

УДК 004.896

Крапивный Ю. Н., канд. физ.-мат. наук,
Кривонос А. О., аспирант ОНУ

АРХИТЕКТУРЫ ГИБРИДНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Аннотация. Представлен анализ подходов к построению гибридных интеллектуальных систем. Приведены основные различия между классами архитектур гибридных интеллектуальных систем. Описаны достоинства и недостатки некоторых из рассматриваемых подходов и архитектур гибридных интеллектуальных систем. Сформулировано направление для дальнейшего исследования.

Ключевые слова: использование знаний, гибридная система, классификация, интеллектуальная система, искусственный интеллект, нейронная архитектура, трансформационная архитектура, модульная архитектура, нечеткая логика

Кравівний Ю. М., канд. фіз.-мат. наук,
Кривонос О. О., аспірант ОНУ

АРХІТЕКТУРИ ГІБРИДНИХ ІНТЕЛЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ

Анотація. Представлено аналіз підходів щодо побудови гібридних інтелектуальних систем. Приведені основні відмінності між класами архітектур гібридних інтелектуальних систем. Описані переваги та недоліки деяких із розглянутих підходів та архітектур гібридних інтелектуальних систем. Сформульовано напрямки для подальшого дослідження.

Ключові слова: використання знань, гібридна система, класифікація, інтелектуальна система, штучний інтелект, нейронна архітектура, трансформаційна архітектура, модульна архітектура, нечітка логіка

Krapivny Yu. N., PhD, Associate Professor,
Kryvonos O. O., Postgraduate of ONU

HYBRID INTELLIGENCE SYSTEMS ARCHITECTURE

Abstract. This survey analyzes different approaches in construction of hybrid intelligent systems. Presented the major differences between architecture types of hybrid intelligent systems. Were described advantages and drawbacks of some approaches and architecture types of hybrid intelligent systems. Direction for further research was formulated.

Keywords: knowledge application, hybrid system, classification, intelligent system, artificial intelligence, neural architecture, transformational architecture, modular design, fuzzy logic

Введение. При решении задач в трудно формализуемых предметных областях, таких, например, как прогнозирование, поддержка принятия решений, социальные системы большой размерности, системы экономического планирования и т.п. возникают значительные, иногда не преодолимые трудности в том случае, если для них невозможно получить полную и абсолютно достоверную информацию.

В таких случаях решение можно найти с помощью мягких вычислений, включающих в себя методы нечеткой логики, вероятностных вычислений, нейронных сетей, генетические вычисления, объединенные под названием "вычислительный интеллект" и базирующиеся на различных методах фор-

мализации, представления и обработки знаний.

Классические архитектуры интеллектуальных систем, основанные на применении одного подхода, часто способны эффективно решать частные задачи, но являются ограниченными при комплексном подходе к решению проблемы. Однако интеграция различных подходов в гибридных интеллектуальных системах позволяет взаимно усилить эффект каждого из направлений систем искусственного интеллекта.

Работа посвящена анализу существующих моделей одного класса многокомпонентных интеллектуальных систем (ИС) - гибридных интеллектуальных систем (ГИС). Под ГИС принято понимать программные системы (ПС), в котором интегрированы

различные методы систем искусственного интеллекта для улучшения характеристик системы за счет сильных сторон использованных методов [1].

Актуальность работы обусловлена тем, что в трудно формализуемых областях человеческой деятельности приходится строить достаточно сложные модели, решение задач для которых проблематично с использованием какого-либо одного метода. К таким задачам, например, можно отнести задачу принятия решений в условиях ограниченной и нечёткой информации.

Цель работы состоит в систематизации современных подходов к построению ГИС, выявлении сильных и слабых сторон некоторых архитектур для дальнейшего проектирования новых более эффективных моделей ГИС.

1. Классификация ГИС

Сегодня вряд ли можно найти унифицированную классификацию ГИС. Авторы предлагают различные варианты классификации, часто основанные на их научных предпочтениях. Так, например, в монографии Стефана Вермтера (Stefan Wermter) и Рона Сана (Ron Sun) [2] представлена вводная систематика архитектур ГИС, таких как: унифицированная нейронная архитектура, трансформационная архитектура и гибридная модульная архитектура. Так называемый автономный тип архитектуры ГИС рассмотрен в работе Колесникова А.В. и Кирикова И.А [3]. Далее будут рассмотрены некоторые типы моделей ГИС, наиболее часто встречающиеся в публикациях.

1.1 Унифицированная нейронная архитектура

Унифицированная нейронная архитектура основывается исключительно на коннекционистском представлении, однако возможна символьная интерпретация узлов и связей. Данная методика используется в различных направлениях, например, таких как: разбор текста, объяснение, логический вывод. Существуют два типа представлений данной архитектуры:

1) Локальная коннекционистская архитектура содержит один отдельный узел для представления каждого понятия;

2) Распределенная нейронная архитектура содержит в себе набор неэксклюзивных, пересекающихся узлов для представления каждого понятия.

1.2 Трансформационная архитектура

Гибридная трансформационная архитектура трансформирует символьное представление в нейронное представление и наоборот с использованием автоматических процедур. При использовании трансформационной архитектуры существует возможность добавления в нейронную архитектуру или извлечения из нейронной архитектуры символьных знаний. Примеры использования таких архитектур являются работы [4,5] над получением из рекуррентных нейронных сетей автоматов, основанных на активации. Также в работах над искусственными нейронными сетями, основанными на знаниях [6,7] была проанализирована базирующаяся на весах трансформация между символьными правилами и нейронными сетями прямого распространения.

1.3 Гибридная модульная архитектура

Гибридная модульная архитектура содержит и нейронный и символьный модули. В данном типе архитектуры символьное представление используется не только для начального либо заключительного представления, оно комбинировано и интегрировано с нейронным представлением различными способами. Примерами работ, выполненных в гибридной модульной архитектуре являются: программная система CONSYDERR [8], программная система SCREEN [9] или работа по навигации робота, в которой сенсоры и нейронная обработка объединены совместно с символьной обработкой [10]. Существуют различные типы гибридных модульных архитектур в зависимости от характера связи между символьным и нейронным модулями, такие как: слабосвязанные, сильносвязанные и полностью интегрированные типы [11].

1.3.1 Слабосвязанная гибридно-модульная архитектура

В слабосвязанной архитектуре символьный и нейронный модули разделены, управляющий поток является последовательным, в том смысле, что обработка одним модулем должна завершиться до начала обработки другим модулем. В любой момент обработки только один модуль является активным, связь между модулями односторонняя.

1.3.2 Сильно-связанная гибридно-модульная архитектура

Сильно-связанная гибридная архитектура содержит отдельные нейронный и символьный модули. Коммуникация и контроль за модулями осуществляется с использованием общих внутренних структур данных. Главное отличие между слабосвязанной и сильно связанной типами архитектур заключается в наличии общей структуры данных, через которую осуществляется двунаправленный обмен знаниями между двумя и более модулями.

Примерами применения сильно-связанной архитектуры являются работы по синтаксическому разбору [12] и логическому выводу [13], в которых системы построены с использованием символьного и нейронного модулей. В работе [14] были объединены база правил, база фактов и нейронная сеть.

В данном типе архитектуры результат нейронного модуля может влиять на работу символьного модуля и наоборот.

1.3.3 Полностью интегрированная гибридно-модульная архитектура

В полностью интегрированной архитектуре нет внешнего различия между символьным и нейронным модулями, так как данные модули имеют единый интерфейс и являются встроенными в архитектуру. Управляющий поток может быть параллельным, также имеет место двунаправленный обмен информацией между многими модулями.

Одним из примеров полностью интегрированной архитектуры является программ-

ная разработка SCREEN, предназначенная для анализа речи [9].

1.4 Автономная архитектура

При использовании автономной архитектуры модули являются независимыми друг от друга и используются для верификации независимых результатов. Данный вид архитектуры является вырожденным и может применяться на этапе создания прототипа архитектуры.

2. Архитектура двухполушарных экспертных систем

Гавриловым А.В. в 1989 году [15] была предложена архитектура «двухполушарной» экспертной системы. Такая система является примером сильно-связанной архитектуры, построенной на комбинации традиционной экспертной системы, которая осуществляет логическую обработку, и искусственной нейронной сети, которая реализует ассоциативную обработку. Взаимодействие между компонентами осуществляется с помощью механизма «доски объявлений» (black board), данный механизм был впервые предложен применительно к построению экспертной системы для распознавания речи HEARSAY-II [16] (1975 год) и [17] (1980 год). Данный механизм был также использован Douglas Hofstadter и Melanie Mitchell в их программе для проведения рассуждений по аналогии - Soruscat [18] в 1988 году.

2.1 Достоинства и недостатки blackboard экспертных систем

В [19] приводятся различные достоинства и недостатки экспертных систем на основе blackboard архитектуры.

Достоинства:

1) Расширяемость. Дополнительный источник знаний может быть добавлен в систему и данный источник нет необходимости регистрировать в других источниках системы;

2) Универсальность. Архитектура экспертной системы может применяться в различных предметных областях;

3) Нелинейность вывода;
4) Отказоустойчивость и эффективность;
5) Возможность преобразования знаний между различными уровнями абстракций с помощью дополнительного узкоспециализированного источника знаний.

Недостатки:

1) Источники знаний не имеют средств для коммуникации помимо абстрактного механизма гипотез. Таким образом отсутствует возможность разместить запрос на выполнение какого-либо действия, например, проведения симуляции или абстрагирования;

2) Вычислительная сложность алгоритма;

3) Отсутствует механизм явного использования специфических для предметной области знаний, что могло бы ускорить получение решений;

4) Отсутствует возможность решать задачи, выходящие за рамки предметных областей источников знаний.

3. Многоуровневый подход к построению гибридной интеллектуальной системы

В работе Г.С. Федоровой [20] рассматривается теоретико-информационный подход к построению интеллектуальных систем как многоуровневой иерархической системы, которая получается из простейших систем заменой некоторых ее базовых элементов интеллектуальными подсистемами. В данном подходе выделяют верхний уровень, описывающий систему в целом, под ним располагается более низкий уровень, на котором делается описание, используемое верхним уровнем и т.д. Таким образом, каждый нижележащий уровень, обеспечивает функциональность, которую использует вышележащий уровень, обмен информацией между уровнями происходит в некотором внутреннем представлении.

3.1 Достоинства и недостатки многоуровневого подхода

Предложенный в работах подход имеет следующие достоинства:

1) возможен выбор альтернативной реализации базового уровня;

2) зависимость между уровнями сводится к минимуму;

3) созданный уровень может служить основой для нескольких различных уровней;

4) существует возможность дублирования и резервирования уровней для повышения надежности и пропускной способности системы.

Также имеются следующие недостатки:

1) модификация или добавление новой функциональности в один из уровней связано с необходимостью внесения каскадных изменений в вышележащие уровни;

2) наличие избыточных уровней потенциально снижает производительность системы, так как при переходе из уровня в уровень требуется преобразование моделируемой сущности в представления необходимое для работы уровня.

4. Проблемно-структурная технология разработки гибридных интеллектуальных систем.

Колесников А.В. в своей статье [21] определяет технологию для построения гибридных интеллектуальных систем для решения неоднородных задач как набор решений однородных задач. Каждую однородную задачу можно отнести к некоторому классу задач по методу решения. Например, задачи прогнозирования, классификации, обобщения и распознавания решаются с помощью искусственных нейронных сетей. Задачи распознавания, поиска, диагностирования, выбора, анализа рисков и обучения, решаются с помощью нечетких систем. Задачи массового обслуживания и отказоустойчивости решаются с помощью имитационного моделирования. Задачи прогнозирования, диагностики, отладки решаются с помощью экспертных систем. Задачи оптимизации, поиска, улучшения, решаются с помощью генетических алгоритмов.

Неоднородная задача содержит исходные данные, которые разделены на типы: стохастические, детерминированные и т.д. Каждая однородная задача ориентирована на работу с определенным типом переменных и

каждый метод решения однородной задачи использует свой набор переменных.

При использовании проблемно-структурной технологии разработчиком производится анализ и декомпозиция неоднородной задачи на однородные задачи. Далее для каждой однородной задачи используется уже разработанная или создается новая, соответствующая задаче, математическая модель. Изначальное количество математических моделей для каждой однородной задачи может быть более одной. Далее происходит построение матрицы отношений между однородными задачами и выбор одной наиболее соответствующей математической модели для каждой однородной задачи, на основе априорной оценки экспертами и использования нечеткой системы вывода. По завершению построения матрицы отношений, комбинировается решение неоднородной задачи.

Выводы. На сегодняшний день существует многообразие методов, подходов и технологий для построения гибридных интеллектуальных систем. Их общей целью является использование сильных сторон существующих методов искусственного интеллекта. Область применения гибридных интеллектуальных систем включает в себя различные задачи в таких областях деятельности как: автоматизация процессов, создание экспертных систем для поддержки принятия решений, обработка изображений, распознавание речи и другие области. Наиболее интересными, на наш взгляд, являются сильно-связанные и полностью интегрированные типы архитектур гибридных интеллектуальных систем с использованием аппарата искусственных нейронных сетей и вывода на основе нечеткой логики.

Список использованной литературы

1. Jacobsen H. A. A generic architecture for hybrid intelligent systems. [Text] / H. A. Jacobsen // Fuzzy Systems Proceedings, 1998. IEEE World Congress on Computational Intelligence The 1998 IEEE International Conference on, Anchorage, AK, 1998, pp. 709-714 vol. 1.
2. Wermter S. An overview of Hybrid Neural System. [Text] / S. Wermter, R. Sun // Hybrid Neural Systems, Springer-Verlag, 2000, pp. 1-13.
3. Колесников А.В. Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем. [Текст] / А.В. Колесников, И.А. Кириков // Москва: ИПИ РАН, 2007. – 387 с.
4. Wermter S. Towards Hybrid Neural Learning Internet Agents. [Text] / S. Wermter, G. Arevian, C. Panchev, // Hybrid Neural Systems. Springer-Verlag, 2000, pp. 160-176.
5. Omlin C.W. Extraction of rules from discrete-time recurrent neural networks. [Text] / C.W. Omlin, C.L. Giles // Neural Networks, Vol. 9, No. 1, 1996, pp. 41-52.
6. Shavlik J.W. A framework for combining symbolic and neural learning. [Text] / J.W. Shavlik // Artificial Intelligence and Neural Networks: Steps Toward Principled Integration. Academic Press, Boston. 1994, pp. 561-580.
7. Fu L.M. Neural Networks in Computer Intelligence. [Text] / L.M. Fu // Neural Networks in Computer Intelligence. McGraw-Hill, Inc., New York, NY, 1994.
8. Sun. R. Integrating Rules and Connectionism for Robust Commonsense Reasoning. [Text] / R. Sun. // Integrating Rules and Connectionism for Robust Commonsense Reasoning. John Wiley and Sons, New York, NY, 1994.
9. Wermter S. SCREEN: Learning a Flat Syntactic and Semantic Spoken Language Analysis Using Artificial Neural Networks [Text] / S. Wermter, V. Weber // Journal of Artificial Intelligence Research, Volume 6, 1997, pp 35-85.
10. Kraetzschmar G.K. Application of neurosymbolic integration for environment modeling in mobile robots. [Text] / G.K. Kraetzschmar, S. Sablatnoeg, S. Enderle, G. Palm // Hybrid Neural Systems. Springer-Verlag, 2000, pp 387-401.
11. Medsker L. R. Hybrid Neural Network and Expert Systems. [Text] / L. R. Medsker // Springer Science+Business Media, New York, 1994.
12. Kwasny S.C. Connectionism and determinism in a syntactic parser. [Text] / S.C. Kwasny, K.A. Faisal // Connectionist natural

language processing. Springer Science+Business Media, Dordrech, 1992, pp 119-162.

13. Hendler J. Developing hybrid symbolic/connectionist models. [Text] / J. Hendler // *Advances in Connectionist and Neural Computation Theory, Vol.1: High Level Connectionist Models*, Ablex Publishing Corporation, Norwood, NJ, 1991, pp. 165-179.

14. Tirri H. Replacing the pattern matcher of an expert system with a neural network. [Text] / H. Tirri // *Intelligent Hybrid Systems*, John Wiley and Sons, 1995, pp. 47-62.

15. Гаврилов А.В. Гибридные интеллектуальные системы. [Текст] / А.В. Гаврилов // *Гибридные интеллектуальные системы. Монография – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 142 с.*

16. Hayes-Roth F. Focus of attention in the Hearsay-II speech understanding system. [Text] / F. Hayes-Roth, V.R. Lesser // *IJCAI'77 Proceedings of the 5th international joint conference on Artificial intelligence - Volume 1*, Morgan Kaufmann Publishers Inc. San Francisco, CA, USA, 1977, pp. 27-35.

17. Erman L.D. The Hearsay-II Speech-Understanding System: Integrating Knowledge to Resolve Uncertainty. [Text] / L.D. Erman, F. Hayes-Roth, V.R. Lesser, D.R. Reddy // *ACM Computing Surveys, Vol: 12, Num: 2*, ACM New York, USA, 1980, pp. 213 – 253.

18. Hofstadter D. The Copycat Project: A Model of Mental Fluidity and Analogy-making. [Text] / D. Hofstadter, M. Mitchell // *Fluid concepts and creative analogies*, Basic Books, Inc. New York, NY, USA, 1995, pp. 205 – 267.

19. Dr. Hunt J. Blackboard Architectures.” / Dr. J. Hunt // JayDee Technology Ltd., 2002

20. Федорова Г.С. Розроблення методики побудови гібридної інтелектуальної системи для рішення основних задач data mining [Текст] / Г.С. Федорова // дипломна робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістра: спец. 8.080401 “Інформаційні управляючі системи і технології”, Харків: ХНЕУ, 2011.

21. Kolesnikov A. Problem-Structure Technology for Hybrid Intelligent Systems Development [Text] / A. Kolesnikov // *FOURTH IEEE INTERNATIONAL BALTIC WORK-*

SHOP ON DB AND IS BalticDB&IS'2000, Vilnius, Lithuania, May 1-5, 2000.

Получено 25.04.2016

References

1. Jacobsen H. A. A generic architecture for hybrid intelligent systems. [Text] / H. A. Jacobsen // *Fuzzy Systems Proceedings, 1998. IEEE World Congress on Computational Intelligence The 1998 IEEE International Conference on*, Anchorage, AK, 1998, pp. 709-714 vol.1. (In English)

2. Wermter S. An overview of Hybrid Neural System. [Text] / S. Wermter, R. Sun // *Hybrid Neural Systems*, Springer-Verlag, 2000, pp. 1-13. (In English)

3. Kolesnikov A.V. Metodologiya i tehnologiya resheniya slozhnih zadach metodami funktsionalnih hibridbdnyh sistem [Methodology and technology of problems solving by methods of functional hybrid intellectual systems.] [Text] / A.V. Kolesnikov, I.A. Kirikov // *Metologiya i tehnologiya resheniya slozhnih zadach metodami funktsionalnih hibridbdnyh sistem*, Moscow: IPI RAN, 2007, p. 387. (In Russian)

4. Wermter S. Towards Hybrid Neural Learning Internet Agents. [Text] / S. Wermter, G. Arevian, C. Panchev // *Hybrid Neural Systems*. Springer-Verlag, 2000, pp. 160-176. (In English)

5. Omlin C.W. Extraction of rules from discrete-time recurrent neural networks. [Text] / C.W. Omlin, C.L. Giles // *Neural Networks*, Vol. 9, No. 1, 1996, pp. 41-52. (In English)

6. Shavlik J.W. A framework for combining symbolic and neural learning. [Text] / J.W. Shavlik // *Artificial Intelligence and Neural Networks: Steps Toward Principled Integration*. Academic Press, Boston. 1994, pp. 561-580. (In English)

7. Fu L.M. Neural Networks in Computer Intelligence. [Text] / L.M. Fu // *Neural Networks in Computer Intelligence*. McGraw-Hill, Inc., New York, NY, 1994. (In English)

8. Sun. R. Integrating Rules and Connectionism for Robust Commonsense Reasoning. [Text] / R. Sun. // *Integrating Rules and Connectionism for Robust Commonsense*

Reasoning. John Wiley and Sons, New York, NY, 1994. (In English)

9. Wermter S. SCREEN: Learning a Flat Syntactic and Semantic Spoken Language Analysis Using Artificial Neural Networks [Text] / S. Wermter, V. Weber // *Journal of Artificial Intelligence Research*, Volume 6, 1997, pp 35-85. (In English)

10. Kraetzschmar G.K. Application of neurosymbolic integration for environment modelling in mobile robots. [Text] / G.K. Kraetzschmar, S. Sablatnoeg, S. Enderle, G. Palm // *Hybrid Neural Systems*. Springer-Verlag, 2000, pp 387-401. (In English)

11. Medsker L. R. Hybrid Neural Network and Expert Systems. [Text] / L. R. Medsker // *Hybrid Neural Network and Expert Systems*, Springer Science+Business Media, New York, 1994. (In English)

12. Kwasny S.C. Connectionism and determinism in a syntactic parser. [Text] / S.C. Kwasny, K.A. Faisal // *Connectionist natural language processing*. Springer Science+Business Media, Dordrech, 1992, pp 119-162. (In English)

13. Hendler J. Developing hybrid symbolic/connectionist models. [Text] / J. Hendler // *Advances in Connectionist and Neural Computation Theory*, Vol.1: High Level Connectionist Models, Ablex Publishing Corporation, Norwood, NJ, 1991, pp. 165-179. (In English)

14. Tirri H. Replacing the pattern matcher of an expert system with a neural network. [Text] / H. Tirri // *Intelligent Hybrid Systems*, John Wiley and Sons, 1995, pp. 47-62. (In English)

15. Gavrilov A.V. Hibridnuye intellektualnie sistemu [Hybrid Intelligent Systems] [Text] / A.V. Gavrilov // *Hibridnuye intellektualnie sistemu Monographiya*, Novosibirsk, NSTU Publishing house, 2002, p.142. (In Russian)

16. Hayes-Roth F. Focus of attention in the Hearsay-II speech understanding system. [Text] / F. Hayes-Roth, V.R. Lesser // *IJCAI'77 Proceedings of the 5th international joint conference on Artificial intelligence - Volume 1*, Morgan Kaufmann Publishers Inc. San Francisco, CA, USA, 1977, pp. 27-35. (In English)

17. Erman L.D. The Hearsay-II Speech-Understanding System: Integrating Knowledge to Resolve Uncertainty. [Text] / L.D. Erman, F.

Hayes-Roth, V.R. Lesser, D.R. Reddy // *ACM Computing Surveys*, Vol: 12, Num: 2, ACM New York, USA, 1980, pp. 213 – 253. (In English)

18. Hofstadter D. The Copycat Project: A Model of Mental Fluidity and Analogy-making. [Text] / D. Hofstadter, M. Mitchell // *Fluid concepts and creative analogies*, Basic Books, Inc. New York, NY, USA, 1995, pp. 205 – 267. (In English)

19. Dr. Hunt J. Blackboard Architectures.” / Dr. J. Hunt // *Blackboard Architectures*, JayDee Technology Ltd., 2002 (In English)

20. Fedorova G.S. Rosroblennia metodyky pobudovy hibridnoyi intellektualnoyi systemy dliya rishenniya osnovnih zadach data mining [Development of the method of construction of hybrid intelligent system to solve basic problems of Data Mining] [Text] / G.S. Fedorova // *master thesis – Kharkiv, Ukraine: KHNEU*. 2011 (In Ukrainian)

21. Kolesnikov A. Problem-Structure Techology for Hybrid Intelligent Systems Development [Text] / A. Kolesnikov // *FOURTH IEEE INTERNATIONAL BALTIC WORKSHOP ON DB AND IS BalticDB&IS'2000*, Vilnius, Lithuania, May 1-5, 2000. (In English)



Крапивный Юрий Николаевич,
канд. физ.-мат. наук, доцент каф. математического обеспечения компьютерных систем Одес. нац. ун-та им. И.И. Мечникова
e-mail:

y.kravivny@gmail.com



Кривонос Александр Олегович,
аспирант каф. математического обеспечения компьютерных систем Одес. нац. ун-та им. И.И. Мечникова
e-mail:

geraclion@gmail.com