

# ГИБРИДНЫЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

*А.В. Гаврилов, Ю.В. Новицкая*

Новосибирский государственный технический университет,  
Новосибирск, Россия, тел. (383-2) 460492,  
e-mail: avg@vt.cs.nstu.ru, e-mail: jn@vt.cs.nstu.ru

В последние годы интенсивно развиваются гибридные интеллектуальные системы, позволяющие использовать преимущества традиционных средств и методов искусственного интеллекта, и, в то же время, преодолевающие некоторые их недостатки, способные решать задачи, нерешаемые отдельными методами искусственного интеллекта. Гибридные интеллектуальные системы позволяют более эффективно соединять формализуемые и неформализуемые знания за счет интеграции традиционных средств искусственного интеллекта. В статье дается краткий обзор методов построения гибридных интеллектуальных систем.

## **Введение**

История развития искусственного интеллекта (ИИ) неразрывно связана с историей развития вычислительной техники. С появлением компьютеров появилась возможность моделировать процессы деятельности человеческого мозга, в частности, процесс нахождения человеком решения поставленной задачи. Историю развития систем искусственного интеллекта можно, достаточно приблизительно, отсчитывать с конца 60-х годов XX века, когда Л. Заде ввел понятие нечетких множеств [1].

За прошедшее время были созданы различные виды систем искусственного интеллекта (или интеллектуальных систем), такие как экспертные системы, нечеткие системы, системы поддержки принятия решений, искусственные нейронные сети, системы планирования движения роботов, генетические алгоритмы.

Интеллектуальные системы (ИС), созданные за последние годы, в зависимости от архитектуры можно классифицировать на однокомпонентные (single component) и многокомпонентные (multi component) ИС [2].

Однокомпонентные ИС основаны на использовании единственного средства искусственного интеллекта, такого, например, как нечеткая логика или искусственная нейронная сеть.

Многокомпонентные ИС объединяют в себе различные средства искусственного интеллекта в единую вычислительную модель. Многокомпонентные ИС представляют собой архитектурно более сложные системы, с компонентами, обладающими собственной функциональностью и объединенными в иерархическую многослойную модель. Корректная работа такой системы, таким образом, зависит от правильной работы всех слоев, ошибка в работе одного из слоев может распространяться на другие слои и отражаться на работе всей системы. Многокомпонентные ИС совмещают различные средства ИИ, которые взаимодействуют между собой для получения решения поставленной задачи.

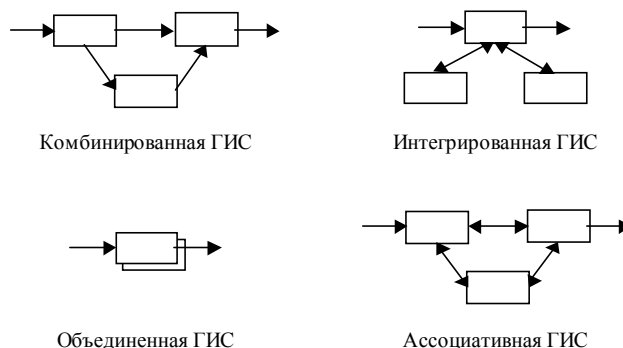
Такое разнообразие интеллектуальных систем определяется необходимостью формализации разнообразных данных и знаний, причем не всегда процесс формализации можно успешно выполнить для данных и знаний любого вида. Вот почему в последние годы стали интенсивно развиваться гибридные интеллектуальные системы (один из видов многокомпонентных интеллектуальных систем) – позволяющие использовать преимущества традиционных средств искусственного

интеллекта, и в то же время преодолевающие некоторые их недостатки, способные решать задачи, нерешаемые отдельными методами искусственного интеллекта. Гибридные ИС позволили более эффективно соединять формализуемые и неформализуемые знания за счет интеграции традиционных средств искусственного интеллекта [3, 4].

Использование гибридных ИС особенно эффективно в медицине, банковском деле, при распознавании образов, при обнаружении неисправностей в технических системах и т.д., то есть в тех отраслях, где приходится иметь дело как четкими, так и с нечеткими знаниями [5–10].

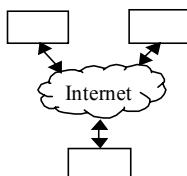
### **Классификация гибридных интеллектуальных систем**

В свою очередь, гибридные ИС можно классифицировать, в зависимости от архитектуры, на следующие типы: 1) комбинированные (combination), 2) интегрированные (integration), 3) объединенные (fusion) и 4) ассоциативные (association) гибридные интеллектуальные системы [11].



*Рис. 1. Типы архитектур ГИС*

Кроме того, можно рассматривать и еще один тип гибридных ИС, появление которого обусловлено стремительным ростом объемов знаний и данных, которые могут храниться в распределенных базах данных, доступных через глобальную сеть Internet. Архитектуру гибридной ИС такого типа можно назвать распределенной (distributed).



*Рис. 2. Архитектура распределенной гибридной ИС*

### **Комбинированные (combination) гибридные интеллектуальные системы**

Примером комбинированных гибридных ИС служат гибридные экспертные системы, представляющие собой интеграцию экспертных систем и нейронных сетей и соединяющие как формализуемые знания (в экспертных системах), так и неформализуемые знания (в нейронных сетях).

Примерами комбинированных систем могут служить: гибридная экспертная система для анестезиологии тяжелых пациентов [12], экспертная система адаптивного обучения [13], гибридная экспертная система для медицинской диагностики [14].

В состав гибридной экспертной системы для медицинской диагностики входят три основных компонента: 1) нечеткая нейронная сеть, 2) нечеткая экспертная система и 3) модуль принятия и объяснения решений. Кроме того, в состав гибридной

экспертной системы входят еще два дополнительных интерфейсных модуля, соединяющие нейронную сеть и экспертную систему и позволяющие взаимно преобразовывать данные нечеткой нейронной сети и нечеткой экспертной системы.

Гибридная экспертная система для медицинской диагностики сочетает в себе численное и лингвистическое представление знаний, в системе используется иерархическая интеграция самоорганизующейся нечеткой нейронной сети (с возможностью online-обучения) и нечеткой экспертной системы, оптимизированной посредством генетического алгоритма.

Нейронная сеть способствует быстрому обучению, в то время как экспертная система позволяет выполнить интерпретацию нечетких данных и объяснить полученное решение. Нейронная сеть может обучаться как с учителем, так и без учителя, может обучаться без переподготовки старой информации.

Нечеткая экспертная система – это экспертная система, объединенная с нечеткими множествами. Экспертная система построена на основе знаний, внедренных в обученную нейронную сеть. Экспертная система прозрачна для пользователя, решения, получаемые экспертной системой, легки для понимания, поскольку правила в базе знаний в «if then» формате используют естественный язык.

Внешние входные данные поступают в гибридную систему как через экспертную систему, так и через нейронную сеть. Выходные данные экспертной системы и нейронной сети поступают на вход модуля, находящего и объясняющего решения.

#### ***Интегрированные (integration) гибридные интеллектуальные системы***

В архитектуре интегрированных гибридных ИС главенствует основной модуль-интегратор, который, в зависимости от поставленной цели и текущих условий нахождения решения, выбирает для функционирования те или иные интеллектуальные модули, входящие в систему, и объединяет отклики задействованных модулей.

Примерами интегрированных гибридных ИС могут служить: гибридная экспертная система RAISON [15], гибридная интеллектуальная система для создания планов движения роботов [16].

Гибридная экспертная система RAISON – это интегрированная, основанная на знаниях, экспертная система, включающая нейронную сеть, базу данных, геоинформационную систему, картографический анализатор, графическую и программно-языковую компоненты.

Экспертная система является интегрирующим модулем и связана с другими компонентами гибридной системы. Вспомогательные подсистемы, такие как база данных и геоинформационная система, служат связующими звеньями экспертной системы с полнофункциональными внешними базами данных и геоинформационными системами.

Функционирование экспертной системы основано на использовании алгоритма с применением индукционного дерева (алгоритм позволяет генерировать правила на основе образцов наборов данных), известные и существующие правила предлагаются экспертом. Правила могут использоваться как для прямой, так и для обратной последовательности запросов. Так как структура дерева является почти оптимальной, число запросов, требующихся для получения заключения, является минимальным.

База данных и карты геоинформационной системы также доступны и нейронной сети. Нейронная сеть используется в системе RAISON как инструмент обучения. Нейронная сеть может принимать входные данные и использовать их в качестве образцов для обучения (обучаться с учителем). Выходные данные системы RAISON могут быть сохранены в базе данных, отображены, например, в графическом виде (в виде геоинформационных карт).

Гибридная интеллектуальная система для создания планов движения роботов включает в себя объектно-ориентированную базу знаний для моделирования окружающей среды и адаптивный алгоритм планирования движения (ААПД). На основе полученных данных (предварительно сформированных карт окружающей обстановки и последующей динамической информации об окружении робота) ААПД определяет путь и генерирует последовательность команд для навигации робота.

Гибридная система состоит из четырех модулей: 1) планировщика, 2) помощников, 3) исполнителей движений и 4) управляющего центра. В системе реализована архитектура с использованием управляющего центра, который связан с перечисленными модулями и координирует их функционирование.

Для управления достаточно сложной концепцией совместно используемой информации в системе применена иерархическая база знаний, которая включает в себя три информационные области: 1) модель окружающей среды, 2) персептрон и 3) супервизор, осуществляющий настройку управляющего режима.

В системе используется упрощенная схема нечеткого вывода для определения дистанции до препятствия и ширины пути. Для уменьшения объема вычислений применяются нечеткие треугольные функции принадлежности. Машина нечеткого вывода работает с нечеткими правилами и нечеткими треугольными функциями принадлежности. Для поиска подходящего пути в системе используется сеть Хопфилда. Для генерации команд поведения используются правила нечеткого вывода.

#### ***Объединенные (fusion) гибридные интеллектуальные системы***

Характерной особенностью нейронных сетей и генетических алгоритмов является их способность к обучению и адаптации посредством оптимизации. Соединение этих методов с другими методами искусственного интеллекта позволяет увеличить эффективность их способности к обучению. Такую архитектуру гибридной ИС можно отнести к объединенному типу.

Примерами объединенных гибридных ИС могут служить: гибридная экспертная система для инвестиционных рекомендаций [17], гибридная экспертная система для определения неисправностей в энергетических системах [18].

Гибридная экспертная система для определения неисправностей в энергетических системах состоит из модуля входного условия и модуля вывода. Модуль вывода предназначен для оценки местонахождения и типа неисправности с помощью искусственной нейронной сети (многослойного персептрона). В рассматриваемой гибридной экспертной системе применены методы, основанные на использовании искусственных нейронных сетей, и отличающиеся от традиционных использованием приема входного условия (предусловия), когда входной вектор подается не непосредственно на вход нейронной сети, а на вход предусловного модуля. В свою очередь, выходной сигнал предусловного модуля подается на вход нейронной сети, что позволяет сделать работу сети более эффективной. В системе применены два предусловных метода: один из них использует быстрое преобразование Фурье для измерения отклонений тока, другой – применяет детерминированную нелинейную кластеризацию для результатов, полученных с помощью преобразования Фурье.

#### ***Ассоциативные (association) гибридные интеллектуальные системы***

Архитектура ассоциативных гибридных систем предполагает, что интеллектуальные модули, входящие в состав такой системы, могут работать как автономно, так и в интеграции с другими модулями. В настоящее время, из-за недостаточного развития систем такого типа, системы с ассоциативной архитектурой еще недостаточно надежны и не получили широкого распространения.

#### ***Распределенные (distributed) гибридные интеллектуальные системы***

Следующим уровнем в развитии гибридных систем могут стать распределенные интеллектуальные системы, представляющие мультиагентный подход в области распределенного искусственного интеллекта [19, 20]. При этом подходе каждый функциональный интеллектуальный модуль работает автономно и взаимодействует с другими модулями (агентами) путем передачи сообщений через сеть. Существующие в настоящее время интеллектуальные системы, такие как экспертные системы, нейронные сети и т.п. могут быть преобразованы в агенты.

В процессе преобразования интеллектуальные модули могут быть дополнены управляющими и коммуникативными знаниями, необходимыми для их объединения в мультиагентную интеллектуальную распределенную систему.

Примером распределенной интеллектуальной системы может служить интеллектуальная обучающая система для обучения преподавателей высшей школы новым технологиям, основанная на Web [21].

Интеллектуальная обучающая система формирует обучающий курс (презентацию образовательного материала, адаптированную к требованиям пользователей с использованием технологий искусственного интеллекта для точного определения модели каждого пользователя, а также для создания педагогических решений), отвечающий нуждам пользователей с различными уровнями знаний и различными способностями в освоении нового материала.

Интеллектуальная обучающая система основана на экспертной системе, направленной на управление процессом обучения. Экспертная система использует формализм гибридного представления знаний, названного нейроправилами.

Система состоит из следующих компонентов: 1) домена знаний, 2) модели пользователя, 3) педагогической модели, 4) машины логического вывода и 5) пользовательского интерфейса. Домен знаний содержит знания, относящиеся к изучаемой теме и представляющие актуальный обучающий материал. Домен состоит из двух частей: 1) понятий знаний и 2) курсовых блоков. Курсовые блоки содержат обучающий материал, представляемый пользователям системы как Web-страница. Каждый курсовой блок ассоциируется с определенным числом понятий знаний. Система поддерживает варианты одной и той же страницы (курсового блока) с различными представлениями знаний. Модели пользователя применяются для записи информации, связанной с пользователем. Модели пользователей обновляются в течение всего процесса обучения. Педагогическая модель формирует процесс обучения. Она предлагает инфраструктуру знаний для адаптации презентации изучаемого материала в соответствии с данными, содержащимися в модели пользователя.

Формализм представления знаний в экспертной системе основан на нейроправилах, гибридных правилах, интегрирующих символические правила с нейровычислениями. Нейроправила создаются либо на основе эмпирических данных (обучающих шаблонов), либо на основе символических правил. Каждое нейроправило индивидуально обучается посредством специального алгоритма. Механизм вывода основан на стратегии обратного вывода.

### **Заключение**

В последние годы традиционные методы искусственного интеллекта, такие как экспертные системы, нечеткие системы, искусственные нейронные сети, генетические алгоритмы и т.п. все чаще объединяются в гибридные интеллектуальные системы.

Гибридные интеллектуальные системы позволяют использовать преимущества традиционных средств искусственного интеллекта, преодолевая некоторые их

недостатки, и могут решать задачи, нерешаемые отдельными методами искусственного интеллекта.

#### Литература

1. *Заде Л.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М., 1976. 165 С.
2. *Jacobsen H.A.* A generic architecture for hybrid intelligent systems // IEEE Fuzzy Systems. Anchorage, Alaska. 1998. P. 709-714.
3. *Kandel A.* Fuzzy intelligent hybrid expert system and their application // IEEE. 1995. P. 2275-2280.
4. *Fenton B., McGinnity M., Maguire L.* Fault diagnosis of electronic systems (using artificial intelligence) // IEEE Instrumentation & Measurement Magazine. 2002. №9. P. 16-20.
5. *Herrmann C.* A hybrid fuzzy-neural expert system for diagnosis // Proc. of IJCAI. Montreal. 1995. P. 1-10.
6. *Pacheco R. et al.* A hybrid intelligent system applied to financial statement analysis // Proc. of 5th FUZZ IEEE. New Orleans. 1996. P. 1007-1012.
7. *Yan H.H. et al.* Power system security assessment using a hybrid expert system/neural network architecture // Proc. of IEEE. ISCS. New York. 1992. P. 1713-1716.
8. *Froning J.N., Olson M.D., Froelicher V.F.* Exercise ECG analysis and measurement using an expert system approach // Proc. of 10th IC. IEEE Engineering in medicine & biology society. 1988. P. 1-2.
9. *Sivathanan S., Cecelja F., Balachandran W.* ECG Diagnosis using neural network and fuzzy expert system // Proc. of PREP'99. UMIST. Manchester. 1999. P. 340-343.
10. *El\_Fergany A.A., Yousef M.T., El\_Alaaily A.A.* Fault diagnosis in power systems – substation level – through hybrid artificial neural networks and expert system // IEEE. 2001. P. 207-211.
11. *Funabashi M. et al.* Fuzzy and neural hybrid expert systems: synergetic AI // AI in Japan. IEEE Expert. 1995. P. 32-40.
12. *Passold F., Ojeda R.G., Barreto J.M.* A hybrid expert system in anesthesiology for critical patients // IEEE. 1996. P. 1486-1489.
13. *Wiriyaconkasem S., Esterline A.* Adaptive learning expert system // IEEE. 2000. P. 445-448.
14. *Meesad P., Yen G.* A hybrid intelligent system for medical diagnosis // Proc. of IJCNN'01. Washington. 2001. P. 2558-2563.
15. *Lam D., Swayne D.* A hybrid expert system and neural network approach for environmental application // Proc. of ICESD. Bangkok. 1994. P. 298-303.
16. *Luo R.C., Lin M.H., Shen Sh.H.* The development of object-oriented knowledge base and adaptive motion planning for autonomous mobile robots // Proc. of the 2001 IEEE/RSJ ICIRS. Maui. 2001. P. 108-113.
17. *Nikolopoulos C.* A hybrid expert system for investment advising // IEEE. 1994. P. 1818-1820.
18. *Mori H. et al.* A hybrid intelligent system for fault detection in power systems // Proc. of IEEE IJCNN. Honolulu. 2002. Vol. 2. P. 2138-2143.
19. *Lhotská L., Vlcek T.* Efficiency enhancement of rule-based expert systems // Proc. of the 15th IEEE CBMS. 2002. P. 1063-1068.
20. *Averbukh A.B.* Hybrid intelligence architecture for real time processing // IEEE. 1999. P. 4107-4110.
21. *Prentzas J., Hatzilygeroudis I., Koutsoujannis C.* A web-based ITS controlled by a hybrid expert system // Proc. of IEEE ICALT. 2001. P. 239-240.