

Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Лабораторный практикум по учебной дисциплине

«Общая теория систем»

для специальности
1-40 03 01 Искусственный интеллект

Кафедра интеллектуальных информационных технологий

Всего часов по дисциплине	154
Зачетных единиц	4
Форма текущей аттестации	экзамен

2022 г.

Дисциплина «Общая теория систем» является одной из основных дисциплин в процессе подготовки студентов по специальности «Искусственный интеллект», имеет четкую современную практическую направленность.

Цель преподавания учебной дисциплины: формирование у студентов базовых знаний об особенностях построения сложных систем, в частности, интеллектуальных систем, а также получение навыков формализации различных представлений, касающихся систем, подсистем и их взаимодействий.

Задачи изучения учебной дисциплины:

- приобретение знаний по принципам системного подхода при решении различных задач;
- формирование навыков математического и компьютерного моделирования;
- изучение принципов системного подхода к проектированию систем, в том числе интеллектуальных систем;
- овладение способами формального описания систем и их анализа.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №1. Построение моделей систем и их исследование	4
1.1 Построение модели «черный ящик» для выбранной системы.....	4
1.2 Построение модели состава системы	7
1.3 Построение модели структуры системы.....	9
1.4 Построение структурной схемы системы	11
1.5 Вопросы для самопроверки.....	13
1.6 Задание.....	14
Лабораторная работа №2. Решение многокритериальных задач.....	15
Задание	18
Лабораторная работа №3. Оптимальные и удовлетворительные решения	19
3.1 Поиск альтернативы с заданными свойствами	19
3.2 Нахождение множества Паретто.....	19
Задание	20
Лабораторная работа №4. Построение и анализ когнитивной карты	22
Лабораторная работа №5. Компьютерное моделирование	25
Литература	32
Основная	32
Дополнительная	32

Лабораторная работа №1. Построение моделей систем и их исследование

Цель: построение и исследование модели «черный ящик», модели состава системы, модели структуры системы, структурной схемы системы.

Модель — некоторый виртуальный образ реального или другого виртуального объекта, создаваемый для его изучения.

Моделирование — это замещение одного объекта (оригинала) другим (моделью) и фиксация и изучение свойств модели. Замещение производится с целью упрощения, удешевления, ускорения изучения свойств оригинала.

В общем случае объектом-оригиналом может быть естественная или искусственная, реальная или воображаемая система. Она имеет множество параметров S_0 и характеризуется определёнными свойствами. Количественной мерой свойств системы служит множество характеристик Y_0 , система проявляет свои свойства под влиянием внешних воздействий

Множество параметров S и их значений отражает её внутреннее содержание - структуру и принципы функционирования. Характеристики S — это в основном её внешние признаки, которые важны при взаимодействии с другими S .

Познание любой системы (S) сводится по существу к созданию её модели. Перед изготовлением каждого устройства или сооружения разрабатывается его модель — проект. Любое произведение искусства является моделью, фиксирующее действительность.

1.1 Построение модели «черный ящик» для выбранной системы

Для более определенной и точной характеристики конструкции системы следует развивать ее модель, преобразуя имеющиеся сведения так, чтобы в результате получить более удобную форму модели, включая в модель по мере необходимости дополнительные сведения.

Компоненты "черного ящика"

Для человека важную для человека роль играют наглядные, образные, визуальные модели, потому перейдем от определения системы к его визуальному эквиваленту.

Во-первых, определение системы ничего не говорит о внутреннем устройстве системы. Поэтому ее можно изобразить в виде непрозрачного "ящика", выделенного из окружающей среды. Подчеркнем, что уже эта, максимально простая, модель по-своему отражает два следующих важных свойства системы: целостность и обособленность от среды.

Во-вторых, в определении системы косвенно говорится о том, что хотя "ящик" и обособлен, выделен из среды, но не является полностью от нее изолированным.

В самом деле, ведь достигнутая цель — это запланированные заранее изменения в окружающей среде, какие-то продукты работы системы, предназначенные для потребления вне ее. Иначе говоря, система связана со средой и с помощью этих связей воздействует на среду (см. рис.1).

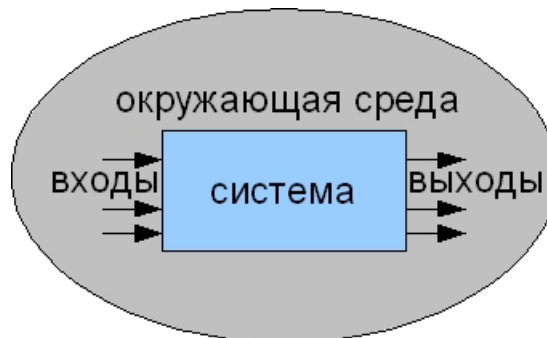


Рисунок 1 — Модель "черного ящика"

Эти связи называются **выходами системы**. Подчеркнем еще раз, что выходы системы в данной графической модели соответствуют слову "цель" в словесной модели системы.

Кроме того, в определении имеется указание и на наличие связей другого типа: система является средством, поэтому должны существовать и возможности ее использования, воздействия на нее, т.е. и такие связи со средой, которые направлены извне в систему. Изобразим эти связи также в виде соответствующих стрелок, направленных от среды в систему (см. рис. 1), и назовем их входами системы.

В результате мы построили модель системы, которая получила название "черного ящика" (рис.1). Это название образно подчеркивает полное отсутствие сведений о внутреннем содержании "ящика": в этой модели задаются, фиксируются, перечисляются только входные и выходные связи системы со средой (даже "стенки ящика", т.е. границы между системой и средой, в этой модели обычно не описываются, а лишь подразумеваются, признаются существующими). Такая модель, несмотря на внешнюю простоту и на отсутствие сведений о внутренности системы, часто оказывается полезной.

Во многих случаях достаточно содержательного словесного описания входов и выходов; тогда модель "черного ящика" является просто их списком. Например, модель телевизора такова: входы — шнур электропитания, антенна, элементы управления и настройки; выходы — экран и динамики. В других случаях требуется количественное описание некоторых или всех входов и выходов. Пытаясь максимально формализовать модель "черного ящика", мы приходим к заданию двух множеств X и Y входных и выходных переменных, но никаких других отношений между этими множествами фиксировать нельзя (иначе это уже будет не "черный", а прозрачный ящик).

Сложности построения модели "черного ящика"

Рассмотрим принципиально важный вопрос об обманчивой простоте модели "черного ящика". Казалось бы, так просто: перечислить входы и выходы системы — и модель готова. Но как только это потребуется сделать для конкретной реальной системы, мы сталкиваемся с трудностями. Проиллюстрируем это сначала на хорошо знакомых примерах.

Пример 1. Опишем выходы системы "наручные часы". Учитывая, что выходы соответствуют конкретизации цели, фиксируем в качестве выхода *показать значение текущего времени в произвольный момент*. Затем принимаем во внимание, что сформулированная таким образом цель относится ко всем часам, а не только к нашим наручным часам. Чтобы различить их, вносим следующее добавление (выход): *удобство ношения часов на запястье*; тогда появляется обязательность ремешка или браслета, а с ним и еще один выход: *удовлетворение требований санитарии и гигиены*, так как не любое крепление часов на руке допустимо с этой точки зрения.

Далее, представив себе условия эксплуатации часов, можно добавить *достаточную в бытовых условиях прочность, пылевлагонепроницаемость*.

Затем, расширив понятие "условия эксплуатации часов", добавим еще два выхода: *достаточную для бытовых нужд точность; легкость прочтения показаний часов при беглом взгляде на циферблат*.

Можно еще более расширить круг учитываемых требований к часам, что позволит добавить несколько выходов: соответствие моде и понятию красоты; соответствие цены часов покупательной способности потребителя. Очевидно, что список желаемых, т.е. включаемых в модель, выходов можно продолжать. Например, можно потребовать, чтобы имелась возможность прочтения показаний часов в полной темноте, и реализация этого выхода приведет к существенному изменению конструкции часов, в которой могут быть различные варианты самосвечения, подсветки, считывания на ощупь или подачи звуковых сигналов. А ведь мы в явной форме еще не говорили о габаритах, весе, многих других физических, химических, экономических и социальных аспектах использования наручных часов...

Пример 2. Попробуем перечислить входы системы "легковой автомобиль". Исходя из определения системы как средства достижения цели, мы связали понятие входа с управляющим воздействием на систему, воздействием, "подталкивающим" систему к цели. Поэтому сразу же выделим в автомобиле в качестве входов те его элементы, которые предназначены для управления во время движения: *руль, педали сцепления, газа и тормоза, рычаг переключения коробки передач, переключатели сигнализации и освещения, ручка аварийного и стояночного тормоза.*

Затем, учитывая, что регулирующие воздействия приходится осуществлять не только на ходу, в список входов автомобиля вносим *регулировочные винты, гайки, эксцентрики.*

Смазка и заправка — это также регулирующее и управляющее воздействия. Поэтому *точки смазки и заправочные отверстия* являются входами.

Нельзя не учитывать входы в буквальном смысле. Поэтому добавляем *двери салона и (заодно) крышки багажника и капота.*

И тут мы начинаем понимать, что входное воздействие на автомобиль оказывает не только водитель, но и пассажиры, а также окружающая среда. Записываем в перечень входов *окна и зеркала*, с помощью которых поступает информация к водителю и пассажирам. Но тогда можно отметить, что свойства поверхности, по которой движется автомобиль, также оказывают входное воздействие: по-разному приходится действовать водителю при езде по асфальту, песку, гравию, в случае гололеда, грязи... Добавляем к списку входов *механическое воздействие грунта на колеса.*

Однако различие между песком и асфальтом для автомобиля существенно лишь потому, что существует поле тяготения Земли.

Вместе с тем мы еще не упомянули многие реально существующие способы воздействия среды на данную систему: *ручки стеклоподъемников, аэродинамическое сопротивление воздуха, кнопки радиоприемника или кондиционера, входы вычислительных устройств.* А разве не влияют на автомобиль и его пассажиров электрические и магнитные поля? Не зря же рекомендуют прикреплять к автомобилю проводящий ремень, который отводит накапливающиеся на кузове электрические заряды. Далее, стали обязательными пристяжные ремни, так как нельзя пренебрегать тем, что существует еще один вход — силы инерции, которые при авариях достигают опасных для здоровья и жизни величин. Очевидно, что список входов может быть еще продолжен.

Рассмотренные примеры свидетельствуют, что построение модели "черного ящика" не является тривиальной задачей, так как на вопрос о том, сколько и какие именно входы и выходы следует включать в модель, ответ не прост и не всегда однозначен. Установим причины этого факта.

Множественность входов и выходов

Главной причиной множественности входов и выходов в модели "черного ящика" является то, что всякая реальная система, как и любой объект, взаимодействует с объектами окружающей среды неограниченным числом способов.

Строя модель системы, мы из этого бесчисленного множества связей отбираем конечное их число для включения в список входов и выходов. Критерием отбора при этом является целевое назначение модели, существенность той или иной связи по отношению к этой цели. То, что существенно, важно, включается в модель, то, что несущественно, неважно, — не включается. Именно здесь возможны ошибки. Тот факт, что мы не учитываем в модели, исключаем из рассмотрения остальные связи, не лишает их реальности, они все равно действуют независимо от нас. И нередко оказывается, что казавшееся несущественным или неизвестным для нас на самом деле является важным и должно быть учтено.

Особое значение этот момент имеет при задании цели системы, т.е. при определении ее выходов. Это относится и к описанию существующей системы по результатам ее обследования, и к проекту пока еще не существующей системы.

Реальная система неизбежно вступает во взаимодействия со всеми объектами окружающей среды, поэтому важно как можно раньше, лучше всего еще на стадии построения (проектирования) модели, учесть все наиболее важное. В результате главную цель приходится сопровождать заданием дополнительных целей. К примеру 2 можно добавить пример пассажирского самолета; нужно не только чтобы он летал, но и чтобы при этом обеспечивались необходимый комфорт и безопасность пассажиров, не создавался слишком сильный шум при полете над населенными пунктами, не требовались слишком длинные взлетно-посадочные полосы, соблюдались экономические выгоды в эксплуатации и многое другое. Важно подчеркнуть, что выполнения только основной цели недостаточно, что невыполнение дополнительных целей может сделать ненужным или даже вредным и опасным достижение основной цели. Этот момент заслуживает особого внимания, так как на практике часто обнаруживается незнание, непонимание или недооценка важности указанного положения. Между тем оно является одним из центральных во всей системологии.

Пример 3. Лет тридцать назад свечение цифр и стрелок наручных часов было достигнуто применением фосфоресцирующей краски (т.н. «белый фосфор»). Впоследствии оказалось, что кроме полезного эффекта возникали вредные для здоровья излучения, и выпуск таких часов пришлось прекратить. Теперь найдены нерадиоактивные светящиеся материалы, и светящиеся часы вновь появились в продаже.

Модель "черного ящика" часто оказывается не только очень полезной, но в ряде случаев единственно применимой при изучении систем. Например, при исследовании психики человека или влияния лекарства на живой организм мы лишены возможности вмешательства в систему иначе, как только через ее входы, и выводы делаем только на основании наблюдения за ее выходами. Это вообще относится к таким исследованиям, в результате проведения которых нужно получить данные о системе в обычной для нее обстановке, где следует специально заботиться о том, чтобы измерения как можно меньше влияли на саму систему. Другая причина того, что приходится ограничиваться только моделью "черного ящика", — действительное отсутствие данных о внутреннем устройстве системы. Например, мы не знаем, как "устроен" электрон, но знаем, как он взаимодействует с электрическими и магнитными полями, с гравитационным полем. Это и есть описание электрона на уровне модели "черного ящика".

1.2 Построение модели состава системы

Очевидно, что вопросы, касающиеся внутреннего устройства системы, невозможно решить только с помощью модели "черного ящика". Для этого необходимы более развитые, более детальные модели.

Компоненты модели состава

При рассмотрении любой системы прежде всего обнаруживается то, что ее целостность и обособленность (отображенные в модели черного ящика) выступают как внешние свойства. Внутренность же "ящика" оказывается неоднородной, что позволяет различать составные части самой системы. При более детальном рассмотрении некоторые части системы могут быть, в свою очередь, разбиты на составные части и т.д. Те части системы, которые мы рассматриваем как неделимые, будем называть элементами. Части системы, состоящие более чем из одного элемента, назовем подсистемами. При необходимости можно ввести обозначения или термины, указывающие на иерархию частей (например, "подподсистемы", или "подсистемы такого-то уровня").

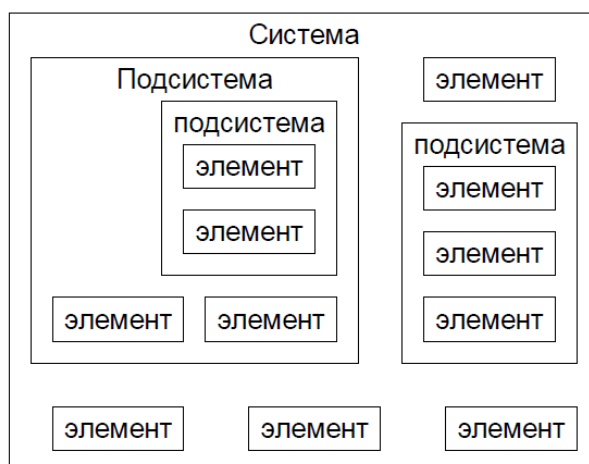


Рисунок 2 — Модель состава системы

В результате получается модель состава системы, описывающая, из каких подсистем и элементов она состоит (рис. 2).

Рассмотрим упрощенные примеры моделей состава для некоторых систем.

№	Система	Подсистемы	Элементы
1	Система телевидения “Орбита”	Подсистема передачи	Центральная телестудия.
			Антенно-передающий центр
		Канал связи	Среда распространения радиоволн.
			Спутники-ретрансляторы
2	Семья	Приемная подсистема	Местные телецентры.
			Телевизоры потребителей.
			Муж
			Жена
			Предки
		Имущество семьи	Потомки
			Другие родственники
3	Отопительная система жилого дома	Источники тепла	Общее жилье и хозяйство.
			Личная собственность членов семьи.
		Подсистема распределения и доставки	Котельная или отвод от центральной теплотрассы
			Трубы
			Калориферы
		Подсистема эксплуатации	Вентиляторы
			Службы эксплуатации и ремонта.
			Персонал.

Сложности построения модели состава системы

Построение модели состава системы только на первый взгляд кажется простым делом. Если дать разным экспертам задание определить состав одной и той же системы, то результаты их работы будут различаться, и иногда довольно значительно. Причины этого состоят не только в том, что у них может быть различная степень знания системы: один и тот же эксперт при разных условиях также может дать разные модели. Существуют, по крайней мере, еще три важные причины этого факта.

Во-первых, разные модели состава получаются вследствие того, что понятие элементарности можно определить по-разному. То, что с одной точки зрения является элементом, с другой — оказывается подсистемой, подлежащей дальнейшему разделению.

Во-вторых, как и любые модели, модель состава является целевой, и для различных целей один и тот же объект потребуется разбить на разные части. Например, один и тот же завод для директора, главного бухгалтера, начальника пожарной охраны состоит из

совершенно различных подсистем. Точно так же модели состава самолета с точек зрения летчика, стюардессы, пассажира и аэродромного диспетчера окажутся различными. То, что для одного обязательно войдет в модель может совершенно не интересовать другого.

В-третьих, модели состава различаются потому, что всякое разделение целого на части, всякое деление системы на подсистемы является относительным, в определенной степени условным. Например, тормозную систему автомобиля можно отнести либо к ходовой части, либо к подсистеме управления. Другими словами, границы между подсистемами условны, относительны, модельны.

Это относится и к границам между самой системой и окружающей средой; поэтому остановимся на этом моменте подробнее. В качестве примера рассмотрим систему "часы". Какую бы природу ни имели устройства, которые мы называем часами, в них можно выделить две подсистемы: датчик времени, т.е. процесс, ход которого изображает течение времени (это может быть равномерное раскручивание пружины, электрический ток с некоторым постоянным параметром, равномерное течение струйки песка, вращение Земли вокруг своей оси, колебания некоторой молекулы и т.д.); индикатор времени, т.е. устройство, преобразующее, отображающее состояние датчика в сигнал времени для пользователя. Модель состава часов можно считать полностью исчерпанной (если снова не разбивать эти две подсистемы). Однако, поскольку фактически каждые часы показывают состояние своего датчика, рано или поздно их показания разойдутся между собой. Выход из этого положения состоит в синхронизации всех часов с неким общим для всех эталоном времени, например с помощью сигналов "точного времени", передаваемых по радио. Здесь и возникает вопрос: включать ли эталон времени в состав часов как системы или рассматривать часы как подсистему в общей системе указания времени?

Из всего вышесказанного можно сделать вывод:

Модель состава системы отображает, из каких частей (подсистем и элементов) состоит система. Главная трудность в построении модели состава заключается в том, что разделение целостной системы на части является относительным, условным, зависящим от целей моделирования (это относится не только к границам между частями системы, но и к границам самой системы). Кроме того, относительным является и определение самой малой части — элемента.

1.3 Построение модели структуры системы

Еще раз подчеркнем, что для достижения ряда практических целей достаточно модели "черного ящика" или модели состава. Однако очевидно, что есть вопросы, решить которые с помощью этих моделей нельзя. Чтобы получить велосипед, недостаточно иметь "ящик" со всеми отдельными его деталями (состав налицо). Необходимо еще правильно соединить все детали между собой, или, говоря более общно, установить между элементами определенные связи — *отношения*. Совокупность необходимых и достаточных для достижения цели отношений между элементами называется структурой системы.

Отношения и структуры

Перечень связей между элементами (т.е. структура системы) является отвлеченной, абстрактной моделью: установлены только отношения между элементами, но не рассмотрены сами элементы. Хотя на практике безотносительно к элементам говорить о связях можно лишь после того, как отдельно рассмотрены сами элементы (т.е. рассмотрена модель состава), теоретически модель структуры можно изучать отдельно.

Бесконечность природы проявляется и в том, что между реальными объектами, вовлеченными в систему, имеется невообразимое (может быть, бесчисленное) количество отношений. Однако когда мы рассматриваем некоторую совокупность объектов как систему, то из всех отношений важными, т.е. существенными для достижения цели, являются лишь некоторые. Точнее, в модель структуры (т.е. в список отношений) мы

включаем только конечное число связей, которые, по нашему мнению, существенны по отношению к рассматриваемой цели.

Пример. Рассмотрим систему "часы вообще". Считаем, что в состав такой системы входят три элемента: датчик, индикатор и эталон времени. Структура часов определяется следующими отношениями между парами элементов:

Пара элементов	Связь между ними
Датчик и индикатор	Приблизительное соответствие
Эталон и датчик	Приблизительное соответствие
Индикатор и эталон	Периодическое сравнение и устранение расхождения

Отношения между элементами могут быть самыми разнообразными. Однако можно попытаться их классифицировать и по возможности перечислить. Трудность состоит в том, что мы знаем не все реально существующие отношения и вообще неизвестно, является ли конечным их число. Интересное исследование было проведено с естественными языками. Выделение языковых конструкций, выражающих отношения (типа находиться на (под, около, ...), быть причиной, быть подобным, быть одновременно, состоять из, двигаться к (от, вокруг, ...) и т.п.), привело к выводу, что в английском, итальянском и русском языках число выражаемых отношений примерно одинаково и немного превышает 200. Этот результат не может служить доказательством конечности числа отношений, но сам факт дает повод для размышлений.

Свойства и отношения

Рассмотрим связь между понятиями "отношение" и "свойство". *В отношении участвует не менее двух объектов, а свойством мы называем некий атрибут одного объекта.* Это различие отражается и при их математическом описании.

Пусть E — множество. Любое свойство, которым может обладать элемент $x \in E$, задает в E подмножество $A \subseteq E$ всех элементов, обладающих этим свойством. Пусть задано некоторое отношение R , в котором могут находиться элементы x и y множества E , записанные в указанном порядке. Если они находятся в заданном отношении, то используется запись xRy , если нет — запись \overline{xRy} . Множество всех упорядоченных пар (x, y) (т.е. (x, y) и (y, x) — разные пары при $x \neq y$) называется произведением $E \times E$. Рассмотрим подмножество $R \subseteq E \times E$ всех пар, для которых xRy . Задание этого подмножества и является заданием отношения. Если теперь ввести понятие *многომестного* (а не только *двуместного*, *бинарного*) отношения, то свойство оказывается *одноместным* (*унарным*) отношением.

Однако нас интересует не только формальное доказательство того, что свойство есть частный случай отношения: это скорее следствие теоретико-множественного определения отношения как подмножества. Важнее проследить содержательную связь свойства и отношения. Во-первых, любое свойство, даже если его понимать как потенциальную способность обладать определенным качеством, выявляется в процессе взаимодействия объекта (носителя свойства) с другими объектами, т.е. в результате установления некоторого отношения. Чтобы убедиться в том, что мяч красный, мало иметь мяч, нужны еще источник белого света и анализатор света, отраженного от мяча (еще и не всякий анализатор пригоден; например, глаз дальтоника не может установить цвет мяча). Во-вторых, можно сделать дальнейшее обобщение и выдвинуть следующее предположение: свойство — это не атрибут объекта, а лишь определенная абстракция отношения, экономящая мышление. Мы "коротко и ясно" говорим, что стекло прозрачно, вместо того чтобы каждый раз говорить об отношении между лучом света, падающим на поверхность стекла, самим листом стекла и приемником света, находящимся по другую сторону этого листа. Другими словами, можно утверждать, что свойство — это свернутое отношение.

Вывод: модель структуры системы отображает связи между компонентами модели ее состава, т.е. совокупность связанных между собой моделей "черного ящика" для каждой из частей системы.

1.4 Построение структурной схемы системы

Объединяя все изложенное в предыдущих параграфах, можно сформулировать второе определение системы: *система есть совокупность взаимосвязанных элементов, обособленная от среды и взаимодействующая с ней как целое.*

Структурная схема системы как соединение моделей

Очевидно, что это определение охватывает модели "черного ящика", состава и структуры. Все вместе они образуют еще одну модель, которую будем называть **структурной схемой системы**; в литературе встречаются также термины "белый ящик", "прозрачный ящик", подчеркивающие ее отличие от модели "черного ящика", а также термин "конструкция системы", который мы будем использовать для обозначения материальной реализации структурной схемы системы. В структурной схеме указываются все элементы системы, все связи между элементами внутри системы и связи определенных элементов с окружающей средой (входы и выходы системы).

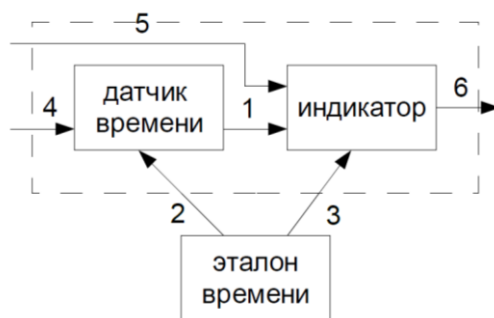


Рисунок 3 — Структурная схема часов

Пример 1. Структурная схема системы "синхронизируемые часы" приведена на рис. 1. Элементы системы изображены в виде прямоугольников; вход 4 изображает поступление энергии извне; вход 5 соответствует регулировке индикатора; выход 6 — показание часов.

Все структурные схемы имеют нечто общее, и это побудило математиков рассматривать их как особый объект математических исследований. Для этого пришлось абстрагироваться от содержательной стороны структурных схем, оставив в рассматриваемой модели только общее для каждой схемы. В результате получилась схема, в которой обозначается только наличие элементов и связей между ними, а также (в случае необходимости) разница между элементами и между связями. Такая схема называется **графом**. Следовательно, граф состоит из обозначений элементов произвольной природы, называемых *вершинами*, и обозначений связей между ними, называемых *ребрами* (иногда дугами). На рисунке 4 изображен граф: вершины обозначены в виде кружков, ребра — в виде линий. Часто бывает необходимо отразить несимметричность некоторых связей; в таких случаях линию, изображающую ребро, снабжают стрелкой (в таком случае ребро становится дугой). Если направления связей не обозначаются, то граф называется *неориентированным*, при наличии стрелок — *ориентированным* (полностью или частично). Данная пара вершин может быть соединена любым количеством ребер; вершина может быть соединена сама с собой (тогда ребро называется *петлей*). Если в графе требуется отразить другие различия между элементами или связями, то либо приписывают разным ребрам различные веса (*взвешенные графы*), либо раскрашивают вершины или ребра (*раскрашенные графы*).

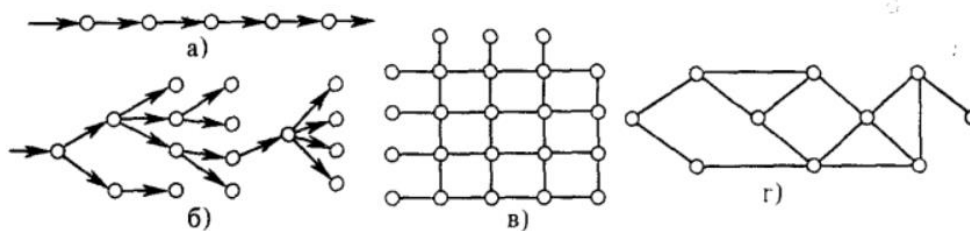


Рисунок 4 — Графы, соответствующие различным структурам: а) линейная структура; б) древовидная структура; в) матричная структура; г) сетевая структура

Оказалось, что для графов может быть построена интересная и содержательная теория, имеющая многочисленные приложения. Разнообразные задачи этой теории связаны с различными преобразованиями графов, а также с возможностью рассмотрения различных отношений в графах: весов, рангов, цветов, вероятностных характеристик (*стохастические графы*) и т.д. В связи с тем, что множества вершин и ребер формально можно поменять местами, получается два разных представления системы в виде *вершинного* или в виде *реберного* графа. Оказывается, что в одних задачах удобнее использовать вершинный, а в других — реберный граф.

Графы могут изображать любые структуры, если не накладывать ограничений на пересеканость ребер. Некоторые типы структур имеют особенности, важные для практики, они выделены из других и получили специальные названия. Так, в организационных системах часто встречаются *линейные*, *древовидные* (*иерархические*) и *матричные структуры*; в технических системах чаще встречаются сетевые структуры (см. рис. 4); особое место в теории систем занимают *структуры с обратными связями*, которые соответствуют кольцевым путям в ориентированных графах.

Пример 2. Структурная схема ЭВМ пятого поколения, с помощью которой пользователь, не умеющий программировать, может решать достаточно сложные задачи, приведена на рисунке 6. Отметим, что в этой схеме имеются и иерархические, и линейные, и обратные связи.

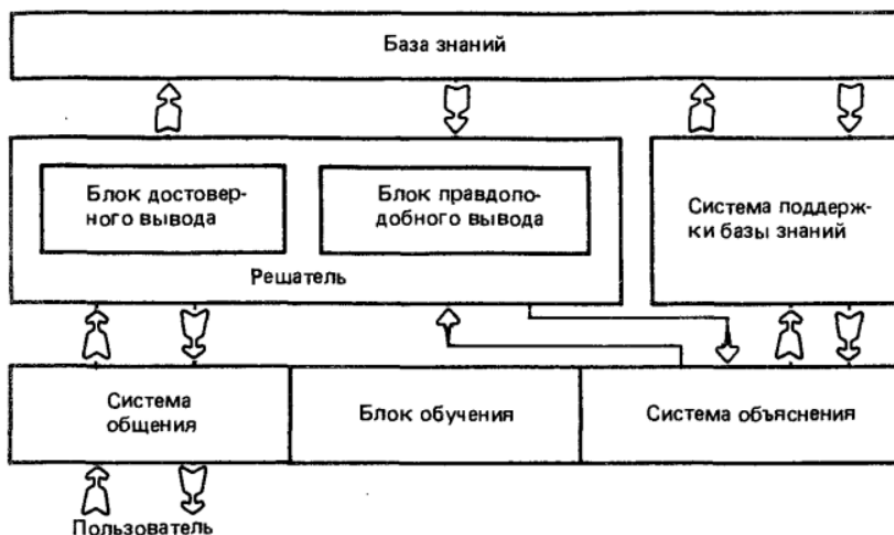


Рисунок 5 — Структурная схема ЭВМ

Одной структурной информации, которая содержится в графах, для ряда исследований недостаточно. В таких случаях методы теории графов становятся вспомогательными, а главным является рассмотрение конкретных функциональных связей между входными, внутренними и выходными переменными системы.

Вывод. Структурная схема системы является наиболее подробной и полной моделью любой системы на данном этапе нашего познания. При этом остается актуальным вопрос об адекватности этой модели, разрешаемый только на практике.

Объединив модели "черного ящика", состава и структуры системы, мы получим самую полную (для наших целей), самую подробную (для нашего уровня знаний) модель системы — ее структурную схему.

1.5 Вопросы для самопроверки

1. Дайте понятие цели.
2. Что представляет собой система?
3. Главное свойство системы.
4. Модель «черный ящик» и трудности ее построения.
5. Свойства системы.
6. Множественность «входов» и «выходов» «черного ящика».
7. Расскажите о неуказанных Вами «входах» и «выходах» вследствие их малой значимости.
8. Дайте понятие системы.
9. Назовите делимые и неделимые части системы.
10. Что представляет собой подсистема?
11. Расскажите о своей модели состава системы.
12. В чем заключаются сложности построения модели состава системы?
13. Что отображает модель состава системы?
14. Что представляют собой системные границы? Приведите примеры.
15. Какие отношения могут быть между элементами системы?
16. Что собой представляет модель структуры системы?
17. Что такое граф и из каких элементов он состоит?
18. Какие виды графов знаете? Охарактеризуйте их.

1.6 Возможные варианты системы для моделирования

- | | |
|--|---|
| 1. Автомобиль | 23. Калькулятор |
| 2. Аэрогриль | 24. Капсульная кофеварка |
| 3. Барбекю | 25. Керосинка |
| 4. Безмен | 26. Кипятильник |
| 5. Беспроводные наушники | 27. Клавиатура |
| 6. Блендер | 28. Колонки (проводные, портативные) |
| 7. Бойлер | 29. Компьютер |
| 8. Бытовой холодильник | 30. Компьютерная мышь |
| 9. Вафельница | 31. Кофемашина (автоматическая, полуавтоматическая) |
| 10. Велосипед | 32. Кофемолка |
| 11. Весы кухонные | 33. Кухонная вытяжка |
| 12. Видеокамера | 34. Кухонная плита (электрическая, газовая) |
| 13. Водонагреватель (газовый, электрический, дровяной) | 35. Кухонный комбайн |
| 14. Выпрямитель для волос / Плойка | 36. Микроволновая печь |
| 15. Газовая плита | 37. Микрофон |
| 16. Гитара | 38. Миксер |
| 17. Двигатель | 39. Монитор |
| 18. Домашний кинотеатр | 40. Мороженица |
| 19. Домофон | 41. Мультиварка |
| 20. Измельчитель пищевых отходов | 42. Мясорубка |
| 21. Индукционная плита | |
| 22. Йогуртница | |

- | | | |
|-------------------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| 43. Наушники | (проводные, | 61. Соковыжималка |
| беспроводные) | | 62. Солнечный водонагреватель |
| 44. Ноутбук | | 63. Стиральная машина |
| 45. Обогреватель | (электрический, | 64. Судно (водный вид транспорта) |
| масляный) | | 65. Телевизор |
| 46. Оконный кондиционер | | 66. Телескоп |
| 47. Отпариватель | | 67. Тостер |
| 48. Планшет | | 68. Увлажнитель воздуха |
| 49. Плеер (проигрыватель) | | 69. Утюг |
| 50. Погружной блендер | | 70. Фен |
| 51. Поезд | | 71. Фотоаппарат |
| 52. Портативное зарядное устройство | | 72. Холодильник |
| 53. Посудомоечная машина | | 73. Цифровая фоторамка |
| 54. Принтер | | 74. Чайник |
| 55. Пылесос | | 75. Электрический чайник |
| 56. Робот-пылесос | | 76. Швейная машина |
| 57. Самовар | | 77. Электробритва |
| 58. Самолёт / вертолёт | | 78. Электронная книга |
| 59. Смарт браслет | | 79. Электросамокат |
| 60. Смартфон | | |

1.7 Задание

1. Выберите систему для моделирования. При выборе учитывайте, что вам должны быть известны хотя бы в общих чертах структура и принципы функционирования системы, а так же ее назначение.
2. Дать краткую характеристику выбранной системе (для чего предназначена, где используется, кто является потенциальным пользователем, кто или что использует данную систему).
3. Постройте модель чёрного ящика для выбранной системы. Перечислите входы и выходы, нежелательные входы и выходы, а также предложите способы устранения недостатков системы.
4. Постройте модель состава системы.
5. Постройте модель структуры системы: свойства системы, свойства подсистем, отношения между подсистемами.
6. Постройте структурную схему системы. Для реализации предлагается использовать такие программные средства, как Microsoft Visio или Draw.io.
7. Оформить всё в виде отчета. При этом вначале необходимо указать цель работы и выбранную модель.

Лабораторная работа №2. Решение многокритериальных задач

Цель: построение алгоритма и разработка программы сведения многокритериальной задачи к однокритериальной.

В процессе принятия решений люди могут играть разные роли. Человека, фактически осуществляющего выбор наилучшего варианта действий, принято называть *лицом, принимающим решения (ЛПР)*.

Альтернативы. Принятие решения всегда предполагает выбор одного из возможных вариантов действий. Такие возможные варианты действий принято называть *альтернативами*. Составление списка альтернатив или ограничений, выделяющих потенциально реализуемые альтернативы среди всевозможных, — неотъемлемая часть формализации проблемы принятия решений: для наличия задачи выбора решений необходимо иметь хотя бы две альтернативы.

Существенно различаются задачи принятия решений, в которых список альтернатив заранее задан, так что необходимо лишь выбрать лучшие из этого списка, и задачи, в которых заданы ограничения, а сами альтернативы пока не известны. В качестве примера задачи первого типа можно привести задачу выбора наиболее подходящего университета, автомобиля и т.д. К задаче второго типа относится, например, разработка правила выдачи кредитов в банке для организаций или частных лиц.

Когда альтернатив много (сотни и тысячи), ЛПР не может уделить достаточно времени и внимания для анализа каждой из них, поэтому возникает необходимость в средствах поддержки выбора решений. В подобных средствах может существовать потребность и тогда, когда число альтернатив невелико (скажем, до 20). В таких задачах, как, например, выбор трассы газопровода или плана развития города, число альтернатив, с рассмотрения которых начинается выбор, сравнительно немного. Но они не являются единственно возможными. Часто на их основе в процессе выбора возникают новые альтернативы. Первичные, основные, альтернативы не всегда устраивают участников процесса выбора. Однако они помогают понять, чего конкретно не хватает в рассматриваемых альтернативах при данной ситуации. Этот класс задач называют *задачами с конструируемыми альтернативами*.

Критерии выбора решения. В современной теории принятия решений считается, что варианты решений характеризуются различными показателями их привлекательности для ЛПР. Эти показатели называют признаками, факторами, атрибутами или показателями качества. Все они служат критериями выбора решения. В подавляющем большинстве реальных задач имеется достаточно много критериев. Эти критерии могут быть независимыми или зависимыми.

Допустим, две сравниваемые альтернативы имеют различные оценки по первой группе критериев и одинаковые — по второй группе. В теории принятия решений критерии считаются зависимыми, если предпочтения ЛПР при сравнении альтернатив меняются в зависимости от значений одинаковых оценок по второй группе критериев. Предположим, что человек при покупке автомобиля учитывает три критерия: цену (чем меньше, тем лучше), размер (чем больше, тем лучше) и конструкцию коробки передач (автоматическая лучше механической). Пусть по третьему критерию сравниваемые автомобили имеют одинаковую оценку. Тогда ЛПР предпочитает большую и сравнительно дешевую машину небольшой и более дорогой при автоматической коробке передач. Но его предпочтения могут измениться на противоположные при механической коробке передач из-за трудностей в вождении большой машины. В данном примере критерии являются зависимыми.

На сложность задач принятия решений влияет также число критериев. При небольшом числе критериев (скажем, при двух) задача сравнения двух альтернатив достаточно проста и прозрачна, значения критериев могут быть непосредственно сопоставлены и может быть выработана предпочтительная альтернатива. При большом

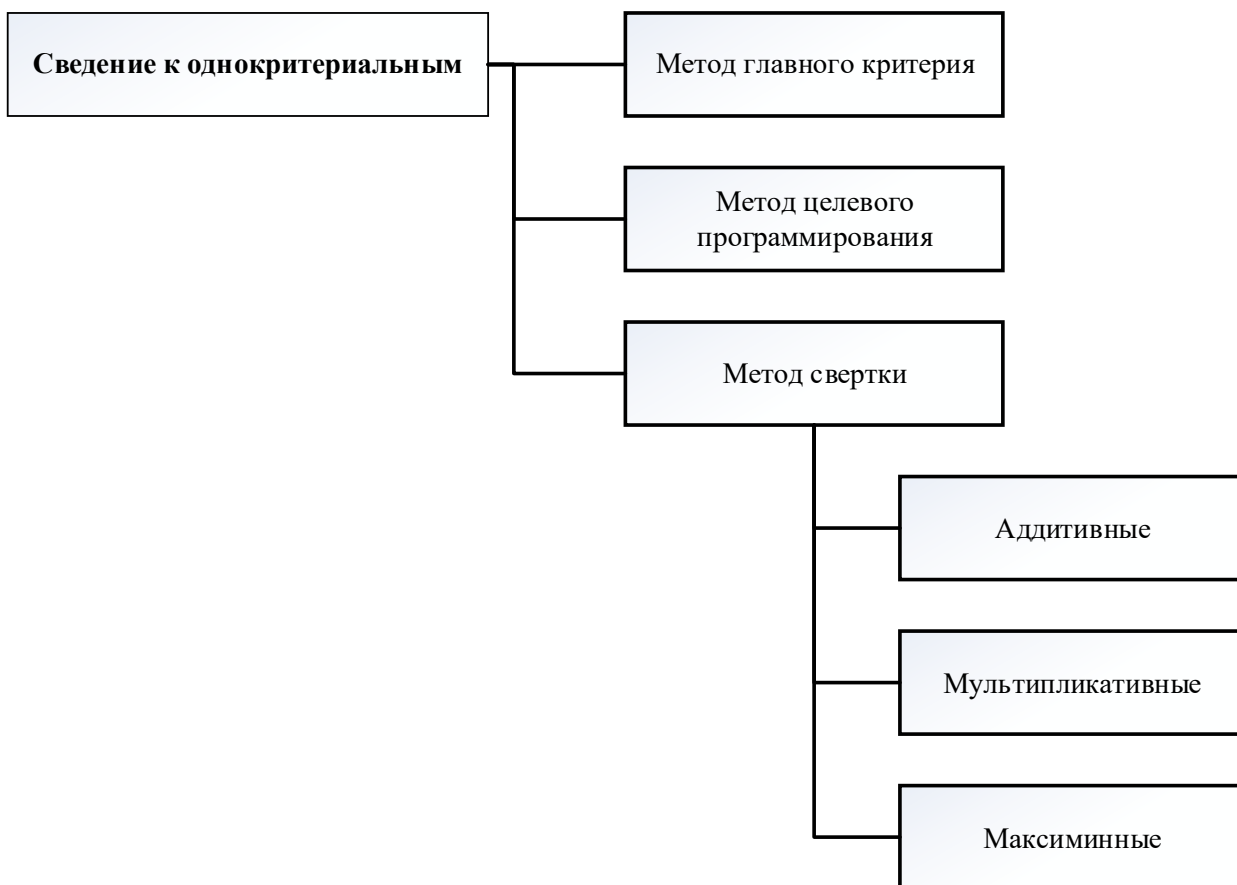
числе критериев задача становится необозримой для ЛПР. К счастью, при большом числе критериев они обычно могут быть объединены в группы, имеющие конкретное смысловое значение. Такие группы критериев, как правило, независимы. Выявление структуры на множестве критериев делает процесс принятия решений значительно более осмысленным и эффективным.

Использование критериев выбора решения для оценки альтернатив требует определения градаций величин критериев: лучших, худших и промежуточных оценок. Другими словами, существуют шкалы оценок по критериям. В принятии решений различают шкалы непрерывных и дискретных оценок, шкалы количественных и качественных оценок. Так, для критерия “стоимость автомобиля” может быть использована непрерывная количественная шкала оценок (в денежных единицах). Для критерия “цвет автомобиля” должна быть использована качественная шкала. Существуют и другие, более тонкие классификации шкал.

Выделение наилучшей альтернативы. Задача выделения наилучшей альтернативы считается одной из основных в принятии решений. Хорошо известны такие примеры как выбор одного предмета при покупке, выбор места работы, выбор проекта сложного технического устройства. Задачи выбора распространены в мире политических решений, где альтернатив бывает сравнительно немного, но они достаточно сложны для изучения и сравнения.

Рассмотрим наиболее употребительные способы решения многокритериальных задач. Первый способ состоит в том, чтобы *многокритериальную задачу свести к однокритериальной*.

Классификация метода «Сведение к однокритериальным»:



Критериальный подход основывается на том, что всякую альтернативу можно охарактеризовать одним или несколькими свойствами (параметрами), которые можно измерить в одной из сильных шкал. Это означает введение суперкритерия, т.е. скалярной

функции векторного аргумента. Каждый критерий для какой-либо альтернативы представляется как:

$$q(x_i)$$

или вектор

$$q(x_i) = \{(q_1(x), q_2(x), \dots, q_p(x))\}.$$

В случае, когда критерий один: алгоритм называется **максимизацией критерия** (выбирается альтернатива с максимальным значением данного критерия):

$$x^* = \arg \max \{q(x_i)\}.$$

$$x^* = \arg \max_{x \in X} g_0(q_1(x), q_2(x), \dots, q_p(x)).$$

В случае многокритериальной задачи осуществляется введение суперкритерия некоторой функции, зависящей от всех критериев:

$$q_0(x) = g_0(q_1(x), q_2(x), \dots, q_p(x))$$

Соответственно

$$x^* = \arg \max_{x \in X} g_0(q_1(x), q_2(x), \dots, q_p(x)).$$

Суперкритерий позволяет упорядочить альтернативы по величине q_0 , выделив тем самым наилучшую (в смысле этого критерия). Вид функции q_0 определяется тем, как мы представляем себе вклад каждого критерия в суперкритерий; обычно используют аддитивные или мультипликативные функции.

Суперкритерий может быть аддитивным – сложение выполняется всех критериев к одной безразмерной величине и единому масштабу:

$$q_0 = \sum_{i=1}^p \frac{\alpha_i \cdot q_i}{S_i}$$

где $\frac{q_i}{S_i}$ — частный критерий; q_i — критерий; S_i — коэффициент, обеспечивающий безразмерность; α_i — весовой коэффициент параметра, показывает степень влияния данного критерия на суперкритерий, при этом $\sum_{i=1}^p \alpha_i = 1$; p — количество критериев; i — номер критерия.

Суперкритерий может быть мультипликативным:

$$1 - q_0 = \prod_{i=1}^p \left(1 - \frac{\beta_i \cdot q_i}{S_i}\right)$$

где $\frac{\beta_i \cdot q_i}{S_i} < 1$, β_i — относительный вклад частных критериев в суперкритерий.

Коэффициенты S_i обеспечивают, во-первых, безразмерность числа q_i/S_i (частные критерии могут иметь разную размерность, и тогда некоторые арифметические операции над ними, например сложение, не имеют смысла) и, во-вторых, в необходимых случаях (как в вышеприведенной формуле) выполнение условия $\frac{\beta_i q_i}{S_i} \leq 1$. Коэффициенты α_i и β_i , отражают относительный вклад частных критериев в суперкритерий.

Итак, при данном способе задача сводится к максимизации суперкритерия:

Очевидные достоинства объединения нескольких критериев в один суперкритерий сопровождаются рядом трудностей и недостатков, которые необходимо учитывать при использовании этого метода. Оставив в стороне трудности построения самой функции и вычислительные трудности ее максимизации, обратим внимание на следующий очень важный момент. Упорядочение точек в многомерном пространстве в принципе не может быть однозначным и полностью определяется видом упорядочивающей функции. Суперкритерий играет роль этой упорядочивающей функции, и его даже "небольшое" изменение может привести к тому, что оптимальная в новом смысле альтернатива окажется очень сильно отличающейся от старой. Заметим, что линейные комбинации частных критериев придают упорядочению следующий смысл: "чем дальше от нуля в заданном направлении, тем лучше". Идея такого упорядочивания в многомерном

пространстве заложена в некоторых балльных системах оценки вариантов. Другой вариант поиска альтернативы, самой удаленной от нуля в заданном направлении, дает максимизация минимального критерия:

$$x^* = \arg \max_{x \in X} \left\{ \min_i \frac{\alpha_i q_i(x)}{s_i} \right\},$$

что означает поиск вокруг направления $\frac{\alpha_i q_i}{s_i} = \text{const}$ методом "подтягивания самого отстающего".

Задание Определите набор критериев и возможные варианты выбора для смоделированной системы в лабораторной работе №1.

2. Создайте несколько вариантов функции сведения многокритериальной задачи к однокритериальной
3. Покажите зависимость выбора оптимального варианта в зависимости от весов коэффициентов (α и β)
4. Из выбранного набора критериев постройте граф предпочтений
5. Покажите, что если граф предпочтения сильно транзитивен и антирефлексивен, то выбор сводится к однокритериальной задаче.
6. Сделайте вывод о полученных результатах. Какая из выбранных альтернатив оказалась наилучшей?
7. Полученные результаты зафиксируйте в виде отчета.

Лабораторная работа №3. Оптимальные и удовлетворительные решения

Цель: построение алгоритма и разработка программы нахождения оптимальных и удовлетворительных решений

3.1 Поиск альтернативы с заданными свойствами (минимизация расстояний)

Данный способ многокритериального выбора относится к случаю, когда заранее могут быть указаны значения частных критериев (или их границы), и задача состоит в том, чтобы найти альтернативу, удовлетворяющую этим требованиям, либо, установив, что такая альтернатива во множестве X отсутствует, найти в X альтернативу, которая подходит к поставленным целям ближе всего.

Характеристики решения такой задачи (сложность процесса вычислений, скорость сходимости, конечная точность и пр.) зависят от многих факторов.

Удобным свойством является возможность задавать желательные значения \bar{q}_i , критериев как точно, так и в виде верхних или нижних границ; назначаемые значения величин \bar{q}_i иногда называют *уровнями притязаний*, а точку их пересечения в p -мерном пространстве критериев x^* — *целью* или *опорной точкой* (идеальной точкой).

Поскольку уровни притязаний задаются без точного знания структуры множества X в пространстве частных критериев, целевая точка может оказаться как внутри, так и вне X (достижимая или недостижимая цель).

Идея оптимизации состоит в том, чтобы, начав с любой альтернативы, приближаться к x^* по некоторой траектории в пространстве X . Это достигается введением числовой меры близости между очередной альтернативой x и целью x^* , то есть между векторами $q(x) = (q_1(x), \dots, q_p(x))$ и $\bar{q} = (\bar{q}_1, \dots, \bar{q}_p)$.

Можно по-разному количественно описать эту близость. Например, используя расстояния типа

$$d_k(q, \bar{q}) = \left(\sum_{i=1}^p \omega_i |q_i(x) - \bar{q}_i|^k \right)^{1/k}$$

При этом $\omega_i = \frac{\alpha_i}{S_i}$ — коэффициент, приводящий слагаемые к одинаковой размерности и одновременно учитывающий разноточность критериев; $d_k(q, \bar{q})$ — удаленность альтернативы от эталона; \bar{q}_i — эталонный, желаемый набор критериев (целевые значения).

Целевое значение — минимальное значение из полученных:

$$x^* = \arg \min \{ \dots, \dots, \dots \}$$

3.2 Нахождение множества Парето

Еще один полностью формализуемый способ многокритериального выбора состоит в отказе от выделения единственной "наилучшей" альтернативы и соглашении о том, что *предпочтение одной альтернативе перед другой можно отдавать только если первая по всем критериям лучше второй*. Если же предпочтение хотя бы по одному критерию расходится с предпочтением по-другому, то такие альтернативы признаются несравнимыми. В результате попарного сравнения альтернатив все худшие по всем критериям альтернативы отбрасываются, а все оставшиеся несравнимые между собой (недоминируемые) принимаются. Если все максимально достижимые значения частных критериев относятся к одной и той же альтернативе, то принятые альтернативы образуют **множество Парето** и выбор на этом заканчивается. На рисунке 6 жирной линией выделено множество Парето для рассматриваемого примера. При необходимости же выбора единственной альтернативы следует привлекать дополнительные соображения: вводить новые добавочные критерии и ограничения, либо бросать жребий, либо прибегать к услугам экспертов.

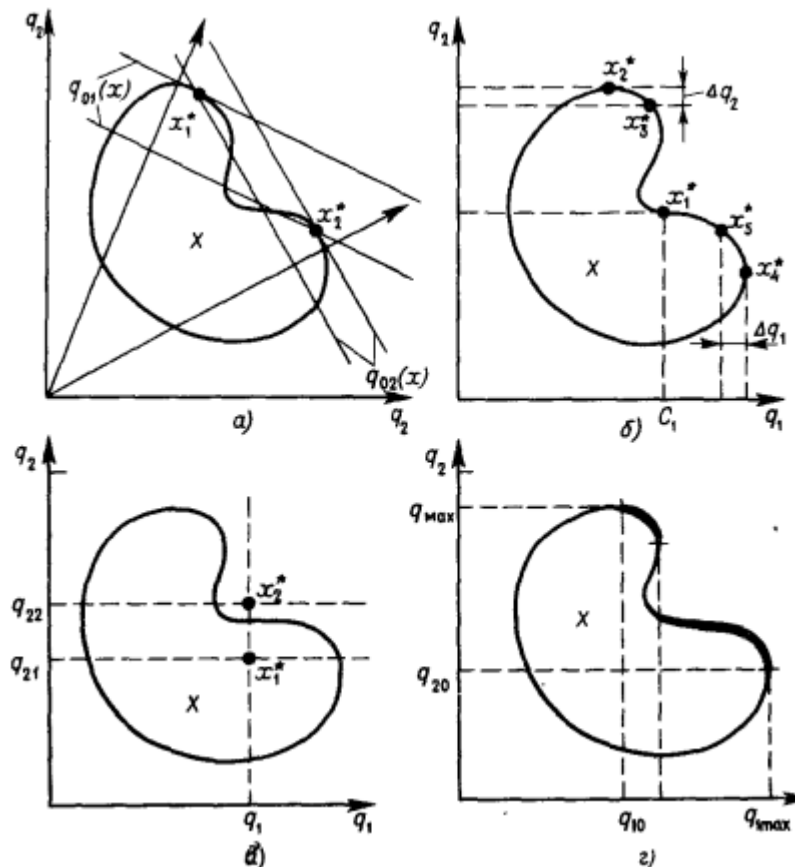


Рисунок 6 – Иллюстрация методов решения многокритериальных задач: а) оптимизация по одному «суперкритерию», являющемуся линейной комбинацией частных критериев; б) метод уступок; в) задание уровней притязания; г) нахождение паретовского множества альтернатив

Рассмотрим пример.

Пусть у нас имеется набор для 2 критериев: (1,2), (2,2), (1,3), (2, 1), (1,1), (2,2). Множество Парето для этого набора будет (2,2), (1,3), (2,2), а если мы добавим ещё (3,2), то останется (3,2) и (1,3).

Замечание: Множество Парето, содержит в себе подмножество всех элементов, каждый из которых является «не хуже» всех остальных.

Окружность в двумерном пространстве. Множеством Парето будет выделенная дуга, где концевые точки это наилучшие значения критериев, но несравнимые между собой.

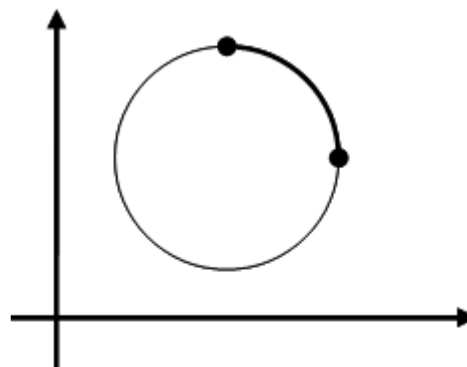


Рисунок 7 - Графическое изображение множества Парето

Задание

1. Составьте пример выбора альтернативы с заданными свойствами:

- ✓ определите набор критериев
 - ✓ определите набор альтернатив
 - ✓ определите набор целевых значений критериев
 - ✓ найдите альтернативы с заданными свойствами либо наиболее близкие к ним
2. На основе набора критериев и набора альтернатив постройте множество Парето. Для построения множества Парето выберите **2 любых критерия**.
 3. Сделайте вывод о полученных результатах
 4. Полученные результаты представьте в виде отчёта

Лабораторная работа №4. Построение и анализ когнитивной карты

Цель: Построение когнитивной карты для заданной предметной области и ее анализ.

Когнитивное картирование, как и другие формы представления исторического знания (фреймы, семантические сети, когнитивная компьютерная графика) с помощью элементарных семантических единиц (рисунок, стрелки, геометрические фигуры) дает возможность пользователю построить модель изучаемого вопроса, символично закодировать и представить слабоструктурированный исторический текст в качестве логичной, наглядной схемы. Когнитивная психология, в рамках которой и возникло когнитивное картирование, акцентирует свое внимание на поиске в структуре мышления человека познавательных базовых конструкций, благодаря которым происходит осмысление реальной информации. Это акцент сделался главным в современном стратегическом менеджменте, различных управленческих компаниях, научной, образовательной и производственной сфер деятельности.

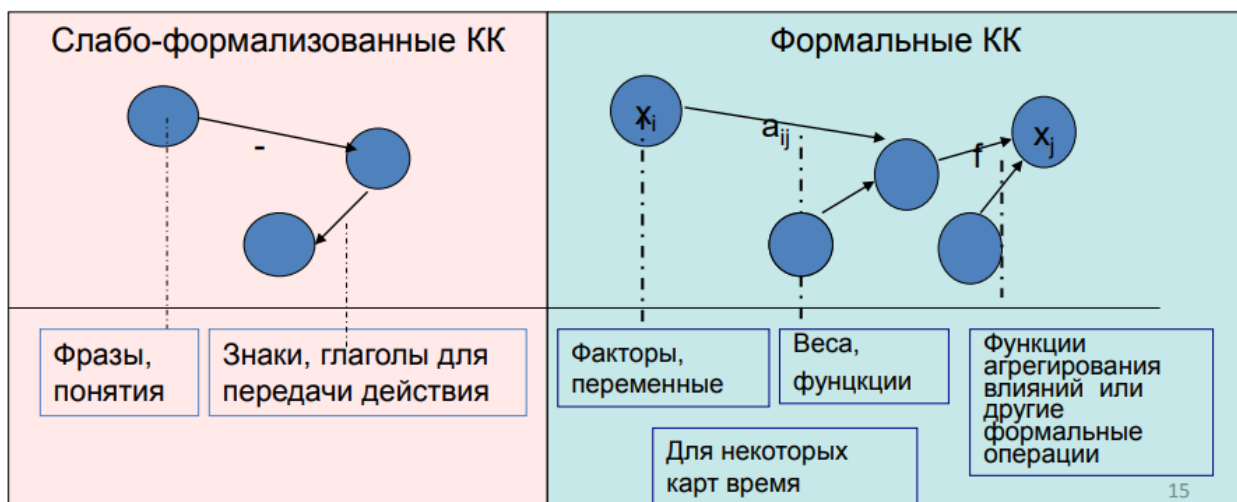
Когнитивная карта (карта познания, cognitive mapping) – это вид математической модели, представленной в виде графа и позволяющей описывать субъективное восприятие человеком или группой людей какого-либо сложного объекта, проблемы или функционирования системы.

Создание когнитивной карты исторического слабоструктурированного текста следует начать с предварительного определения общей направленности исследований. Затем идет выделение исторических фактов, основных понятий, характеризующих изучаемую проблему. Основные понятия объединяются в блоки. Построение частных когнитивных карт отражает отдельные смысловые модули схемы. Каждая частная когнитивная карта есть представление отдельного вопроса исследуемой исторической проблемы. Частные когнитивные карты объединяются в общее представление об исследуемом объекте.

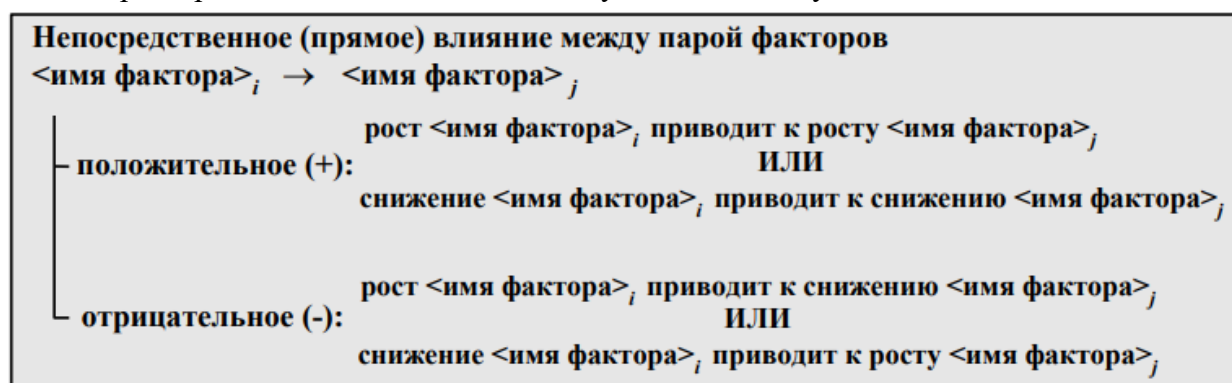
Важным процедурным действием является определение и оценивание значимости связей и взаимосвязей между фактами, внутри и между блоками фактов. Определяются направления и сила влияний и взаимовлияний между фактами. Когнитивная карта-схема рисуется вручную или с помощью специальных программ, где указываются основные понятия и связи между ними, которые указываются стрелками, линиями. Центральным образом (исходным понятием) впоследствии станет то, от которого в итоге отходит больше всего значимых линий. При этом каузальность может быть положительной (есть причинно-следственная связь); отрицательной (отрицание между фактами) и нулевая (связь не детерминирована). Необходима и верификация когнитивной карты (модели), например, путем повторения процедуры другими исполнителями, путем критического осмысления.

Элементы изучаемой системы или объекта называются **концептами**. Концепты в графе представляются вершинами, причинно-следственные связи – направленными дугами, связывающими концепты.

Построение когнитивной карты

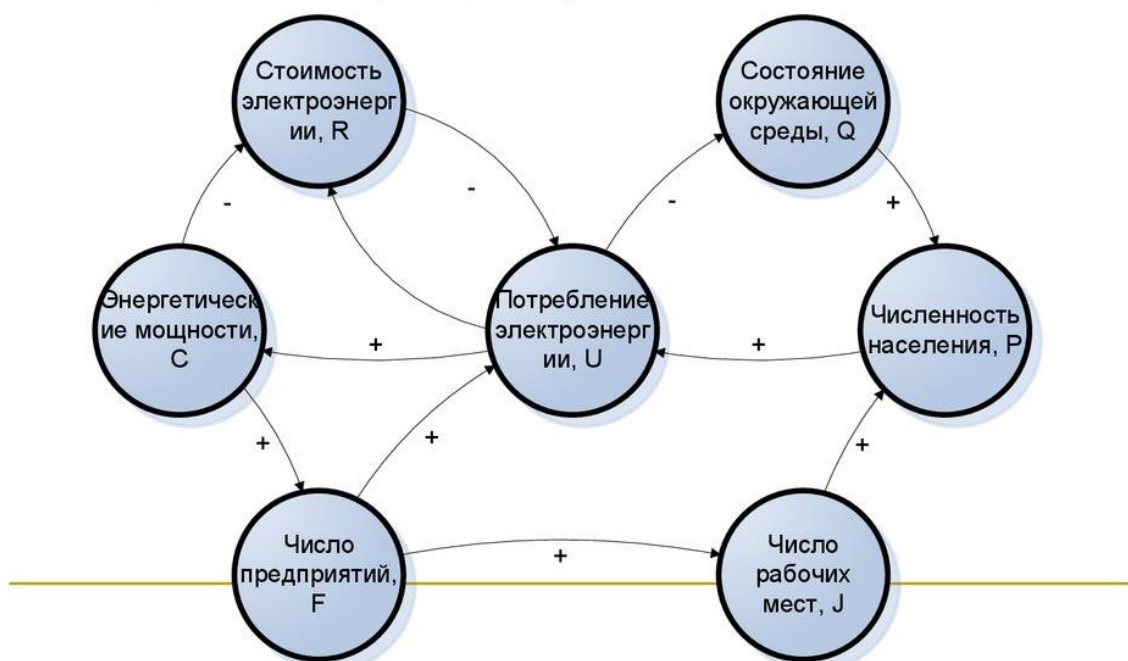


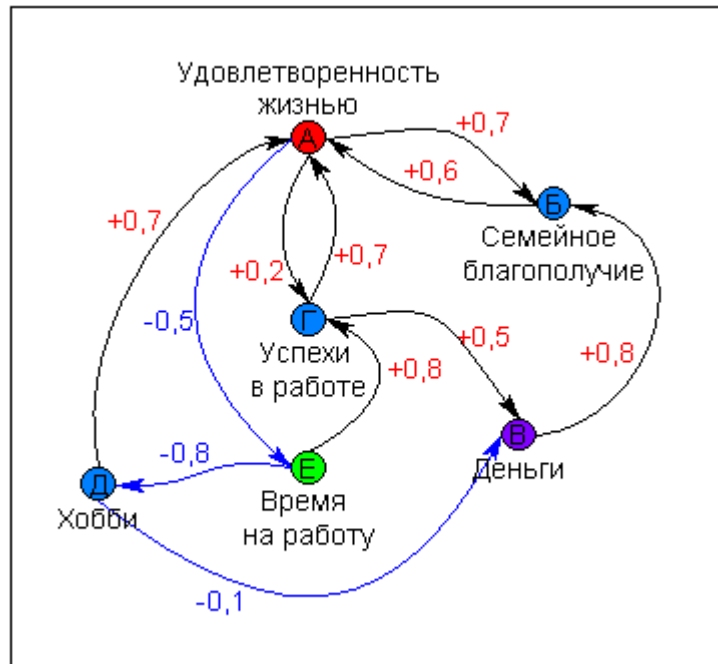
При определении весов необходимо учитывать следующее:



Примеры когнитивных карт

Анализ потребления электроэнергии в регионе





Задание

1. Для выбранной системы построить когнитивную карту. В качестве концептов использовать критерии, выбранные на предыдущих этапах. При необходимости добавить новые.
2. Определить влияние между двумя факторами (критериями). Объяснить, почему выбраны положительные и/или отрицательные отношения. Для отрицательных значений указать, пути уменьшения их влияния.

Лабораторная работа №5. Компьютерное моделирование

Цель: разработка программы, обеспечивающей выполнение основных операций математического моделирования для заданной математической модели.

Результат — программный продукт, позволяющий редактировать графовые конструкции различных видов и производить над ними различные действия.

Требования: у каждого графового редактора должны быть реализованы “общие требования в редактору”, далее реализуется задание в соответствии с вариантом (вариант номер по порядку в списке) и выбирается одно из “дополнительных требований” на выбор студента.

Общие требования к редактору (обязательный функционал):

1. одновременно работать с несколькими графами (MDI);
2. задавать имена графам;
3. сохранять и восстанавливать граф во внутреннем формате программы;
4. создавать, удалять (корректное удаление узла вместе с дугами), именовать, переименовывать, перемещать узлы;
5. создавать ориентированные и неориентированные дуги, удалять дуги;
6. задавать цвет дуги и узла, образ узла;
7. выводить информацию о графе:
 - количество вершин, дуг;
 - степени для всех вершин и для выбранной вершины;

Варианты заданий:

Вариант	Задание
1	Редактор должен позволять: <ol style="list-style-type: none">1. выводить информацию о графе: матрицу смежности; является ли граф связным;2. приведение произвольного графа к связному графу;3. нахождения гамильтоновых циклов;4. вычисление диаметра, радиуса, центра графа;5. вычисление тензорного и декартово произведения двух графов;
2	Редактор должен позволять: <ol style="list-style-type: none">1. создавать и отображать петли;2. выводить информацию о графе: матрицу инцидентности; является ли граф полным;3. приведение произвольного графа к полному графу;4. нахождения гамильтоновых циклов;5. вычисление диаметра, радиуса, центра графа;6. вычисление тензорного и декартово произведения двух графов;
3	Редактор должен позволять: <ol style="list-style-type: none">1. создавать и отображать кратные дуги;2. выводить информацию о графе: матрицу смежности; является ли граф связным;3. приведение произвольного графа к связному графу;4. нахождения эйлеровых циклов,5. поиск всех путей (маршрутов) между двумя узлами и кратчайших;6. вычисление расстояния между двумя узлами;

4	<p>Редактор должен позволять:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. выводить информацию о графе: является ли граф эйлеровым; 2. приведение произвольного графа к бинарному и обычному дереву; 3. нахождения гамильтоновых циклов; 4. вычисление диаметра, радиуса, центра графа; 5. вычисление тензорного и декартово произведения двух графов;
5	<p>Редактор должен позволять:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. выводить информацию о графе: матрицу инцидентности; является ли граф планарным; 2. приведение произвольного графа к планарному графу; 3. нахождения эйлеровых циклов, 4. поиск всех путей (маршрутов) между двумя узлами и кратчайших; 5. вычисление расстояния между двумя узлами;
6	<p>Редактор должен позволять:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. выводить информацию о графе: матрицу смежности; является ли граф деревом; 2. приведение произвольного графа к бинарному и обычному дереву; 3. нахождения гамильтоновых циклов; 4. вычисление диаметра, радиуса, центра графа; 5. вычисление тензорного и декартово произведения двух графов;
7	<p>Редактор должен позволять:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. создавать и отображать петли; 2. выводить информацию о графе: является ли граф полным; 3. приведение произвольного графа к полному графу; 4. нахождения эйлеровых циклов, 5. поиск всех путей (маршрутов) между двумя узлами и кратчайших; 6. вычисление расстояния между двумя узлами;
8	<p>Редактор должен позволять:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. создавать и отображать кратные дуги; 2. выводить информацию о графе: матрицу инцидентности; является ли граф связным; 3. приведение произвольного графа к связному графу; 4. нахождения гамильтоновых циклов; 5. вычисление диаметра, радиуса, центра графа; 6. вычисление тензорного и декартово произведения двух графов;
9	<p>Редактор должен позволять:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. выводить информацию о графе: матрицу смежности; является ли граф эйлеровым; 2. приведение произвольного графа к бинарному и обычному дереву; 3. нахождения эйлеровых циклов, 4. поиск всех путей (маршрутов) между двумя узлами и кратчайших; 5. вычисление расстояния между двумя узлами;
10	<p>Редактор должен позволять:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. выводить информацию о графе: является ли граф планарным; 2. приведение произвольного графа к планарному графу; 3. нахождения гамильтоновых циклов; 4. вычисление диаметра, радиуса, центра графа;

	5. вычисление тензорного и декартово произведения двух графов;
11	<p>Редактор должен позволять</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. выводить информацию о графе: матрицу инцидентности; является ли граф деревом; 2. приведение произвольного графа к бинарному и обычному дереву; 3. нахождения эйлеровых циклов, 4. поиск всех путей (маршрутов) между двумя узлами и кратчайших; 5. вычисление расстояния между двумя узлами;
12	<p>Редактор должен позволять:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. создавать и отображать петли; 2. выводить информацию о графе: матрицу смежности; является ли граф полным; 3. приведение произвольного графа к полному графу; 4. нахождения гамильтоновых циклов; 5. вычисление диаметра, радиуса, центра графа; 6. вычисление тензорного и декартово произведения двух графов;
13	<p>Редактор должен позволять:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. создавать и отображать кратные дуги; 2. выводить информацию о графе: является ли граф связным; 3. приведение произвольного графа к связному графу; 4. нахождения эйлеровых циклов, 5. поиск всех путей (маршрутов) между двумя узлами и кратчайших; 6. вычисление расстояния между двумя узлами;
14	<p>Редактор должен позволять:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. выводить информацию о графе: матрицу инцидентности; является ли граф эйлеровым; 2. приведение произвольного графа к бинарному и обычному дереву; 3. нахождения гамильтоновых циклов; 4. вычисление диаметра, радиуса, центра графа; 5. вычисление тензорного и декартово произведения двух графов;
15	<p>Редактор должен позволять:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. выводить информацию о графе: матрицу смежности; является ли граф планарным; 2. приведение произвольного графа к планарному графу; 3. нахождения эйлеровых циклов, 4. поиск всех путей (маршрутов) между двумя узлами и кратчайших; 5. вычисление расстояния между двумя узлами;
16	<p>Редактор должен позволять:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. выводить информацию о графе: является ли граф деревом; 2. приведение произвольного графа к бинарному и обычному дереву; 3. нахождения гамильтоновых циклов; 4. вычисление диаметра, радиуса, центра графа; 5. вычисление тензорного и декартово произведения двух графов;
17	<p>Редактор должен позволять:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. создавать и отображать петли; 2. выводить информацию о графе: матрицу инцидентности; является ли

	<p>граф полным;</p> <ol style="list-style-type: none"> 3. приведение произвольного графа к полному графу; 4. нахождения эйлеровых циклов, 5. поиск всех путей (маршрутов) между двумя узлами и кратчайших; 6. вычисление расстояния между двумя узлами;
18	<p>Редактор должен позволять:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. создавать и отображать кратные дуги; 2. выводить информацию о графе: матрицу смежности; является ли граф связным; 3. приведение произвольного графа к связному графу; 4. нахождения гамильтоновых циклов; 5. вычисление диаметра, радиуса, центра графа; 6. вычисление тензорного и декартово произведения двух графов;
19	<p>Редактор должен позволять:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. выводить информацию о графе: является ли граф эйлеровым; 2. приведение произвольного графа к бинарному и обычному дереву; 3. нахождения эйлеровых циклов, 4. поиск всех путей (маршрутов) между двумя узлами и кратчайших; 5. вычисление расстояния между двумя узлами;
20	<p>Редактор должен позволять:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. выводить информацию о графе: матрицу инцидентности; является ли граф планарным; 2. приведение произвольного графа к планарному графу; 3. нахождения гамильтоновых циклов; 4. вычисление диаметра, радиуса, центра графа; 5. вычисление тензорного и декартово произведения двух графов;
21	<p>Редактор должен позволять:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. выводить информацию о графе: матрицу смежности; является ли граф планарным; 2. приведение произвольного графа к планарному графу; 3. нахождения эйлеровых циклов, 4. поиск всех путей (маршрутов) между двумя узлами и кратчайших; 5. вычисление расстояния между двумя узлами;
22	<p>Редактор должен позволять:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. создавать и отображать петли; 2. выводить информацию о графе: является ли граф деревом; 3. приведение произвольного графа к бинарному и обычному дереву; 4. нахождения гамильтоновых циклов; 5. вычисление диаметра, радиуса, центра графа; 6. вычисление тензорного и декартово произведения двух графов;
23	<p>Редактор должен позволять:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. создавать и отображать кратные дуги; 2. выводить информацию о графе: матрицу инцидентности; является ли граф полным; 3. приведение произвольного графа к полному графу; 4. нахождения эйлеровых циклов, 5. поиск всех путей (маршрутов) между двумя узлами и кратчайших;

	6. вычисление расстояния между двумя узлами;
24	<p>Редактор должен позволять:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. выводить информацию о графе: матрицу смежности; является ли граф связным; 2. приведение произвольного графа к связному графу; 3. нахождения гамильтоновых циклов; 4. вычисление диаметра, радиуса, центра графа; 5. вычисление тензорного и декартово произведения двух графов;
25	<p>Редактор должен позволять:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. выводить информацию о графе: является ли граф эйлеровым; 2. приведение произвольного графа к бинарному и обычному дереву; 3. нахождения эйлеровых циклов, 4. поиск всех путей (маршрутов) между двумя узлами и кратчайших; 5. вычисление расстояния между двумя узлами;
26	<p>Редактор должен позволять:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. выводить информацию о графе: матрицу инцидентности; является ли граф планарным; 2. приведение произвольного графа к планарному графу; 3. нахождения гамильтоновых циклов; 4. вычисление диаметра, радиуса, центра графа; 5. вычисление тензорного и декартово произведения двух графов;
27	<p>Редактор должен позволять:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. создавать и отображать петли; 2. выводить информацию о графе: матрицу смежности; является ли граф планарным; <ol style="list-style-type: none"> а. приведение произвольного графа к планарному графу; 3. нахождения эйлеровых циклов, 4. поиск всех путей (маршрутов) между двумя узлами и кратчайших; 5. вычисление расстояния между двумя узлами;
28	<p>Редактор должен позволять:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. создавать и отображать кратные дуги; 2. выводить информацию о графе: является ли граф деревом; 3. приведение произвольного графа к бинарному и обычному дереву; 4. нахождения гамильтоновых циклов; 5. вычисление диаметра, радиуса, центра графа; 6. вычисление тензорного и декартово произведения двух графов;
29	<p>Редактор должен позволять:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. выводить информацию о графе: матрицу инцидентности; является ли граф полным; 2. приведение произвольного графа к полному графу; 3. нахождения эйлеровых циклов, 4. поиск всех путей (маршрутов) между двумя узлами и кратчайших; 5. вычисление расстояния между двумя узлами;
30	<p>Редактор должен позволять экспортировать и импортировать граф в текстовый формат вида:</p> <p><ГРАФ> :: = <ИМЯ ГРАФА> : UNORIENT ORIENT ;</p>

	<p><ОПИСАНИЕ СВЯЗЕЙ> .</p> <p><ИМЯ ГРАФА> ::= <ИДЕНТИФИКАТОР></p> <p><ОПИСАНИЕ УЗЛОВ> ::= <ИМЯ УЗЛА> [, <ИМЯ УЗЛА> .. <ИМЯ УЗЛА> ::= <ИДЕНТИФИКАТОР></p> <p><ОПИСАНИЕ СВЯЗЕЙ> ::= <ИМЯ УЗЛА> -></p> <p><ИМЯ УЗЛА> [<ОПИСАНИЕ СВЯЗЕЙ> ...]</p> <p>Редактор должен позволять:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. определять является ли граф деревом; 2. является ли граф полным; 3. приведение произвольного графа к полному графу; 4. нахождения эйлеровых циклов, 5. поиск всех путей (маршрутов) между двумя узлами и кратчайших; 6. вычисление расстояния между двумя узлами;
--	---

Дополнительные требования (выбираются самостоятельно):

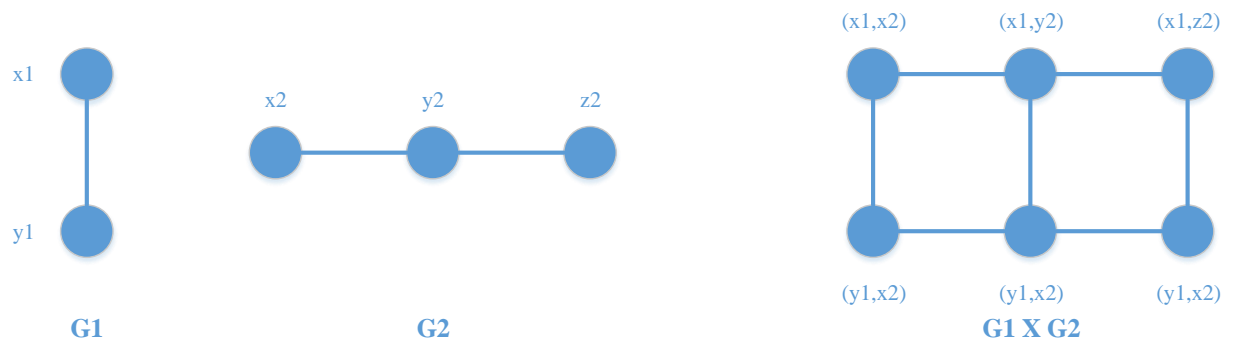
1. добавлять, удалять и редактировать содержимое узла (содержимое в виде текста и ссылки на файл);
2. выделение одновременно нескольких элементов графа, копирование выделенного фрагмента в clipboard и восстановление из него;
3. раскраска графа;
4. поиск подграфа в графе, со всеми или некоторыми неизвестными узлами;
5. поиск узла по содержимому;
6. объединение, пересечение, сочетание и дополнение графов.

Задание

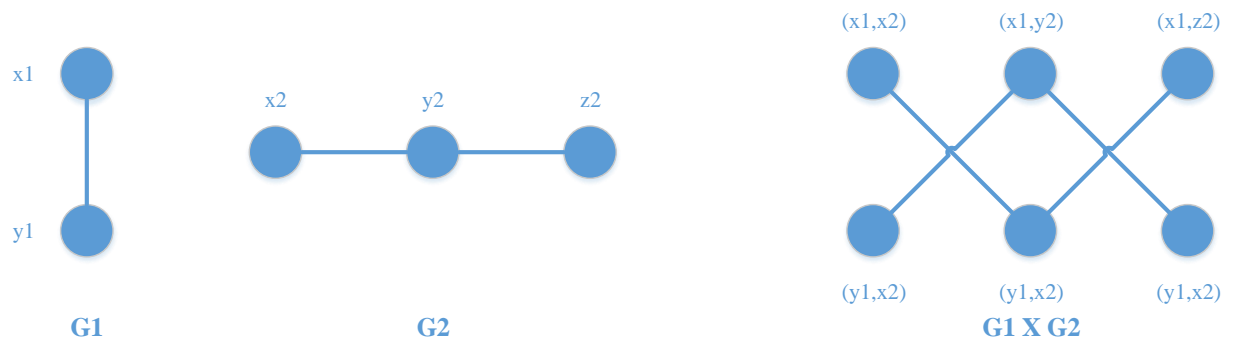
1. Разработать графовый редактор. При разработке графового редактора необходимо учесть указанные требования, а также реализовать функционал согласно выбранному варианту. Вариант выбирается в соответствии с порядковым номером в списке группы.
2. Из дополнительных требований, необходимо выбрать как минимум одно из 6 и реализовать.
3. В отчёте необходимо отразить средства разработки редактора. Продемонстрировать реализованный функционал

Операции над графами

Декартово произведение («прямое произведение») $G_1 \times G_2$ графов $G_1 = (V_1, E_1)$ и $G_2 = (V_2, E_2)$ определяется следующим образом. Множеством вершин графа $G_1 \times G_2$ является декартово произведение множества V_1 и V_2 , то есть вершины этого графа – упорядоченные пары (x, y) , где $x \in V_1$, $y \in V_2$. Вершины (x_1, y_1) и (x_2, y_2) в графе $G_1 \times G_2$ смежны тогда и только тогда, когда $x_1 = x_2$ и y_1 смежна с y_2 в графе G_2 , или $y_1 = y_2$ и x_1 смежна с x_2 в графе G_1 . С помощью операции произведения можно выразить некоторые важные графы через простейшие. Например, произведение двух путей дает прямоугольную решетку:



Тензорном произведением двух графов $G_1 = (V_1, E_1)$ и $G_2 = (V_2, E_2)$ называется граф $G = (V, E) = G_1 \times G_2$, такой что $V = V_1 \times V_2$, а $((x_1, y_1), (x_2, y_2)) \in E$ тогда и только тогда, когда $x_1 \sim y_1$ и $x_2 \sim y_2$.



Примечание: При сдаче лабораторной работы необходимо продемонстрировать работоспособность всех реализованных функций в соответствии с требованиями данной лабораторной работы.

Литература

Основная

1. Волкова, В.Н. Теория систем: Учебник для студентов вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – М.: Высшая школа, 2006. – 511 с.
2. Качала, В.В. Основы теории систем и системного анализа. Учебное пособие для вузов / В.В. Качала. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 216 с.
3. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара. – М.: Мир, 1973. – 344 с.
4. Общая теория систем / А.М. Иванов [и др.]. – СПб.: Научная мысль, 2005. – 480 с.
5. Перегудов, Ф. И. Введение в системный анализ / Ф. И. Перегудов, Ф. П. Тарасенко. – М.: Высш. шк., 1989. – 320 с.
6. Прангишвили, И.В. Системный подход и общесистемные закономерности / И.В. Прангишвили. – М.: СИНТЕГ, 2000. – 528 с.
7. Спицнадель, В.Н. Основы системного анализа / В.Н. Спицнадель. – СПб.: Изд. Дом «Бизнес-пресса», 2000. – 326 с.
8. Статические и динамические экспертные системы / Э. В. Попов [и др.]. – М.: Финансы и статистика, 1996. – 320 с.
9. Фоменков, С. А. Системный анализ: Учебное пособие / С.А. Фоменков, А.В. Заболеева-Зотова, В.А. Борзыкин. – Волгоград: Издательство ВолгГТУ, 2006. – 96 с.

Дополнительная

1. Анфилатов, В.С. Системный анализ в управлении: Учеб. пособие / В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А. Кукушкин. М.: Финансы и статистика, 2009. – 368 с.
2. Месарович, М. Общая теория систем : математические основы / М. Месарович, И. Такахара. – М.: Мир, 1978. – 311 с.
3. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям. М.: 2002. – 351 с.
4. Теоретические основы системного анализа / В. И. Новосельцев [и др.]. М.: Майор, 2006 – 592 с.
5. Теория систем и системный анализ в управлении организациями: Справочник: Учеб. пособие / Под ред. В.Н. Волковой и А.А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2006 – 848с.
6. Шрейдер, Ю. А. Системы и модели / Ю. А. Шрейдер, А. А. Шаров. – М.: Радио и связь, 1982.