

УДК 004.8, 004.82:16

**В.В. Игнатьев**

### **АДАПТИВНЫЕ ГИБРИДНЫЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

*Рассмотрены адаптивные гибридные интеллектуальные системы управления. Приведена классификация гибридных интеллектуальных систем. Разработана методика построения адаптивной интеллектуальной гибридной системы управления, и гибридный метод исследования, основу которого составляет сочетание алгоритмов и методов традиционного формально-логического мышления и нечёткой логики. Разработан алгоритм для решения задач управления системами, имеющими архитектуру интегрированных гибридных интеллектуальных систем.*

*Гибридные системы; адаптивные системы; автономные методы; гибридный метод; гибридный алгоритм; база знаний; формализуемые знания; нечёткая логика.*

**V.V. Ignatyev**

### **ADAPTIVE HYBRID INTELLECTUAL CONTROL SYSTEMS**

*Adaptive hybrid intellectual control system is considered. Classification of hybrid intellectual systems is given. The procedure of construction of an adaptive intellectual hybrid control system is developed and hybrid method of research which basis is made by a combination of algorithms and methods traditional formal-logic thinking and fuzzy logic. The algorithm is developed for decision of problems of management by the systems having architecture of integrated hybrid intellectual systems.*

*Hybrid systems; adaptive systems; self-contained methods; hybrid-method; hybrid algorithm; knowledge base; formalizable knowledge; fuzzy logic.*

В условиях современного научно-технического прогресса, любое предприятие не может обходиться без помощи научных методов управления, научных описаний, автоматике и вычислительной техники для конструирования автоматических и автоматизированных систем, позволяющих умело управлять различными объектами. Множество реальных объектов управления в различных ситуациях проявляют различные свойства и плохо описываются или вообще не описываются целиком в терминах классических дифференциальных систем. Такие системы, в которых вполне можно пренебречь их стохастичностью проявляют комбинированное непрерывно-дискретное поведение, причём пренебрежение дискретной составляющей не даёт адекватных моделей. Для такого класса систем в середине шестидесятих годов начал развиваться новый подход, названный гибридными системами [1].

Благодаря развитию и совершенствованию нечётких и гибридных систем управления в настоящее время уже довольно обыденно воспринимаются «сверхинтеллектуальные» бытовые приборы, нечёткие логические видеокамеры и автомобили, управление всеми электронными системами которых осуществляются при помощи нечётких алгоритмов.

В рамках решения соответствующих задач интенсивно развиваются гибридные интеллектуальные системы, позволяющие использовать преимущества традиционных средств, подходов и методов искусственного интеллекта. Такие системы представляют собой совокупность двух, записанных на математическом или программном языке автономных методов, один из которых имеет преимущества при моделировании непрерывных процессов, а другой – дискретных.

Исследования в области искусственного интеллекта занимают одно из ведущих мест в информатике и в развитии информационных технологий. Использование гибридных интеллектуальных систем особенно эффективно, в таких отраслях, где приходится иметь дело как с чёткими, так и с нечёткими знаниями [2-8]. Гибридные интеллектуальные системы позволяют более эффективно соединять формализуемые и неформализуемые знания за счёт интеграции общей теории управления и средств искусственного интеллекта, тем самым, компенсируя их недостатки.

Одним из наиболее актуальных направлений развития гибридных интеллектуальных систем является повышение их адаптивности, т.е. способности изменять свои параметры в зависимости от управляющих воздействий и условий внешней среды. Иными словами развитие гибридных интеллектуальных систем должно быть основано на моделях адаптивного поведения, отличающихся простотой алгоритма, и оптимальной проработанностью программного обеспечения в различных средах моделирования.

**Классификация гибридных интеллектуальных систем.** В зависимости от архитектуры интеллектуальные системы классифицируют на однокомпонентные и многокомпонентные [9-11].

Однокомпонентные интеллектуальные системы используют одно из средств искусственного интеллекта, например, нечёткую логику или искусственную нейронную сеть. Многокомпонентные интеллектуальные системы используют несколько средств искусственного интеллекта объединённых в единую вычислительную модель. Многокомпонентные интеллектуальные системы совмещают различные средства искусственного интеллекта, которые взаимодействуют между собой для получения решения поставленной задачи. Гибридные интеллектуальные системы являются одним из видов многокомпонентных интеллектуальных систем.

В свою очередь, гибридные интеллектуальные системы в зависимости от архитектуры делятся на следующие типы ГИС [12-14]: комбинированные; интегрированные; объединённые; ассоциативные.

Кроме того, можно рассматривать ещё один тип гибридных интеллектуальных систем, появление которого обусловлено стремительным ростом объёмов знаний и данных, которые могут храниться в распределённых базах данных, доступных через глобальную сеть Internet. Архитектуру такой гибридной интеллектуальной системы называют распределённой.

Графическое изображение перечисленных типов архитектур гибридных интеллектуальных систем показано на рис. 1.

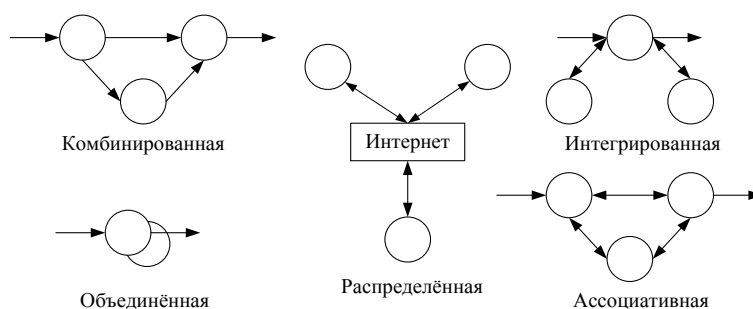


Рис. 1. Архитектуры гибридных интеллектуальных систем

Примером комбинированных гибридных интеллектуальных систем могут служить гибридные экспертные системы, представляющие собой совокупность экспертных систем и нейронных сетей и соединяющие формализуемые знания (в экспертных системах) и неформализуемые знания (в нейронных сетях).

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

Способность к обучению и адаптации посредством оптимизации является характерной особенностью нейронных сетей и генетических алгоритмов. Соединение этих методов с другими методами искусственного интеллекта позволяет увеличить эффективность их способности к обучению. Такая архитектура гибридной интеллектуальной системы относится к объединённому типу.

Интеллектуальные модули, входящие в состав ассоциативных гибридных интеллектуальных систем, могут работать как автономно, так и в интеграции с другими модулями.

**Методика построения адаптивной интеллектуальной гибридной системы управления.** Центральным вопросом при разработке различных адаптивных интеллектуальных систем является проектирование базы знаний о предметной области. В системах, основанных на знаниях, используется информация из баз данных и баз знаний. Такие системы широко применяются для решения различных задач управления, в которых нет априорного необходимого описания состояния и структуры системы. При этом методика построения адаптивной интеллектуальной гибридной системы управления предполагает наличие следующих этапов:

- ◆ анализ проблемной ситуации;
- ◆ формирование предметной области;
- ◆ разработка методов взаимодействия классической и нечёткой логики;
- ◆ структуризация предметной области и построение модели на основе классической и нечёткой логики;
- ◆ формирование базы знаний с базой правил в качестве управляющей компоненты;
- ◆ построение и описание модели в виде отдельных понятий;
- ◆ выполнение вычислительных экспериментов;
- ◆ моделирование отдельных подсистем гибридной системы;
- ◆ тестирование (анализ адекватности модели) гибридной системы;
- ◆ оценка качества вычислительных экспериментов;
- ◆ коррекция или доработка полученной модели.

Разработка гибридного метода исследования адаптивной интеллектуальной системы управления.

Известно [1,15], что основу гибридизации составляют три закона: «закон взаимной адаптации», «закон дискретных рядов структур» и «закон трансформаций».

*Закон взаимной адаптации.* Динамика и синтез развития любой системы (гибрида) есть процесс взаимной адаптации компонентов системы между собой и системы с внешней средой, т.е. другими автономными методами и методами – гибридами.

*Закон дискретных рядов структур.* Любой гибрид может быть реализован посредством одной из его возможных структур из дискретного ряда. Закон утверждает, что существует некоторый метод получения одной структуры, входящей в

дискретный ряд из другой структуры этого ряда. Также, в таком ряду должны существовать целевые структуры, что позволит определить проблему качества сложной системы, т.е. сделать гибридизацию целенаправленной.

*Закон трансформации.* Трансформация одной структуры гибрида в другую может происходить только через общие для обеих структур знания, т.е. через состояние системы. Закон трансформации описывает образование новых состояний системы, которые отображаются пересечением их характеристических кривых, их интерференцию между собой.

В соответствии с законом трансформации новая структура не может быть порождена как таковая и возникает только на базе предыдущей структуры. При этом сохраняется достигнутая при старой структуре взаимная адаптация части компонентов, достаточная для построения новой структуры.

Рассматриваемая в статье адаптивная гибридная интеллектуальная система управления определяется законом трансформации, так как новая структура знания системы порождается на базе предыдущей. В этом представлении адаптивную гибридную систему необходимо рассматривать как систему обработки данных, состоящую из двух уровней. Иллюстрация двухуровневой системы обработки данных приведена на рис. 2.

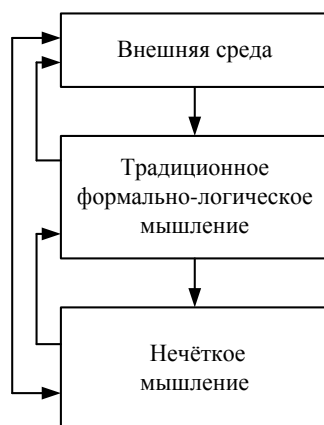


Рис. 2. Двухуровневая система обработки данных

Первый уровень представлен традиционным формально-логическим мышлением. Данный уровень основан на классических методах и процессах управления, которые описаны при помощи программного языка. На втором уровне используется нечёткое моделирование, позволяющее в совокупности с полученными результатами первого уровня исследовать различные аспекты неопределённости.

Двухуровневое позиционирование позволяет рассматривать общую структуру системы обработки данных с различных точек зрения, при этом взаимодействие элементов (компонентов) структуры носит не только механический или электрический характер, но и информационный, что является важным атрибутом современных организационно-технических систем. В соответствии с представленной системой обработки данных адаптивная гибридная система управления реализована на основе совокупности алгоритмов и методов традиционного формально-логического мышления и нечёткой логики.

Последовательность действий при решении задачи управления показана на рис. 3.

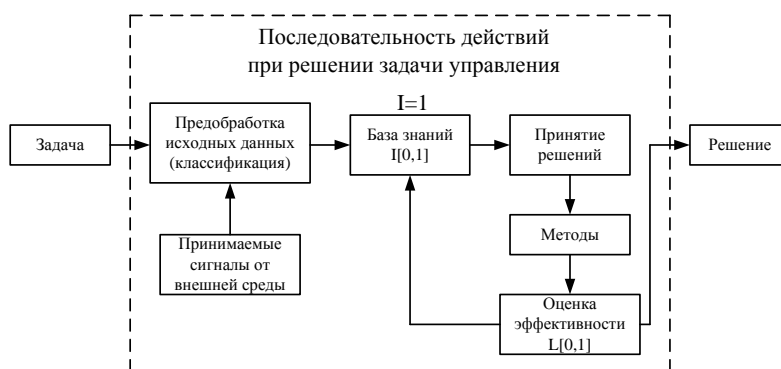


Рис. 3. Последовательность действий при решении задачи управления

Предлагаемый алгоритм решения задачи управления даёт возможность решать одну задачу несколькими автономными методами, причём математическая или программная реализация данного алгоритма может быть выполнена одним из методов на определённой итерации. В данном случае гибридизация основана на двух методах и последовательность выглядит как: метод 1 → метод 2.

Структура алгоритма состоит из нескольких этапов. Идентифицируем переменные:

- ◆ выполнение метода 1 (классическая логика) соответствует условию  $I=1$ ;
- ◆ не выполнение метода 1 соответствует условию  $I=0$ ;
- ◆ положительная оценка соответствует условию  $L=1$ ;
- ◆ отрицательная оценка соответствует условию  $L=0$ .

Содержание основных этапов гибридного моделирования имеет следующую структуру.

П. 1. Реализуется постановка задачи, т.е. точная формулировка условий с описанием входных и выходных данных, используемых для её решения.

П. 2. Сбор информации. Принимаемые сигналы от внешней среды являются входными воздействиями для блока предобработки исходных данных.

П. 3. Предобработка исходных данных, т.е. создание классифицированной системы для всех методов, используемых в гибридной системе с целью подготовки информации для блока принятия решений.

П. 4. Формирование базы знаний.

П. 5. Принятие решения, в соответствии с которым осуществляется выбор метода решения задачи управления. Применительно к рассматриваемой задаче гибридизатору необходимо располагать достаточными знаниями о том, достаточно ли знаний получено после выполнения первого метода, чтобы продолжить выполнение процесса решения задачи управления, поэтому если выполняется условие  $I=1$ , то происходит переход к п. 7, иначе – переход к п. 6.

П. 6. Реализация классического метода гибридной системы.

П. 7. Реализация нечёткого метода гибридной системы.

П. 8. Оценка эффективности принятого решения. Если выполняется условие  $L=1$ , то происходит переход к п. 10, иначе – переход к п. 9.

П. 9. Корректировка результатов для продолжения решения.

П. 10. Завершение работы алгоритма, вывод решения.

При реализации одного из методов гибридизации в управлении гибридом создаётся в процессе решения задачи управления. Процессом создания гибрида является формирование определённой последовательности взаимосвязанных отношений  $R^i$ .

Необходимым условием функционирования гибрида является расстановка приоритетов между автономными методами, используемыми гибридом.

Описанная выше последовательность действий при решении задачи управления может рассматриваться как гибрид – метод, что даёт основание говорить о применении гибридного алгоритма для решения задачи управления, а интеграция аналитических и статистических знаний с нечёткими системами позволяет говорить об интеллектуальной гибридной системе управления, тем самым, обеспечивая многоаспектность исследования.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колесников А.В. Гибридные интеллектуальные системы: теория и технология разработки. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. – 600 с.
2. Pacheco R. et al. A hybrid intelligent system applied to financial statement analysis // Proc. of 5th FUZZ IEEE. New Orleans. – 1996. – P. 1007-1012.
3. Herrmann C.A. hybrid fuzzy-neural expert system for diagnosis // Proc. of IJCAI. Montreal. – 1995. – P. 1-10.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. El\_Fergany A.A., Yousef M.T., El\_Alaily A.A. Fault diagnosis in power systems – substation level – through hybrid artificial neural networks and expert system // IEEE. – 2001. – P. 207-211.
8. Гаврилов А.В. Гибридные интеллектуальные системы: Монография. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 142 с.
9. Jacobsen H.A. A generic architecture for hybrid intelligent systems // IEEE Fuzzy Systems. Anchorage. Alaska. – 1998. – P. 709-714.
10. Kandel A. Fuzzy intelligent hybrid expert system and their application // IEEE. – 1995. – P. 2275-2280.
11. Fenton B., McGinnity M., Maguire L. Fault diagnosis of electronic systems (using artificial intelligence) // IEEE Instrumentation & Measurement Magazine. – 2002. – № 9. – P. 16-20.
12. Funabashi M. et al. Fuzzy and neural hybrid expert systems: synergetic AI // AI in Japan. IEEE Expert. – 1995. – P. 32-40.
13. Лаврик С.А., Логинов Д.В. Построение гибридной нейроэкспертной системы определения информативных сейсмических атрибутов // Новые технологии. – 2007. – № 4.
14. Гаврилов А.В., Новицкая Ю.В. // Гибридные интеллектуальные системы. – Новосибирск: НГТУ, 2006.
15. Ванда В.Ф. Системы гибридного интеллекта: Эволюция, психология, информатика. – М.: Машиностроение, 1990. – 448 с.

#### **Игнатьев Владимир Владимирович**

Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса.

E-mail: vova3286@mail.ru.

347900, г. Таганрог, ул. С. Шило, 265-а/8.

Тел.: +79286083925.

Кафедра информационных систем и радиотехники; аспирант.

#### **Ignatyev Vladimir Vladimirovich**

South - Russian State University of Economics and Service.

E-mail: vova3286@mail.ru.

265-a/8, S. Shilo Street, Taganrog, 347900, Russia.

Phone: +79286083925.

The Department of Informative Systems and Radio Engineering; Postgraduate Student.