сетевые и логические. При обработке модели знаний используются процедуры логического вывода, называемые также механизмом или машиной вывода. Обычно в базе знаний зафиксированы общие закономерности, правила, описывающие проблемную среду и предметную область.

Процедуры вывода позволяют на основании общих правил вывести решение для заданной конкретной ситуации, описываемой некоторыми исходными данными. Цепочка логического вывода строится по мере приближения к решению, в зависимости от выведенных на каждом шаге данных и выведенных к этому шагу новых знаний. Конкретные формы организации дедуктивного вывода зависят от того, в какой форме представлены знания в базе знаний (на каком языке представления знаний).

Продукционная модель представления знаний наиболее распространена в приложениях. Модель реализуется правилами-продукциями:

если <условие> то <заключение>.

В качестве условия может выступать любая совокупность суждений, соединенных логическими связками и (\wedge), или (\vee).

Пример. Продукцией будет следующее правило:

если (курс доллара-растет) \vee (сезон-осень) \wedge (число продавцов-убывает)
то (прогноз цен на рынке жилья – рост рублевых цен на квартиры) .

Такого рода правила и знания о ценах, предложении и спросе на рынке жилья могут стать базой для базы знаний о рынке жилья и экспертной системы для риэлторской группы (фирмы).

Существуют две основные стратегии вывода на множестве правил-продукций:

1. прямой вывод (вывод от исходных данных-фактов, аксиом - к цели, по пути вывода пополняя исходную базу знаний новыми полученными истинными фактами; процесс заканчивается лишь тогда, когда выведен факт, эквивалентный искомому);
2. обратный вывод (вывод от целевого факта к данным, на очередном шаге отыскивается очередной факт, в заключительной части содержится факт, эквивалентный исходному факту; процесс заканчивается тогда, когда для каждого факта, выведенного на очередном шаге, не будет найдено правило, имеющее этот факт в качестве заключения, а посылками - исходные или выведенные на предыдущих шагах факты).

Обе приведенные стратегии вывода имеют недостатки, достоинства и модификации.

Пример. Если все множество правил-продукций разбито на группы по некоторому признаку (структурировано), то вместо полного или случайного перебора всех правил при прямом и обратном выводе осуществляется целенаправленный переход от одной группы правил к другой. Используются также смешанные стратегии вывода, сочетающие прямой и обратный вывод.

Продукционные модели удобны для представления логических взаимосвязей между фактами, так как они более формализованы и достаточно строгие (теоретические), модульные (продукции явно между собой не связаны, поэтому их можно модифицировать по модульной технологии), соответствуют долговременной памяти человека.

Представление знаний в виде семантической сети является одной из основных моделей представления знаний.

Семантическая сеть - это ориентированная графовая структура, каждая вершина которой отображает некоторое понятие (объект, процесс, ситуацию), а ребра графа соответствуют отношениям типа "это есть", "принадлежать", "быть причиной", "входить в", "состоять из", "быть как" и аналогичным между парами понятий. На семантических сетях используются специальные процедуры вывода: пополнение сети, наследование свойств, поиск по образцу и др.

Пример. Рассмотрим факт: "причиной неритмичной работы предприятия является старое оборудование, а причиной последнего - отсутствие оборотных средств". Семантическая сеть может содержать вершины "оборотные средства", "старое оборудование", соединяемые ребрами - отношениями типа "быть причиной".

Достоинство семантических сетей - наглядность представления знаний, с их помощью удобно представлять причинно-следственные связи между элементами (подсистемами), а также структуру сложных систем. Недостаток таких сетей - сложность вывода, поиска подграфа, соответствующего запросу.

Характерная особенность семантических сетей - наличие трех типов отношений:

1. класс - элемент класса (часть - целое, класс - подкласс, элемент - множество и т.п.);
2. свойство - значение (иметь свойство, иметь значение и т.п.);
3. пример элемента класса (элемент за, элемент под, раньше, позже и др.).

Фреймовая модель представления знаний задает остов описания класса объектов и удобна для описания структуры и характеристик однотипных объектов (процессов, событий) описываемых фреймами - специальными ячейками (шаблонами понятий) фреймовой сети (знания).

Фрейм - концентратор знаний и может быть активизирован как отдельный автономный элемент и как элемент сети. Фрейм - это модель кванта знаний (абстрактного образа, ситуации), активизация фрейма аналогична активизации этого кванта знаний - для объяснения, предсказания и т.п. Отдельные характеристики (элементы описания) объекта называются слотами фрейма. Фреймы сети могут наследовать слоты других фреймов сети.

Различают фреймы-образцы (прототипы), хранящиеся в базе знаний, и фреймы-экземпляры, создаваемые для отображения реальных ситуаций для конкретных данных.

Фреймовое представление данных достаточно универсальное. Оно позволяет отображать знания с помощью:

- фрейм-структур - для обозначения объектов и понятий;
- фрейм-ролей - для обозначения ролевых обязанностей;
- фрейм-сценариев - для обозначения поведения;
- фрейм-ситуаций - для обозначения режимов деятельности, состояний.

Пример. Фрейм-структурами являются понятия "заем", "вексель", "кредит". Фрейм-роли - "кассир", "клиент", "сервер". Фрейм-сценарии - "страхование", "банкинг", "банкротство". Фрейм-ситуации - "эволюция", "функционирование", "безработица".

Пример. Например, возьмем такое понятие, как "функция". Различные функции могут отличаться друг от друга, но существует некоторый набор формальных характеристик для описания любой функции (фрейм "Функция"): тип и допустимое множество изменений аргумента (область определения функции), тип и допустимое множество значений функции (множество значений функции), аналитическое правило связи аргумента со значением функции. Соответственно, могут быть определены фреймы "Аргумент", "Значение функции", "Закон соответствия". Далее можно определить фреймы "Тип аргумента", "Вычисление значения функции", "Операция" и др. Пример слотов для фрейма "Закон соответствия": аналитический способ задания закона; сложность вычисления (реализации). Чтобы описать конкретное значение фрейма, необходимо каждому слоту придать конкретное значение, например, таким образом:

Имя фрейма - Функция;

Аргумент - x ;

Значение функции - y ;

Закон соответствия - квадратичный.

Слоты:

Значения аргумента - R ;

Способ задания функции - $y=ax^2+bx+c$;

Сложность вычисления - 7.

Пример. Фрейм "Задача вычислительного типа" - на рис. 14.1.

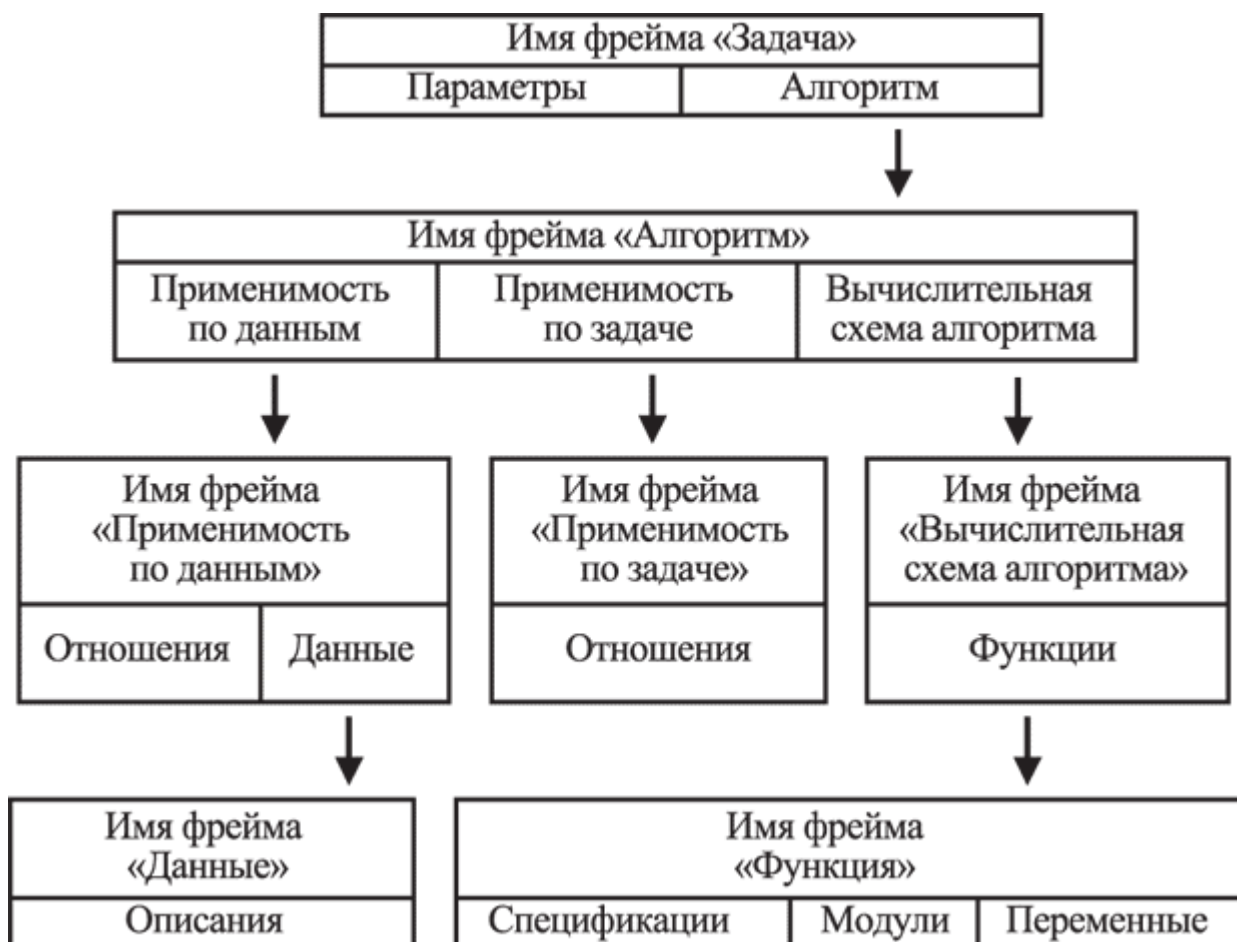


Рис. 14.1. Структура фрейма "Задача вычислительного типа"

Фреймовое представление наглядно и структурировано (модульно) и позволяет получать описание системы в виде связанных, иерархических структур (модулей - фреймов, единиц представления знаний).

Логическая (предикатная) модель представления знаний основана на алгебре высказываний и предикатов, на системе аксиом этой алгебры и ее правилах вывода. Из предикатных моделей наибольшее распространение получила модель предикатов первого порядка, базирующаяся на термах (аргументах предикатов - логических констант, переменных, функций), предикатах (выражениях с логическими операциями). Предметная область описывается при этом с помощью предикатов и системы аксиом.

Пример. Возьмем утверждение: "Инфляция в стране превышает прошлогодний уровень в 2 раза". Это можно записать в виде логической модели: $r(\text{InfNew}, \text{InfOld}, n)$, где $r(x, y)$ - отношение вида " $x=ny$ ", InfNew - текущая инфляция в стране, InfOld - инфляция в прошлом году. Тогда можно рассматривать истинные и ложные предикаты, например, $r(\text{InfNew}, \text{InfOld}, 2)=1$, $r(\text{InfNew}, \text{InfOld}, 3)=0$ и т.д. Очень полезные операции для логических выводов - операции импликации, эквиваленции и др.

Логические модели удобны для представления логических взаимосвязей между фактами, они формализованы, строги (теоретические), для их использования имеется удобный и адекватный инструментарий, например, язык логического программирования Пролог.

Модель предметной области можно определить упрощенно в виде:

<модель предметной области>=<понятийные знания>+<конструктивные знания>.

При реализации указанных выше моделей используются эвристики - эмпирические или полуэмпирические правила, с помощью которых эксперт (экспертная группа) в отсутствие алгоритма (например, задача плохо структурируема) пытается найти решение, моделируя возможный ход рассуждений эксперта на основе эвристической информации, получаемых в результате опыта, наблюдения, сбора и анализа статистики.

Пример. Сбор эвристической информации у представителей рынка приводит к следующим знаниям, которые можно представить, например, семантической сетью или продукциями:

1. нужно рекламировать свой товар активно в начальный период;
2. нужно поднимать цены в условиях отсутствия конкуренции;
3. нужно опускать цены в условиях жесткой конкуренции;
4. нужно стараться быть монополистом на рынке и др.

Многие знания, особенно находящиеся на стыке наук, трудно формализовать и описать формальными моделями, исследовать аналитически. В таких случаях часто применяют эвристики, эвристические процедуры, использующие аналогии, опыт поиска нового, исследования родственных задач, перебор вариантов с учетом интуиции.

Пример. Такими процедурами учат компьютер играть в шахматы. Шахматная программа - один из самых ранних примеров невычислительного применения ЭВМ. Если в 50-х годах она "играла" на уровне "разрядника", то за 40-50 лет она "научилась играть" на уровне чемпиона мира.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое знания, метазнания? Что такое представление знаний?
2. Что такое категория, функтор?
3. Каковы типы моделей знаний, их характеристики?

Задачи и упражнения

1. Формализуйте понятия "Решить задачу", "Решение задачи", "Метод решения задачи", "Алгоритм решения задачи".
2. Постройте одну продукционную и одну семантическую модели знаний по специальности.
3. Постройте одну фреймовую и одну логическую модели знаний по специальности.

Темы для научных исследований и выступлений (рефератов)

1. Формализованное и не формализованное знание. Методы формализации знания.
2. Модели знания.
3. Категориально-функторный анализ и его применения.

15. Лекция: Новые технологии проектирования и анализа систем

Обзор и классификация новых информационных технологий, наиболее актуальных для анализа и моделирования систем, примеры, тенденции развития технологий.

Цель лекции: содержательное введение в ряд наиболее важных для системного анализа и моделирования новых информационных технологий, в основные тенденции развития новых информационных технологий.

Процесс извлечения (получения) информации строится на основе упорядоченных последовательных действий по сбору, накоплению, отражению, преобразованию, актуализации данных; такие процессы в информатике называются информационными технологиями, и их основными элементами являются технические средства и устройства, например, в телеграфе - телетайпное устройство, в телевидении - телевизор и т.д.

Новые информационные технологии - это информационные технологии, базирующиеся на новых, инфологических и компьютерных средствах получения, хранения, актуализации информации, знаний.

Высокие технологии - это технологии качественного изменения состава, характера, методов решаемых задач, технологии эволюции, а не функционирования.

Пример. Обычная ("старая") технология вычислений ставит основную цель - найти решение задачи за приемлемое время и стоимость. Новая технология использования математических компьютерных пакетов ставит новую цель - найти решение достаточно быстро, точно и экономично. Высокая технология распределенных, квантовых вычислений ставит цель - найти решение задачи, не решаемой (труднорешаемой) обычными технологиями.

В узком понимании, новая информационная технология - использование вычислительной техники и систем связи для создания, сбора, передачи, хранения, обработки информации; она - часть информационного бизнеса.

Любая технология базируется на научно-теоретическом, инженерно-техническом, программном обеспечении. Само по себе это ядро еще не образует технологию. Для этого оно должно быть интегрировано и поддерживаемо сетевыми пространственно-временными, организационно-людскими связями и отношениями. Должна быть система, сеть поддержки технологических отношений (TSN).

Пример. TSN системы дистанционного обучения состоит из инфраструктуры - компьютерных сетей, протоколов их взаимодействия и т.д. Хаб (маршрутизатор) - элемент этой системы, но он управляется своим программным обеспечением (например, программа переключения), своим электрическим обеспечением. Хаб сам по себе - не технология. Программа Word - сама по себе не технология (хотя ее часто называют технологией подготовки и редактирования документов), а элемент технологии, определяемой как MS Office - технологии автоматизированного, компьютеризованного делопроизводства, автоматизации работ в офисе.

Традиционная (классическая) информационная технология, как правило, строится на базе хорошо формализуемых, структурируемых интеллектуальных процедур. Новая

информационная технология, как правило, строится на основе плохо формализованных и структурированных интеллектуальных процедур.

Цивилизация возможна только при наличии информации, информационных потоков и обменов в обществе.

Информация делает народы человечеством.

Сначала информационные технологии использовались, из-за их сложности, уникальности и дороговизны, только в научных центрах и крупных промышленных компаниях. По мере совершенствования, распространения и удешевления, информационные технологии проникли в разные отрасли и стали развивать их и развиваться сами, что привело к развитию потребностей общества.

Новые информационные технологии бывают следующих базовых типов:

- когнитивные технологии, направленные большей частью на получение, хранение и актуализацию знаний, принятие интеллектуальных решений;
- инструментальные технологии, направленные большей частью на использование в качестве инструментария, среды для построения других технологий и для обслуживания их;
- прикладные технологии, направленные большей частью на решение проблем некоторой проблемной области (или областей);
- коммуникативные технологии, направленные большей частью на решение проблем связи, коммуникаций, общения.

Отметим, что такое деление - весьма условное - и технология может с успехом быть и прикладной, и когнитивной, и инструментальной, и коммуникативной.

Пример. Такова, например, технология компьютерного моделирования, гипермедиа.

Возможно деление (также условное) информационных технологий и по сфере использования, например:

- информационные технологии в науке;
- информационные технологии в образовании;
- информационные технологии в проектировании и производстве;
- информационные технологии в управлении;
- информационные технологии в сфере услуг;
- информационные технологии в сфере быта.

Можно также условно разбить все новые технологии на две группы - технологии корпоративной работы и технологии индивидуальной работы.

Рассмотрим новые информационные технологии, ограничиваясь содержательным простым их обзором, с учетом того, что наиболее важные информационные технологии анализа и синтеза систем - математическое и компьютерное, имитационное моделирование - уже были нами рассмотрены выше. Отметим лишь, что математическое моделирование - "старая" информационная технология, в отличие от компьютерного моделирования, являющегося новой технологией.

1. Технология баз данных (БД) и систем управления БД (СУБД). БД - достаточно большие наборы структурированных данных некоторой предметной области, представленные на машинных носителях и имеющие общую и удобную структуру, единые организационно-методические, программно-технические и языковые средства обеспечения использования данных различными программами пользователей. В зависимости от способа и технологии представления данных, различают иерархические, сетевые или реляционные базы данных, табличные или страничные. В любой БД задается порядок (отношение порядка) на множестве записей (полей записи), например, ключевыми полями, содержимое которых нумеруемо, лексикографически упорядочено. Таких полей может быть несколько, и при сортировке (выборке, модификации) данных записи ищутся сперва по одному ключу, затем - по другому и т.д., пока не будет совпадения или несовпадения требуемых полей. Остальные поля при этом не сравниваются. Такой процесс называется сортировкой или поиском, сравнением по ключу (ключам). Кроме поиска по ключу, можно искать и по значению, перебирая все записи БД, но этот процесс более длителен и часто требует построения дополнительных вспомогательных индексных таблиц для хранения подходящих по поисковому образцу значения записей (если такие есть).

В последнее время распространяется технология удаленных БД. Она базируется на коллективном доступе пользователей к информационным ресурсам, сосредоточенным на едином компьютере, или хост-компьютере, в диалоговом режиме по сетям передачи данных. Информационными продуктами здесь выступают БД разных предметных областей, а также различные директории, рубрикаторы и другие данные, облегчающие пользователю поиск по БД. Информационные услуги предоставляются благодаря наличию разнообразных средств поиска, обработки и выдачи информации. Информационные продукты и программные средства служат главными элементами банков данных или автоматизированных банков данных (АБД) - основной организационной формы, в которой развиваются современные технологии коммерческого распространения информации. Основными особенностями данной технологии, определяющими ее достоинства и ее недостатки, являются:

- предоставление пользователю только информационных услуг, а не непосредственно информационных продуктов, в результате чего он получает (оплачивает) только действительно нужную информацию;
- полнота информации, связанная с загрузкой на мощные хост-компьютеры больших массивов данных;
- высокая скорость обновления, модификации и перемещения информации;
- развитое программное обеспечение, позволяющее не только находить и получать информацию, но и при необходимости осуществлять ее графическую, наукометрическую и эконометрическую обработку.

Интерактивные услуги АБД могут предоставляться в режимах:

- локальном, когда работа пользователя осуществляется с терминала, подключенного к хост-компьютеру;
- удаленном, когда работа пользователя осуществляется с физически удаленного от хост-компьютера терминала по сетям связи.

Пример. В локальном режиме работают читатели библиотеки, осуществляющие поиск в АБД, который расположен на ее вычислительном центре, с терминалов по всему помещению библиотеки. В удаленном режиме можно работать, например, с библиотекой Конгресса США.

СУБД (DBMS - DataBase Management System) - программная система, обеспечивающая общение (интерфейс) программ пользователя и данных из БД. Это общение происходит на специальном непроцедурном языке логического представления данных и структур данных; сами данные описываются средствами также специального языка представления данных, программы пользователя при этом могут быть написаны на языке программирования. СУБД должна иметь средства, позволяющие сформулировать запрос к БД (поиск, сортировка и т.д.) на языке, близком к естественному и понятному для пользователя, но в то же время формальном, реализованном на ЭВМ языке. Такие языки называются языками запросов к базам данных и относятся к языкам непроцедурного типа.

Основные функции СУБД:

- управление данными во внешней памяти - обеспечение необходимых структур внешней памяти для хранения данных и манипулирования ими;
- управление буферными областями памяти - обеспечение копирования необходимой части БД в области (буфере) оперативной памяти, а также использование определенных правил манипулирования с буферами;
- управление транзакциями, т.е. последовательностями операций над БД, рассматриваемыми СУБД как одна макрооперация; каждая транзакция не изменяет БД, а, следовательно, можно выполнять различные транзакции, т.е. организовывать многопользовательскую работу с БД через СУБД, в том числе и параллельную;
- поддержание надежности хранения данных в БД через избыточность данных и журнал (часть БД, недоступная пользователям СУБД и тщательно копируемая; в нее поступают записи обо всех изменениях БД) с целью сохранения данных при сбоях аппаратуры или программы;
- поддержка языков БД (языков определения логической структуры БД, языков манипулирования данными) или единого интегрированного языка, содержащего необходимые средства для работы - от проектирования БД до обеспечения базового пользовательского интерфейса с БД.

Пример. База данных ГИБДД всех владельцев автотранспорта, из которой по запросам сотрудников ГИБДД можно оперативно извлечь, например, данные о владельце машины по номеру ее госрегистрации.

2. Технологии хранилищ данных и интеллектуального анализа данных. Хранилище данных - очень большая специализированная БД и программная система, предназначенная для извлечения, коррекции (чистка, правка) и загрузки данных из источников в БД с многомерной структурой, включая средства упрощения доступа, анализа с целью принятия решения. Интеллектуальный анализ данных (Data Mining) - автоматический поиск скрытых ("не лежащих на поверхности") в больших базах данных взаимоотношений и связей с помощью математического и инфологического анализа, выделения трендов, кластеризации (кластерного анализа), классификации и распознавания (таксономии), шкалирования и т.д. Специальные модели и алгоритмы анализа извлекают из больших баз данных (или из других хранилищ данных, например, электронных таблиц) знания, позволяющие агрегировать, интегрировать и детализировать эти данные и, самое главное, принимать на их основе решения. Это, по сути, идентификация скрытых в них зависимостей.

Пример. Хранилища данных собирают и централизуют текущую информацию о состоянии дел корпорации, о ее услугах, клиентах, поставщиках, и предоставляют аналитические и отчетные инструменты. С помощью анализа финансовых отчетов фирм, можно разбить их на классы по финансовой устойчивости, по вероятности банкротства,

что поможет банку-кредитору осуществлять политику их кредитования более эффективно. Интеллектуальный анализ данных в геоинформационных системах может помочь обнаружить и визуализировать участки земной коры с залежами нефти, газа, сейсмоопасные. В бизнесе такой анализ может осуществляться для оценки надежности клиентов, выявления мошенничества, интерактивного маркетинга, анализ трендов и др. т.е. для Business Intelligence.

3. Технология баз знаний (БЗ) и экспертных систем (ЭС). БЗ - накопление, структурирование и хранение с помощью ЭВМ знаний, сведений из различных областей таким организованным способом, что можно иметь доступ к этим знаниям, расширять их, получать, выводить новые знания и т.д.

Пример. БЗ по хирургическим операциям брюшной полости, из которой молодой и неопытный хирург в экстренной хирургической ситуации может извлечь необходимую информацию об операции; сама же БЗ разработана на основе знаний высокопрофессиональных и опытных хирургов.

ЭС - накопление опыта, знаний, умений, навыков высокого уровня профессионалов-экспертов, структурирование и хранение, актуализация с помощью ЭВМ с целью получения экспертных суждений по различным проблемам данной области.

Пример. Примером ЭС "Хирург" может быть экспертная система, построенная на основе приведенного выше примера БЗ. БЗ и ЭС тесно связаны. Примером другой ЭС может быть система "Таможня", которая дает возможность анализировать документацию о финансовых сделках, находить и выдавать подозрительные факты, исследовать их связи и давать рекомендации финансовым инспекторам.

4. Технология электронной почты и телекоммуникационного доступа к удаленной от пользователя информации, носителю информации, собеседнику - человеку или компьютеру. Электронная почта - система передачи сообщений с помощью компьютера отправителя и приема их с помощью компьютера получателя. При этом сообщение отправителя преобразуется из цифровых кодов, например, с помощью модема, в коды электромагнитных колебаний, передаваемых по телефонным каналам, а ЭВМ адресата производит обратное преобразование. Развитие сетей связи - виртуальные локальные вычислительные сети, объединяющие пользователей не по территориальному принципу, а по профессиональным интересам. Телеконференция - обмен сообщениями (докладами) между участниками (подписчиками) конференции, анонсированной на специальной доске объявлений в сети, в частности, на электронной доске объявлений. Телеконференция представляет собой технологию на базе программных средств интерактивного доступа к ресурсам сети и предназначена для обсуждения какой-либо тематики. С помощью телеконференций можно проводить консалтинг, обучение, совещание, автоматизацию офиса и др. Базовая система проведения видеоконференций обычно включает: мощную рабочую мультимедийную станцию; видеокамеру и специальную плату для сжатия видеоинформации; микрофон и видеомэгнитофон; средства сопряжения с используемой для проведения конференции сетью. Телеконференции могут проводиться как в режиме обмена письмами по электронной почте (режим почтового подключения), так и в режиме терминального интерактивного подключения через телекоммуникационные сети. В режиме терминального подключения пользователь может иметь доступ (подписку) к целой системе телеконференций, но, в отличие от режима почтового подключения, можно подключаться к заявленной конференции непосредственно в сети, с помощью специальных программ, управляющих работой пользователей с телеконференциями. Эти программы позволяют выполнять следующие манипуляции: найти конференцию;

подписать на конференцию (зарегистрироваться); перейти в конференцию; послать отклик (доклад); получить отклик (доклад); закрыть подписку и другие.

Пример. Рассмотрим медицинские видеоконференции (один из наиболее убедительных и ярких социально-экономических примеров использования телеконференции). В крупных больницах и клиниках сейчас имеется современное медицинское оборудование - томографы, эхокардиографы и др., а также достаточно высококвалифицированный медицинский персонал, с помощью которых в режиме видеодиалога (конференции) врачи из региональных (вплоть до районных) медицинских учреждений могут обсудить результаты диагностики больного, диагноза, методов и стратегий лечения. Проблема "приближения" этих средств и кадров особенно актуальна для нашей страны, с ее большой территорией. Основные направления использования медицинских телеконференций:

- первичное консультирование дооперационных больных и уточнение предварительного диагноза, анализ обследования;
- послеоперационные консультации и наблюдение больных;
- срочные неотложные консультации больных в критических ситуациях;
- консилиумы и консультации, обмен мнениями врачей.

Технология проведения медицинской видеоконференции:

- согласование времени проведения видеоконференции (сеанса связи);
- подготовка информации о пациенте (файлов записей из историй болезни, статических данных, например, рентгенограммы, эхокардиограммы и др., и динамических, например, видеозаписи операций и результатов анализа);
- предварительная пересылка данных по электронной почте;
- обсуждение в режиме видеодиалога информации о больном и диагноза;
- принятие решения, а также документирование результатов обсуждения.

В Научном центре сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева РАМН проведено множество плановых и экстренных видеоконсультаций. Экономическая и социально-медицинская выгода от таких видеоконференций в 6-10 раз выше, чем от классической технологии проведения консультаций с выездом в клинику (что иногда невозможно).

5. Технология (использования) автоматизированных систем (АС) и автоматизированных рабочих мест (АРМ). АС - это человеко-машинная система для исполнения ежедневных, часто рутинных, профессионально выполняемых на рабочем месте сотрудника работ - с целью уменьшения затрат времени, сокращения числа ошибок и обеспечения оперативной связи с другими сотрудниками; интеллектуальные системы имеют также способность к перестройке технологической цепочки, они способны и к обучению.

Возможны различные системные цели автоматизации (в зависимости от типа организации, структуры): эффективное управление потоками материальных, трудовых, информационных, энергетических ресурсов, повышение социальных, экономических и технических показателей системы и других систем (для управляющих систем); минимизация риска невыполнения планов и максимизация качества принятых решений, повышение конкурентоспособности, рентабельности (для производственных систем); получение новых знаний, повышение престижа в области инноваций, расширение сферы использования результатов исследования, создание "ноу-хау", обеспечение экономической эффективности (для научно-исследовательских организаций); минимизация риска невыполнения заказа или услуг, повышение конкурентоспособности,

повышение экономической эффективности функционирования (для обслуживающих организаций); повышение престижа, совершенствование учебного процесса, переход к новым формам обучения, к дистанционному образованию (для образовательных организаций).

В последние годы распространилась концепция корпоративных и распределенных систем в народном хозяйстве, в которых широко используются локальные информационные системы. Для реализации идеи распределенного управления необходимо создание автоматизированных рабочих мест на базе профессиональных компьютеров (рабочих станций).

АРМ - предметно-ориентированная инструментальная АС, устанавливаемая непосредственно на рабочем месте специалиста и предназначенная для автоматизации профессиональной деятельности (сидящего за этим рабочим столом сотрудника). Можно их определить как автоматизированные системы локального характера, соответствующие некоторому функциональному назначению. Несмотря на различный характер задач, решаемых с помощью АРМ, принципы создания любых АРМ должны быть общими:

- системность, во-первых, подхода к проектированию и решению задач и, во-вторых, возможность работы в составе сети, системы;
- гибкость, приспособляемость, адаптируемость к изменениям задач;
- устойчивость, надежность в работе, восстанавливаемость при сбоях;
- эффективность (по затратам, повышению производительности труда);
- быстрота отклика - минимум времени на каждый шаг диалога с пользователем;
- полнота выполняемых функций, решаемых профессиональных задач;
- интерактивность - возможность вмешиваться в диалог, выбирать следующий шаг диалога, например, в форме команд на специальном командном языке, в форме выбора объектов, в форме "меню", в смешанной форме;
- функциональность, дружелюбность, эргономические характеристики и удобство использования, в частности, ориентация на непрофессионала в области компьютерной подготовки

и др.

Пользовательский интерфейс АРМ часто организуется с помощью понятия рабочего стола на экране. Экран делится на три части (три объекта). Первая (обычно верхняя часть) - строка меню, с ее помощью осуществляется доступ к другим объектам. Вторая часть (обычно нижняя часть) называется строкой состояния, с ее помощью быстро вызываются наиболее используемые объекты или отображается важная текущая информация. Третья часть (основная, средняя часть экрана) называется рабочей поверхностью (поверхностью стола), с ее помощью отображаются все объекты, вызываемые из меню или из строки состояния. Такая форма организации диалога человека и машины наиболее удобна, и многие программы используют именно ее. Программные средства АРМ - часть инструментального программного обеспечения.

Пример. АРМ секретаря-референта должен включать редактор текстов, электронную таблицу, переводчики, органайзер и др. АРМ студента-экономиста должен иметь электронные учебники по изучаемым дисциплинам, обучающие программы и среды, электронные справочники и энциклопедии, переводчики, органайзер и др. АРМ администратора базы данных должен быть оснащен СУБД, электронным журналом администратора и др. АРМ управляющего должен обладать средствами описания управленческой деятельности в виде сетевого графика, системой контроля исполнения,

системой согласования документов, системой электронной подписи, системой ведения совещания и др. АРМ статистика (работника статистической службы) должен включать информационно-справочные базы и материалы, средства его обслуживания и поддержки, средства анализа статистических данных для оперативного составления докладов, справок и отчетов, в частности, для анализа динамических рядов и проверки статистических гипотез. АРМ банковского служащего и банковские системы, - наиболее развиваемые системы. Они содержат программное и техническое обеспечение как специального назначения (например, для банковских расчетов и операций с банкоматами), так и для обеспечения безопасности таких систем. Банковские системы используют локальные вычислительные сети, специализированные бизнес-серверы, ЭВМ общего назначения, технологию "клиент-сервер" и, часто, ОС UNIX, объединение нескольких локальных сетей, межсетевой обмен и удаленный доступ филиалов банка к ресурсам центрального офиса банка для выполнения электронных платежей, транзакций. Банковские системы должны иметь средства адаптации к конкретным условиям эксплуатации. Для поддержки оперативной работы банка, банковская система должна функционировать в режиме реального времени OLTP (On-Line Transaction Processing, Онлайновая Обработка Состыкровок). Основные их функции:

- автоматизация всех ежедневных внутрибанковских операций, ведение бухгалтерии и составление сводных отчетов;
- обеспечение связей с филиалами и отделениями;
- автоматизированное взаимодействие с клиентами (система "банк-клиент");
- анализ деятельности банка и выбор оптимальных в данной ситуации решений;
- автоматизация розничных операций - применение банкоматов и кредитных карточек;
- межбанковские расчеты;
- автоматизация деятельности банка на рынке ценных бумаг (мониторинг курсов, объемов сделок и т.д.);
- оперативная информационная поддержка финансовой и кредитной политики банка.

Необходимо отметить, что автоматизация учреждения, организации заключается не только в обеспечении работников АРМ локальной сетью, электронной почтой и т.п., но и в создании новой технологии совместной работы и управления с целью эффективной работы всего учреждения. Это своего рода информационная, экономическая (корпоративная) культура совместной работы, использования (актуализации) профессиональных знаний, умений и инноваций. При этом знания каждого сотрудника могут быть актуализированы другими сотрудниками, обсуждены (проголосованы) и применены ими.

6. Технологии компьютерного (компьютеризированного) офиса коллективной работы в офисе. Компьютерный офис - офис, в котором имеется высокий уровень компьютеризации, внедрения АРМ, систем делопроизводства, так, что вся профессиональная деятельность офиса может быть успешно автоматизирована.

Пример. Компьютерный офис - это, например, офис, где работа осуществляется с использованием локальных сетей связи и интегрированной программной среды Microsoft Office, которая включает в себя все основные программные пакеты для выполнения типовых и регулярно выполняемых операций, работ в офисе, в частности, ведение делопроизводства, контроль исполнения и др. Microsoft Office имеет встроенный простой язык программирования - Visual Basic for Applications (VBA). Этот язык позволяет создавать новые приложения или корректировать и связывать старые, выполняемые в

среде Microsoft Office, а также расширять возможности офиса, его используемых приложений. Стандартное ядро Microsoft Office включает:

- редактор текстов Microsoft Word (функции редактора - набор, именование и сохранение текста, модификация, переименование и перемещение текста или его отдельных фрагментов, вставка различных формул, графиков, таблиц, диаграмм и др.);
- электронную таблицу Excel (функции - обработка, хранение и модификация в произвольных таблицах чисел, строк, столбцов, формул, по которым динамически изменяются числа, строки и столбцы);
- систему для презентаций (презентационный пакет) PowerPoint (функции - создание и проецирование на большом экране электронных презентаций, слайд-шоу, ярких пленок для проектора, раздаточных печатных материалов);
- систему управления базами данных Access (реляционная СУБД, доступная любому пользователю и позволяющая быстро и эффективно организовывать, анализировать, перемещать, вести поиск и т.д. для больших массивов информации, без дублирования информации в них), например, по шаблонам создания базы данных: Адресная книга - создает базу данных типа адресной книги, Библиотека - создает базу данных типа библиотеки, Контакты - создает базу данных типа контактных связей и др.

Более совершенные версии Microsoft Office-97, -2000, кроме приведенных стандартных приложений, имеют и следующие приложения:

- Office Assistant - помощник для подсказок;
- HTML- и Web-поддержку (Internet Assistants);
- различные программы-помощники (Graph - графическое представление данных, Organization Chart - создатель штатного расписания офиса, Equation Editor - редактор формул, WordArt - создатель логотипов, заголовков, ClipArt Gallery - для просмотра рисунков) и др.

В состав Microsoft Office-2000 входят, и в ее дальнейшие модификации будут входить, возможности одновременного показа презентаций по локальной сети, использование возможностей системы распознавания речи, визуальные среды разработки различных офисных приложений (например, заполнения платежных поручений), сайты рабочих групп, системы визуализации данных, система сканирования и ввода данных и др.

Технология "Рабочая группа" - технология совместной работы нескольких связанных между собой общими информационными ресурсами компьютеров ("рабочей группы"), объединенных для решения какой-либо общей задачи.

Пример. Типы рабочих групп: "Дирекция", "Бухгалтерия", "Канцелярия". Компьютерная сеть организации может объединять несколько рабочих групп. У каждого компьютера рабочей группы имеется идентификатор, имя в группе, например, по ФИО человека, на нем работающего. В рабочей группе "Бухгалтерия" может существовать компьютер (рабочее место) "Главбух" или "Иванов Сергей Николаевич".

Рабочая группа может быть и временной - для работы над конкретным проектом в пределах определенного промежутка времени.

Пример. Можно организовать рабочую группу "Презентация фирмы", которая состоит из компьютеров сотрудников фирмы, подготавливающих презентацию своей фирмы, или

"Годовой отчет" - для подготовки годового финансового отчета фирмы. Все эти люди могут работать в разных отделах, но они составляют временную рабочую группу, чтобы было легко обмениваться информацией общего доступа при работе над отчетом.

Обмен информацией может происходить и между рабочими группами. Для этого не нужно физически перемещать компьютеры: чтобы сформировать рабочую группу, достаточно присвоить всем компьютерам, входящим в состав группы, ее имя.

Пример. Операционная система Windows for Workgroups позволяет выделение компьютеров в рабочие группы при ее инсталляции. Изменять состав и структуру рабочей группы затем можно из "Панели управления", запустив прикладную программу Network (сеть). При этом все компьютеры одной сети, независимо от их объединения в рабочие группы, имеют доступ к общим принтерам и общим файлам, а такие приложения как Mail (Электронная почта), Shchedule+ (Ежедневник), работают только в пределах одной рабочей группы. Передача почты через Mail возможна только в пределах одной рабочей группы. Как правило, в небольших фирмах имеется одна рабочая группа.

Технология (модель взаимодействия) "Клиент-сервер" - это технология взаимодействия компьютеров в сети, в которой каждый из компьютеров имеет свое рабочее назначение. Один, более мощный, компьютер (сервер) в сети владеет и распоряжается информационными и аппаратными ресурсами (процессор, файловая система, почтовая служба, база данных и др.), другой, менее мощный ("клиент"), имеет доступ к этим ресурсам лишь через сервер.

Этот принцип распространяется и на взаимодействие программ и информационных сред. Программа (среда), выполняющая предоставление соответствующего набора услуг - "сервер", а программа (среда), пользующаяся этими услугами - "клиент". Технология традиционной модели "клиент-сервер" модернизируется и совершенствуется.

Пример. Сейчас говорят уже о принципиально иной концепции взаимодействия между элементами сети peer-to-peer (P2P), позволяющей отдельным компьютерам работать друг с другом напрямую.

7. Технологии использования интегрированных пакетов прикладных программ (ППП) - технологии на базе специальным образом организованных комплексов программ для решения различных классов однотипных и часто встречающихся задач из различного типа предметных областей. Современные ППП имеют диалоговую, интерактивную обратную связь с пользователем в процессе постановки задачи, решения и анализа результатов. При решении задач применяют обычно используемый в предметной области интерфейс. "Интеллектуальность" ППП - возможность постановки задачи содержательно, не указывая алгоритма ее решения. Построение алгоритма решения и сборка целевой программы производятся автоматически и скрыто от пользователя. Предметное обеспечение ППП - база знаний о методах, алгоритмах решения задачи и о самих задачах. Программирование осуществляется в терминах предметной области, ЭВМ используется уже на этапе постановки задачи, решение задач - с помощью автоматического построения цепочки программ, по ходу накопления знаний о решаемой задаче, т.е. возможно пополнение базы знаний ППП. Используются инструментальные ППП, которые ускоряют и упрощают процесс создания ППП и снижают его стоимость. Для этого метода характерна высокая интеграция: наполнение ППП само состоит из ППП различного назначения.

Пример. В качестве примера интегрированного ППП приведем пакет MathCAD, предназначенный как для сложных математических вычислений, так и для несложных (в режиме инженерного калькулятора).

8. Технологии машинной графики и визуализации - технологии, базирующиеся на системах рисования и черчения различных графических объектов и образов с помощью ЭВМ и устройств рисования (например, плоттеров), а также их визуального, наглядного представления. Особо следует отметить средства анимации - "оживления" изображений на экране, т.е. методы и средства создания динамических изображений, иначе говоря - компьютерных мультфильмов.

Пример. Примером средств машинной графики может служить программный комплекс изображения пространственных объектов и их динамической актуализации - пакет "3D-Studio". Этот пакет позволяет не только создавать трехмерные сцены, но и использовать их при реализации компьютерных анимационных ситуаций (мультипликаций) с использованием различных графических файлов разных форматов, что дает возможность применять при разработке мультфильмов известные графические пакеты: CorelDraw, PhotoPaint и др. 3D-Studio имеет модульную структуру, состоящую из пяти модулей, за каждым из которых закреплены задачи конкретного типа, решаемые в строгой последовательности. Первый модуль (2D-Shaper) является основным инструментом создания и редактирования плоских фигур, а также снабжения других модулей особыми геометрическими структурами, формами и траекториями. Для преобразования плоских фигур в трехмерные каркасные объекты имеется модуль 3D-Lofter, в который включены мощные средства генерации сложных пространственных форм и структур. Подготовленные двумерные планы моделей отображаются ("выдавливаются") в третье измерение по специально заданным траекториям. Модуль 3D-Lofter снабжен средствами деформации, например, по осям, что позволяет создавать трехмерные объекты более сложных форм. Можно построить 3D-фигуру по трем проекциям на координатные плоскости.

Современные технологии 3D-графического моделирования позволяют строить полные трехмерные объекты по их эскизам.

Пример. Программная среда LightWave Modeler, позволяет, используя соответствующие графические примитивы, формировать графический персонаж, который легко анимируется по желанию (масштаб, направление, цвет и т.п.) пользователя.

9. Гипертекстовые технологии. Гипертекст (Hypertext - "сверхтекстовая, надтекстовая".) - эта технология на базе средств обработки больших, глубоко вложенных, структурированных, связанных семантически и понятийно текстов, информации, которые организованы в виде фрагментов (текста), которые относятся к одной и той же системе объектов, расположенных в вершинах некоторой сети и выделяемых обычно цветом; они дают возможность при машинной реализации быстро, нажатием нескольких клавиш, вызывать и помещать в нужное место просматриваемого или организуемого нового текста заданные фрагменты гипертекста, т.е. тексты, "привязанные" к выделенным по цвету ключевым словам или словосочетаниям; гипертекстовая технология позволяет определять, выбирать вариант актуализации информации гипертекста в зависимости от информационных потребностей пользователя и его возможностей, уровня подготовки, т.е. жестко и заранее не определяет сценарии диалога. При работе с гипертекстовой системой пользователь может просматривать документы (страницы текста) в том порядке, в котором ему это больше нравится, а не последовательно, как это принято при чтении книг, т.е. гипертекст - нелинейная структура. Достигается это путем создания специального

механизма связи различных страниц текста при помощи гипертекстовых ссылок, т.е. кроме линейных ссылок обычного текста типа "текст-предшественник - текст-преемник", у гипертекста можно построить еще сколь угодно много других динамических ссылок, ассоциированных с документом в целом или только с отдельными его фрагментами, т.е. контекстные ссылки.

Пример. Примерами гипертекстов могут быть электронные журналы.

10. Средства и системы мультимедиа (multimedia) и гипермедиа (hypermedia). Медиа - "среда или носитель информации". Мультимедийность, многосредность - актуализация различных сред и чувств восприятия информации: средства озвучивания, оживления - мультипликации, графического и наглядного представления входных и выходных данных задачи и сценариев решения или даже самого решения.

Пример. Примерами средств мультимедиа могут служить звуковые карты (Sound Blaster) для генерирования на ЭВМ широкого диапазона звуков, активные звуковые колонки для их передачи и устройства считывания информации с компакт-дисков - CD-ROM, позволяющие считывать большие объемы информации, например, некоторую сложную и длительную музыкальную композицию, а затем воспроизводить с использованием предыдущих двух средств мультимедиа.

Средства гипермедиа - средства на основе синтеза концепции гипертекста и мультимедиа, т.е. в гипертекстовые фрагменты могут быть "встроены" мультимедийное сопровождение, мультимедийные приложения: hypermedia=hypertext+multimedia.

Пример. Глобальной гипермедийной системой является WWW (Word Wide Web - "Всемирная Паутина") - система навигации, поиска и доступа к гипертекстовым и мультимедийным ресурсам Интернет в реальном масштабе времени. Глобальной ее можно считать потому, что, в отличие от обычного (локального) гипертекста, ссылка на документ в нем (осуществляемая одним или несколькими щелчками мыши) может привести не только к другому документу (как в локальном гипертексте), но и к другому компьютеру (WWW-серверу), возможно, в другом полушарии. Работа ведется с помощью универсальной программы-клиента, которая позволяет объединить в единое целое клиента и сервер. Для доступа к WWW-серверу (информации на нем) необходимо знать адрес сервера, например, адрес <http://www.mark-itt.ru> - сервер со списком российских WWW-серверов, http (HyperText Transfer Protocol) - протокол работы с гипертекстом. Имеется система автоматического поиска по определенным ключам (запросам, разделам). Информация в WWW представлена в виде гипертекстового документа, включающего в себя различные типы данных (текст, графика, видео, аудио, ссылки на другие гипертекстовые документы и т.д.). Такие документы называют WWW-страницами (WWW-pages). Эти страницы просматриваются с помощью браузеров, специальных программ для навигации по сети. Страницы хранятся на компьютерах-узлах сети, которые называют сайтами (site). Каждый компьютер имеет свой уникальный IP-адрес URL (Uniform Resource Locator - универсальный локатор ресурсов), с помощью которого браузер знает, где находится информация и что надо с ней делать. Страница - основной элемент WWW. На них находится та информация, которую мы ищем в сети, или ссылки на эту информацию. Страницы, гипертекст - это легкая и быстрая в использовании, чрезвычайно мощная система связанных ключевых слов и фраз (ссылок), позволяющая ссылаться на другие ключевые слова и фразы других страниц. Эти ссылки обычно выделены другим цветом, и достаточно просто щелкнуть мышкой по выделенной ссылке, чтобы перейти к информации, на которую отсылает эта ссылка. Для создания гипертекстовых приложений (например, личной WWW-страницы) используется

специальный язык HTML (HyperText Markup Language), позволяющий создавать гипертекстовый документ в любом текстовом редакторе формата ASCII, с подключением графических файлов двух основных форматов GIF, JPEG.

По мнению ряда исследователей, следующей после Web формой коллективного сосуществования компьютеров будет Grid, которая даст пользователям больше возможностей для работы с удаленными машинами. Если World Wide Web можно сравнить с аналоговой телефонной сетью, способной передавать тексты, аудио и видео, то Grid подобна современной системе электроснабжения, предоставляющей потребителям столько ресурсов, сколько им необходимо. В настоящее время в ЦЕРНе ведутся работы по определению стандартов для Grid. Так же, как и WWW, новая концепция, в первую очередь, будет востребована в исследовательских кругах. Ученые с помощью Grid будут получать доступ к ресурсам, необходимым для решения их задач. Архитектура Grid трехслойна: интерфейс, слой приложений и операционная система Grid, позволяющая подключить пользователей к распределенным ресурсам.

11. Нейро-математические и нейро-информационные технологии и сети. Нейротехнологии - технологии на базе моделей, методов, алгоритмов, программ, моделирующих, имитирующих нейронные сети и процессы решения задач искусственного интеллекта; позволяют эффективно реализовывать параллелизм, самообучение, распознавание и классификацию, адаптивность, перестройку структуры, топологии.

Пример. Идентификация личности в криминологии; выбор управляющих воздействий в сложных системах; геологоразведка; диагностика в сейсмологии. Нейросистема VNS-736, например, позволяет обрабатывать (распознавать) изображения размером 512_512 элементов.

Пример. Одним из распространенных зарубежных нейросистем является пакет Brain Maker. Пусть необходимо решить задачу прогноза цены закрытия на сегодняшних торгах по валютным тысячедолларовым трехмесячным фьючерсным контрактам. Пусть нас устраивает точность прогноза, при которой правильно указывается ценовой тренд (подъем, спад) и изменение цены с точностью не ниже 90% от последнего скачка. Применение нейронной сети начинается с подготовки входных данных: курс доллара, индекс инфляции, ставка межбанка, биржевые индексы, объем торгов, количество сделок, максимальные и минимальные цены и др. После предварительной настройки сети начинается итерационный процесс обучения, в результате которой нейросеть настраивает свою логическую структуру для точной реакции рынка на те или иные воздействия. Для этого в пакете Brain Maker предусмотрен мощный аналитический блок, который позволяет увидеть, какие параметры оказывают позитивное влияние на ситуацию, а какие - негативное. Затем сеть снова обучается и далее тестируется на качество и адекватность, и после удачного тестирования используется для прогнозов. За десять биржевых дней сеть ни разу не ошиблась в знаке отклонения фьючерсных котировок, а девять дней из десяти отклонение прогноза от реальной цены составило менее 10 рублей. BrainMaker - это программа, с которой началась история применения нейронных сетей в России. В этом пакете на профессиональном уровне реализована классическая многослойная нейронная сеть. Это единственная программа, в которой есть возможность настройки всех параметров нейронных сетей и алгоритмов обучения. В последнее время BrainMaker чаще всего используется не как самостоятельная программа, а как надстройка к программе TradeStation для анализа в режиме реального времени. NeuroShell, хотя и является универсальной программой, но благодаря тому, что она была первой русифицированной нейросетевой программой с удобным интерфейсом, ей удалось завоевать широкое распространение на российском рынке. Для решения финансовых задач NeuroShell имеет

модуль рыночных индикаторов, позволяющий использовать более 20 индикаторов технического анализа при работе с нейросетью.

Пример. Известное семейство российских программ NeuroScalp построено по модульному принципу. Базовым модулем является модуль классического технического анализа, в который интегрируются дополнительные модули, реализующие различные методы анализа финансовых рынков. В настоящее время доступны следующие дополнительные модули: "Экспертный модуль, российский рынок акций" - модуль, содержащий готовые нейросети для трех российских акций: РАО Газпром, РАО ЕЭС России, НК Лукойл; "Модуль Нейронных сетей" - эмулятор классических многослойных нейронных сетей с использованием генетических алгоритмов; "Модуль Карты Кохонена" - модуль, реализующий карты Кохонена в приложении к финансовым рынкам; "Модуль Статистика" - модуль статистической обработки финансовой информации и анализа рынка. NeuroScalp имеет удобный интерфейс и реализует необходимое множество методов, требуемое для реализации различных идей пользователя. Демо-версию нейропакета можно найти по адресу <http://www.tora-centre.ru/nsalp>.

12. Технология виртуальной реальности, виртуальная реальность - технологии актуализации различных гипотетических сред и ситуации, не существующих реально и возможных как варианты развития реальных аналогов систем реального мира; эти технологии и системы позволяют управлять виртуальным объектом, системой путем моделирования законов пространства, времени, взаимодействия, инерции и др.

Высшая форма развития компьютерного офиса - виртуальный офис и виртуальная корпорация - офисы и корпорации, не существующие в обычном, классическом виде ("имеющих вывеску, штат, здание"), а созданные воображаемо, распределенно - как в пространстве, так и во времени (отделы и сотрудники могут находиться даже на различных континентах, общаясь по работе с помощью ЭВМ и сетей связи). Они являются высшей ступенью делового сотрудничества и в корне меняют организацию работ и систему информационного обеспечения сотрудников.

Виртуализация свойств и атрибутов корпорации, динамическое (а иногда и виртуальное!) выделение их общих фундаментальных (родовых, классовых) свойств, их описание и использование в рамках единой технологии, позволяет сократить промежуток между прогнозируемым (или имитируемым) состоянием корпорации и его реальным состоянием. У корпорации общие интересы появляются, актуализируются, виртуализируются на тот период, когда они служат общей цели. Успех виртуальной корпорации (ее разработки, внедрения и сопровождения) зависит от полноты и качества информационных потоков между объектами корпорации. При этом новые сотрудники корпорации (или сотрудники новой корпорации) имеют дело, в первую очередь, с информационными моделями, например, с моделями склада сырья, изделия, менеджера, поставщика, банка (банковских расчетов). Таким образом, виртуальные компьютерные корпорации поддерживают широкий спектр работ и услуг - начиная от соединения предприятий по ресурсам, производству, сбыту, снабжению, управлению, информационному обеспечению и т.д., обеспечивая базовую компетентность - совокупность знаний и умений по организации, координации и согласованию общих организационных, материальных, информационных ресурсов элементов корпорации, поддержки и развития ее инфраструктуры (архитектуры, инноваций, активов, рекламы и др.) и заканчивая обеспечением корпоративных функций системы с меньшими затратами и более качественно, уменьшая бюрократизм и уровни иерархии в системе, а также время реакции на изменения на рынке.

Основные характеристики виртуальной корпорации: наличие основного вида бизнеса (деятельности) для всех подсистем; концентрация пользователей вокруг этого вида деятельности и общие взаимосвязанные цели, планирование и ресурсообеспечение, общие (интегрированные) стратегии поведения и актуализации ресурсов, общая (интегрированная) технология актуализации ресурсов.

В виртуальной корпорации "новые рабочие или служащие" будут в основном иметь дело с инфологическими моделями рабочих мест, инструментов, сырья, поставщиков, рынков сбыта и услуг, "новые менеджеры" будут принимать оперативные и более интеллектуальные решения по гораздо более широкому кругу вопросов, а "новое руководство" будет занято многокритериальными стратегическими проблемами. Следовательно, от них требуется качественно новый уровень профессионализма, ответственности и стремление к самообразованию.

Пример. Виртуальная маркетинговая корпорация "Да Винчи" объединяет ряд горнорудных месторождений, производственные (машиностроительные и строительные), транспортные, инвестиционные, экологические системы. Все подсистемы "Да Винчи" поставляются без доработок под конкретный объект (как детские конструкторы сборно-разборного типа). Один из сценариев, предлагаемых в проекте (Venture Managment Model), моделирует нижеследующую ситуацию. Горнодобывающая компания ведет разработки в Новой Гвинее. Построенный в этой местности отель может быть расширен для обслуживания растущего потока деловых клиентов этой компании, а также туристов. Консорциуму, имеющему бизнес в сфере коммуникаций и гостиничных услуг, предлагается долевое участие в развитии этой местности и эксплуатации отеля. Для снижения накладных расходов на расширение отеля и инфраструктуры туризма привлекаются крупные строительные компании (на условиях долевого участия в прибылях). Отметим при этом, что критерии эффективности бизнеса в таком составе - различны, а процесс принятия стратегических решений сопряжен с конфликтными интересами партнеров, динамически изменяющейся их картиной. Для реализации этой корпорации имеются электронная (мультимедийная) почта для поддержки процессов принятия решений первыми лицами, средства телеконференций для функциональных подразделений и аналитиков, геоинформационная система, САПР, взаимодействующая с СУБД через структуру данных с пространственной привязкой, система компьютерного делопроизводства на всех этапах. Используются современные технологии типа "клиент-сервер" и объектно-ориентированные под Windows NT, Windows-95 (рабочие места), Unix (сервер), полные версии MS Office и компьютерный документооборот. В системе электронного документооборота используются: полнотекстовый поиск, доступ к проектной документации на всех этапах жизненного цикла проекта, подготовка интерактивной технической документации. Документ может содержать текст, например, HTML-документ, иллюстрации в одном или нескольких слоях, редакторские правки и комментарии участников различных рабочих групп, участвующих в проекте, трехмерные объекты из программ САПР, подключаемые к документу видео- и аудиофайлы.

Пример. Технологии виртуальной реальности широко используют различные тренажеры для обучения пилотов самолетов, водителей автомобилей, капитанов судов, которые позволяют помещать обучаемого в соответствующие воображаемые ситуации (включая и аварийные), в том числе и никогда не существовавшие в реальности и не "укладывающиеся" в рамки законов классической механики, физики; эффекты виртуальной реальности создаются часто за счет одновременного воздействия на различные органы чувств, включая подсознание, сенсомоторику. Интересны проекты создания хирургических тренажеров с использованием методов и средств виртуальной реальности. Важной формой виртуальной реальности (виртуального понятия) является

рынок. Если раньше под рынком понималось реальное место встречи продавцов и покупателей, то теперь это понятие состоит из экономических, коммерческих, производственных и коммуникационных отношений и систем; они теперь могут встречаться и реализовывать свои функции в компьютерных системах.

13. Когнитивные технологии - методы, средства и приемы, обеспечивающие визуальное, гипермедийное представление условий задач и/или предметной области, которое помогает находить или стратегию решения (или само решение), либо позволяет оценивать и сравнивать пути решения, принять тот или иной адекватный выбор.

Пример. Когнитивная графика, позволяющая геометрически, образно представлять предметную среду и построить, исходя из этого, требуемый графический объект, в частности, пространственное представление этого объекта. Есть и средства, и методы визуального программирования (проектирования программ), в частности, среда Visual-C. Когнитивные методы выбора решений в области бизнеса позволяют принимать решения и определять стратегии поведения на основе качественных данных, личностных суждений (эффективно для ликвидации неопределенностей). Например, модель принятия решений Института США и Канады РАН, используя блоки, подмодели типа "Мир", "Ценность", "Средство", "Интерес", "Стереотип", "Цель", "Сценарий", "Проблема", позволяет изменять содержательное наполнение этих блоков, генерировать новые цели и сценарии (используя старые).

14. Технологии информационного реинжиниринга - методы и средства коренного пересмотра, перепроектирования информационных сетей и процессов с целью достижения резких, например, "порядковых" улучшений в ключевых показателях информационных сетей и систем, в частности, по показателям типа "производительность-стоимость", "время-объем информации", "функционирование-документация", "технология-удобство" и др. Реинжиниринговые мероприятия изменяют работу (из моноплановой она становится многоплановой), роль работника (от подконтрольного исполнителя - к принятию самостоятельных решений), оценку эффективности работы и оплаты труда (от оценки трудозатрат - к оценке результата), роль менеджера (от контролирующей функции - к тренинговой), и, самое главное, организационную структуру (от иерархической - к матричной и сетевой).

Пример. Сокращение времени принятия решения и цикла подготовки и подписания документов, например, средствами компьютерного делопроизводства, сетями связи и экспертными системами, которые обеспечивают доступ руководителя, принимающего решение, ко всем этапам, узлам и инструментариям подготовки решения; перенос акцента с проблемы "Как делать?" на проблему "Что делать?". Отметим, что популярную в информационных системах, сетях технологию "удаленный сервер данных и клиентский доступ" можно считать реинжиниринговой. Реинжиниринг системы подготовки докладов, отчетов, например, может свести цикл подготовки отчета с 20-30 операций до 5-10. Простое усовершенствование не может дать таких результатов.

15. Объектно-ориентированные технологии, технологии объектно-ориентированного анализа (технологии представления и актуализации информации, информационных процессов, систем как совокупностей объектов и классов с использованием следующих понятий: объект, экземпляр класса - все то, что может быть полно описано некоторыми атрибутами состояния; класс - совокупность объектов с одинаковыми атрибутами; инкапсуляция - скрытие внутренней информации, возможность отделения объектов и классов от внешнего мира; наследование - возможность создавать из классов-родителей новые классы-потомки, сохраняющие атрибуты и свойства родителей; полиморфизм -

способность объектов выбирать метод представления на основе типов данных, актуализируемых сообщений).

Инструменты объектно-ориентированного анализа: атрибуты (описания объектов, классов); операции (процессы, применяемые к классам объектов); потоки данных (группы элементов данных, реализующие связи между объектами); наследование (агрегирование и обобщение).

Пример. Объектно-ориентированные среды программирования, например, C++, Smalltalk; объектно-ориентированный инжиниринг или набор приемов и методов проектирования бизнеса, наиболее эффективно обеспечивающих заданные цели и прибыль; объектно-ориентированный пользовательский интерфейс, использующий, например, понятия "класс описаний", "класс языков", "класс операционных сред" и др. При объектно-ориентированном программировании в среде языка APL, например, процедуры исполняются в соответствии с логикой и инструкциями некоторой программы, которая определяет последовательность и содержание действий; выполнение этой программы инициируется с помощью сообщения, посылаемого заданному объекту пользователем, другой программой или объектом. Получатель сообщения решает, какая программа будет выполнена.

Пример. HTML - статичное средство. Чтобы "оживить" содержимое Web, сделать интерактивные HTML-страницы, используется среда JavaScript. Одной из важных для информатики объектно-ориентированных систем является Java-система, сред - Java-интерпретирующая машина, технологий - Java-технология. Рассмотрим их вкратце. В основе всех их лежит язык программирования Java, ориентированный на сеть Internet и серверы WWW. Язык Java произошел от языка программирования Oak, с синтаксисом, близким к синтаксису языка C++. Средствами языка Java можно разрабатывать приложения для различных платформ: Intel Pentium, Macintosh, Sun и др. Java-программы бывают автономного использования (выполняемые в режиме интерпретации на конкретной компьютерной платформе) и апплеты, (applets), выполняемые в режиме интерпретации виртуальной Java-машиной, которая встроена практически во все современные браузеры. Апплеты Java встраиваются в документы HTML, хранящиеся на сервере WWW. С помощью апплетов можно сделать страницы сервера Web динамичными и интерактивными. Все данные для обработки апплеты могут получить только от сервера Web. Язык Java является объектно-ориентированным и имеет объемную библиотеку классов, значительно упрощающих разработку приложений, так как программист больше внимания может уделить функциональной части приложения, а не организации интерфейса, динамических массивов и т.п. В широком смысле, Java - это технология, изначально рассчитанная на интеграцию с сетевой Web-средой, полностью независимой от платформы. Виртуальная Java-машина - машина, на которой исходные Java-программы интерпретируются в коды этой машины. Это делает Java-среду мощным и удобным средством разработки клиентских компонентов Web-систем. В Java-среде пользователь может осуществлять динамическую загрузку объектов из сети, т.е. ему не нужны дорогостоящие работы по наладке, администрированию клиентских Java-систем, так как для обеспечения работы клиента на новой версии достаточно загрузить ее на сервере. Имеются инструментальные среды, например, Java Studio, позволяющие проектировать приложения вообще без программирования, из готовых компонент, устанавливая между ними связи и отношения в соответствии с внутренней логикой приложения. Для повышения производительности Java-приложений в браузерах используется компиляция Just-In-Time compilation ("на лету"). При первой загрузке апплета его код транслируется в обычную исполняемую программу, которая сохраняется на диске и запускается. В результате общая скорость выполнения апплета увеличивается в несколько раз.

16. Средо-ориентированные технологии (интерактивные технологии проектирования, разработки, актуализации информационных систем, в которых сперва строится нужная среда, инструментарий, а затем происходит их автоматизированная настройка с помощью выполнения процедур типа: переместить, вставить, удалить, указать, активизировать и др.; готовые среды, "как кубики", объединяются в нужные структуры, а затем настраиваются на конкретные классы проблем или пользователей, причем изменения одних из них могут изменять и другие).

Пример. Средо-ориентированные системы программирования, в которых часто используется "оконный интерфейс", "оконная среда". Они основываются на понятиях "окно", "рамка", "фрейм", "рисунок на экране", "оконное меню" и др., каждый из которых ассоциируется с наиболее подходящей инструментальной средой: тексты - с текстовым процессором, таблицы - с электронной таблицей, графики - со средой деловой графики и т.д. К этим типовым средам могут быть добавлены также и разработанные самим программистом среды, а также библиотеки сред. Отметим, что интерактивное планирование позволяет находить оптимальные структуры и набор ресурсов для достижения поставленной цели.

В последние годы вырос интерес к распределенным системам - программным комплексам, составные части которых функционируют на разных компьютерах в сети, используя при взаимодействии технологии различного уровня, от непосредственного использования пакетов TCP/IP до технологий с высоким уровнем абстракции, таких, например, как CORBA. В этих системах обеспечены следующие возможности, невыполнимые при использовании традиционных технологий:

- масштабируемость, т.е. эффективное обслуживание различного числа клиентов одновременно;
- надежность создаваемых приложений, т.е. устойчивость не только к ошибкам пользователей, но и к сбоям в системе коммуникаций;
- непрерывная длительная работа (режим 24×7, т.е. 24 часа в течение 7 дней недели);
- высокий уровень безопасности системы, т.е. защиты и отслеживания, протоколирования информации на всех этапах функционирования;
- высокая скорость разработки приложений и простота их сопровождения и модификации (достаточен средний уровень программиста).

Технология CORBA создавалась некоммерческой организацией - содружеством разработчиков и пользователей программного обеспечения OMG как универсальная технология создания распределенных систем с использованием языков Java, C, Ada, Smalltalk, Delphi, Perl, Python и др. Клиентская часть может быть написана на любом языке программирования, поддерживающем CORBA.

Так как CORBA - стандартная инфраструктура разработки и использования различных платформ, ОС и приложений, то все спецификации CORBA являются полностью открытыми. CORBA реализует высокий уровень абстракции - все проблемы и описания взаимодействия с операционной системой или сетевыми средствами осуществляются на низком уровне и скрытно от прикладного программиста. Высокий уровень абстракции достигается за счет отображения инструкций на языке спецификаций - на конкретный язык программирования. CORBA может передавать данные различных типов: структуры, объединения и др. Предусмотрена система описания и контроля типов. Для каждого языка используется свое отображение данных на языке спецификаций. CORBA поддерживает статический и динамический способ организации удаленных вызовов и имеет развитые средства получения информации о серверах. CORBA обладает высоким уровнем

устойчивости к сбоям за счет большей изоляции клиентов и серверов, автоматического сохранения состояния объектов, более мощной и продуманной схемы управления транзакциями. Управление транзакциями берет на себя так называемый Сервис Управления Транзакциями CORBA (Object Transaction Service). CORBA обеспечивает высокий уровень безопасности. Предусмотрена идентификация пользователя, списки прав доступа к ресурсам, система аудита и многое другое. Интеграция CORBA и сети Интернет выполняется за счет использования протокола, построенного поверх TCP/IP, что позволяет использовать URL-имена в качестве имен для Службы Именования CORBA.

17. CASE-технологии (Computer-Aided System Engineering -автоматизированное проектирование информационных систем, или технологии, позволяющие автоматизировать основные этапы и процедуры жизненного цикла информационных систем: от анализа исходного состояния и целей - до проектирования интерфейсов, привычных проектировщику, пользователю и основных процедур функционирования системы; чем больше этапов и процедур автоматизируется, тем лучше и быстрее получается информационная система, тем шире ее приложения).

Пример. Технология STRADIS (STRategic Architecture for the Deployment of Information Systems - стратегическая архитектура для развертывания информационных систем) определяет и поддерживает основные этапы жизненного цикла системы: цели, их приоритеты, требования к ресурсам, распределению работ, составу и содержанию проектной документации, методика выполнения процедур проектирования и программирования, тестирования и управления. Включает в себя следующий инструментарий для этого: графический редактор (графическая среда), СУБД, средства описания сценариев диалога с системой, выходных документов и др.

18. Технологии и системы компьютерной алгебры, системы символьных преобразований, аналитических вычислений (системы, позволяющие производить автоматические преобразования формул и алгебраических выражений, в частности, приведение подобных членов в алгебраическом выражении, нахождение первообразной заданной аналитически функции, ее дифференцирование и т.д.).

Пример. Система Reduce для формульных преобразований, которая позволяет как находить эквивалентные алгебраические выражения, так и вычислять их численные значения (в том числе и комплекснозначные), суммировать конечные и бесконечные ряды (сумма - как функция!), производить алгебраические операции с полиномами, матрицами, интегрировать и дифференцировать.

19. Нечеткие технологии (технологии обработки данных и вывода знаний, принятия решений на основе описания систем аппаратом нечетких множеств и нечеткой логики).

Пример. Медицинский диагноз часто основан на нечетких, неопределенных четко связях симптомов и болезней, их нечеткой зависимости, поэтому для компьютерной постановки диагноза, построения экспертной системы постановки диагноза эта технология особенно эффективна, так как позволяет делать нечеткие выводы, которые затем могут быть проверены. Проблемы дактилоскопии также могут быть решены эффективно с помощью нечетких систем распознавания отпечатков.

Все новые информационные технологии, так или иначе, используют методы и проблематику искусственного интеллекта, инженерии знаний, часто переплетаются и интегрируются.

Проблематику искусственного интеллекта составляют знания, информация о данной области, которые пока объективно непонятны, неточны, не формализуемы, не структурируемы, не актуализируемы доступными средствами (и могут стать таковыми в процессе функционирования системы, приобретения знаний).

Инженерия знаний - наука, изучающая проблемы выявления, структурирования, формализации и актуализации знаний для разработки различного типа интеллектуальных систем, технологий.

Все новые информационные технологий должны обеспечивать целенаправленность, информативность, адекватность, точность, полноту, воспринимаемость и структурированность сообщений, а также гибкость, комфортность, своевременность и простоту их актуализации во времени, в пространстве и информационно.

Все информационные технологии - основа многих других технологий, а также способ актуализации информации, основа мышления.

Основные тенденции развития новых информационных технологий, независимо от сферы их использования:

- возрастание роли и активности (актуальности) информационного ресурса, т.е. качество и оперативность принимаемых интеллектуальных решений в обществе во все большей степени зависит от содержания, точности и своевременности получаемой информации, ее пространственно-временных характеристик;
- развитие способности к активному техническому, программному и технологическому взаимодействию (стандартизации и совместимости таких взаимодействий), т.е. появление более совершенных стандартов взаимодействия, все чаще - уже на уровне проектных работ, на уровне разработки спецификаций;
- изменение структуры инфологических и структурных взаимодействий, ликвидация промежуточных звеньев (непосредственность), т.е. устранение этапов и функций посредников информационного обмена и услуг, ликвидация промежуточных функций внутри компаний и между ними, более широкое распространение, упрощение доступа, снижение цен и т.д.;
- глобализация или использование пространственных, временных и организационных возможностей и емкости информационного рынка (практически беспредельного);
- конвергенция или формирование рынка новых информационных технологий, состоящего из основных сегментов - частное потребление (развлечения, бытовые услуги и т.п.), обеспечение бизнеса (производство, продажа, маркетинг и т.п.), интеллектуальная профессиональная работа (автоформализация профессиональных знаний и др.).

Пример. В 1990 г. около 40% интеллектуальных работников в США использовали на своих рабочих местах новые информационные технологии, в частности, концерн Microsoft инвестирует в новые медиапроекты до 20% своего научного бюджета, выпуская энциклопедии и справочники на CD, работая параллельно с нормальным телевидением в сети интернет, открывая в Интернете свои мультимедийные журналы, например, Slate (<http://www.slate.com>) и др. Выполнение японской программы создания компьютеров пятого поколения сдерживается тем, что новая архитектура программного обеспечения пока не сочетается с существующими центрами искусственного интеллекта, новые протоколы не могут быть использованы в старых системах связи, а новые машинные языки не подходят для старых систем и т.д. В банковской сфере уменьшается роль мелких

банков, так как на внедрение информационных технологий требуются значительные ресурсы. Имеющие доступ к терминалам общего пользования ("электронным киоскам") заказывают товары и получают электронные купоны. Примером глобальной программы является программа ESPRIT (Европейская стратегическая программа исследований в области информационных технологий). Примерами аппаратно-программной конвергенции могут быть принтеры с функциями ксерокса и факса.

Заканчивая свой неполный обзор (полный обзор, видимо, сделать невозможно) новых информационных технологий, наиболее важных для системного анализа, отметим, что появляются все новые их разновидности и приложения, а они становятся основным фактором (инструментарием) глобализации, фактором, изменяющим традиционные критерии принятия решения и возможности мирового бизнеса (ценообразование, издержки, местоположение и т.д.).

Вопросы для самоконтроля

1. Чем отличается новая технология от "старой", высокая - от новой?
2. Каковы основные элементы новых информационных технологий?
3. Что такое БД (СУБД, АРМ, электронная почта, телеконференция, база знаний, экспертная система, интегрированный пакет прикладных программ, машинная графика, компьютерный и виртуальный офис, виртуальная корпорация, мультимедиа, гипермедиа, математическое и компьютерное моделирование, нейротехнологии, виртуальная реальность, объектно- и средоориентированная технология)?
4. Какова роль технологий информатики в процессе познания?
5. Какова роль новых информационных технологий в развитии общества, в социальной сфере, в развитии инфраструктуры общества?
6. Каковы основные социально-экономические последствия внедрения новых информационных технологий в общественную жизнь, науку, производство, быт?

Задачи и упражнения

1. Выбрать одну-две новые технологии и построить для них примеры использования, указать достоинства и недостатки.
2. Построить несколько макетов (логических моделей) БД социально-экономического направления (например, пенсионного фонда). Описать структуру записей, атрибуты полей базы, сформулировать запросы. Осуществить операции (поиска, сортировки, модификации) с базой данных. Оценить объем информации в БД.
3. Построить несколько макетов (логических моделей) баз знаний по социально-экономической предметной области. Построить несколько макетов (логических моделей) экспертной системы по социально-экономической проблеме. Привести примеры проблем, которые можно решить эффективно с помощью экспертной системы. Осуществить какие-либо корректные операции с построенными базами знаний на логическом уровне. Построить компьютерные модели баз знаний по реальным социально-экономическим системам (процессам) и рассмотреть их эксплуатационные ситуации и области приложения. Оценить объем информации (качественно и количественно) в построенной (или другой) базе знаний. Осуществить постановку некоторых задач, которые можно решать с помощью некоторой базы знаний и (или) экспертной налоговой системы. Выполнить операции логического вывода из базы знаний, возможно, упростив для этого структуру базы знаний.

4. Построить несколько сценариев проведения телеконференций по различным налоговым проблемам. Описать работу организатора (модератора) и пользователя телеконференции. Оценить объем информации в сеансе телеконференции. Осуществить постановку некоторых задач, которые можно решать с помощью телеконференции. Описать технологию решения этих задач. Привести примеры социально-экономических последствий проведения телеконференций и использования электронной почты. Оценить эти последствия. Привести примеры телеконференции по вашей специальности.
5. Описать работу некоторой гипотетической виртуальной корпорации с участием специалистов по Вашей будущей специальности.
6. Описать спецификации и процедуру реинжиниринга системы обучения студентов по Вашей будущей специальности.

Темы научных исследований и рефератов, интернет-листов

1. Новые информационные технологии: социально-экономическое значение, последствия, будущее.
2. Виртуальные сообщества профессионалов.
3. Анализ данных - от банков данных до интеллектуального анализа данных.
4. Программные комплексы - от библиотек до интегрированных интеллектуальных пакетов.
5. Компьютерный офис, виртуальный офис, виртуальная корпорация. Что дальше?
6. Влияние высоких технологий на личную и общественную жизнь: положительные и отрицательные аспекты.

Примерные темы рефератов по дисциплине

«Ситуационный анализ и моделирование сложных систем»

1. Моделирование в исследовании систем управления: общие вопросы.
2. Методы моделирования систем управления: методы математического программирования.
3. Методы моделирования систем управления: методы теории игр и принятия решений.
4. Методы моделирования систем управления: методы сетевого планирования и управления.
5. Методы моделирования систем управления: методы теории очередей и управления запасами.
6. Методы моделирования систем управления: метод статистических испытаний (метод Монте-Карло).
7. Логико-интуитивные методы исследования систем управления: экспертные методы.
8. Логико-интуитивные методы исследования систем управления: метод "мозгового штурма".
9. Общая характеристика технологий KDD и Data Mining.
10. OLAP-технологии в ситуационном анализе.
11. Ассоциативные правила в ситуационном анализе: назначение и общая характеристика.
12. Задачи кластеризация в ситуационном анализе: назначение и общая характеристика.
13. Задачи классификации в ситуационном анализе: деревья решений.
14. Задачи классификации в ситуационном анализе: нейронные сети.

15. Прогнозирование в ситуационном анализе: назначение и общая характеристика.

Литература

Основная:

1. Советов, Б. Я. Моделирование систем [Текст] : учебник для вузов : [гриф Мин. обр.] / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев, 2007. – 343 с.
2. Чикуров, Н. Г. Моделирование систем и процессов [Текст]: учебное пособие: [гриф МЧС] / Н. Г. Чикуров, 2013. – 398 с. Режим доступа: <http://elibrary.ru/?8&type=card&cid=ALSFR-5b108435-b7aa-4c27-be63-9031cf805ebb>
3. Трофимец, Е. Н. Оптимизационные модели в управлении организационными системами [Текст]: учебное пособие / Е. Н. Трофимец, В. Я. Трофимец, 2016. – 88 с. Режим доступа: <http://elibrary.ru/?50&type=card&cid=ALSFR-fbfd8d23-820e-4af1-a8f4-05dc646bcf45&remote=false>

Дополнительная:

1. Афонин, В. В. Моделирование систем [Электронный ресурс] / Афонин В. В., 2016. – 269 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/52179.html>
2. Еременко, С. П. Моделирование сложных систем: методы и технологии системного анализа [Текст]: учебное пособие / С. П. Еременко, Ш. С. Фахми ; ред. Э. Н. Чижиков, 2017. – 224 с. Режим доступа: <http://elibrary.ru/?84&type=card&cid=ALSFR-b37e0388-0da3-418b-9e7a-a4d53edb9574&remote=false>
3. Русак, С. Н. Моделирование систем управления [Электронный ресурс]: учебное пособие / Русак С. Н., 2015. – 136 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63216.html>