

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

© 2019 г. И.А. Соколов

*Федеральный исследовательский центр
"Информатика и управление" РАН, Москва, Россия
E-mail: isokolov@ipiran.ru*

Поступила в редакцию 03.12.2018 г.
Поступила после доработки 03.12.2018 г.
Принята к публикации 17.01.2019 г.

Искусственный интеллект — междисциплинарное научное направление, возникшее около 60 лет назад на стыке психологии, лингвистики, математических методов и компьютерных наук. Экспериментальная в своей основе наука сегодня выработала ряд собственных методов: представления знаний, моделирования рассуждений и поведения, интеллектуального анализа текстов и данных. В рамках искусственного интеллекта возникли новые самостоятельные научные и прикладные дисциплины: немонотонные и дескриптивные логики, эвристическое программирование, экспертные системы и технологии программирования, основанные на знаниях. Возросший в последние годы интерес к искусственному интеллекту связан с развитием на базе перечисленных методов новых перспективных технологий, в частности, обнаружения знаний в базах данных (или, как принято говорить сегодня, машинного обучения), обработки естественного языка, автономных непилотируемых интеллектуальных систем, гибридного человеко-машинного интеллекта.

Ключевые слова: методы искусственного интеллекта, фундаментальные исследования в области искусственного интеллекта, технологии искусственного интеллекта, области применения искусственного интеллекта, перспективы развития искусственного интеллекта.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894365-370>

В настоящее время технологии искусственного интеллекта являются одним из основных драйверов экономического роста во всех развитых странах, коренным образом меняют жизнь обычных людей, работу бизнеса и государства. Этим объясняется резкий всплеск интереса к методам искусственного интеллекта.

Следует подчеркнуть, что искусственный интеллект — общепринятый термин, которым специалисты обозначают (возможно, не очень удачно) междисциплинарное научное направление, возникшее немногим более 60 лет назад и нацеленное на развитие методов решения сложных проблем с часто неизвестными априорными алгоритмами.

Первой интеллектуальной системой можно считать программу "Логик-Теоретик", созданную в 1956 г. А. Ньюэллом, Г. Саймоном и Дж. Шоу из RAND Corporation (США) и предназначенную для автоматического поиска доказательств теорем в исчислении высказываний [1].

Несмотря на то, что искусственный интеллект относят к экспериментальной науке, за недолгую историю развития в его недрах возник ряд фундаментальных теоретических методов, которые сегодня принято называть методами искусственного интеллекта. Они направлены прежде всего на работу со специальными сложными структурами данных, имеющими общий характер, содержащими информацию о предметной области и оснащёнными процедурами поддержания корректности этих данных и выводов на их основе. Такие структуры принято называть знаниями о рассматриваемой предметной области.

Используя некоторые методы искусственного интеллекта, можно не только решать какие-либо задачи, но и определять алгоритм поиска такого решения. При этом классические математические методы поиска решения либо не разрабатывались ранее для таких задач, либо не способны были их решать с учётом всех ограничений, в том числе по времени и эффективности, налагаемых условиями задачи.

СОКОЛОВ Игорь Анатольевич — академик РАН, директор ФИЦ ИУ РАН.

МЕТОДЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

По современным представлениям, к методам искусственного интеллекта можно отнести методы представления знаний, приобретения знаний компьютерными системами, автоматизации рациональных рассуждений и порождения познавательных гипотез, автоматизации планирования и целенаправленного поведения, интеллектуального анализа текстов и др. При этом задача воспроизведения человеческого интеллекта в серьёзных исследованиях не ставилась (во всяком случае, пока). Остановимся кратко на перечисленных методах.

Говоря о *методах представления знаний* — формальных языках и формальных системах (а также соответствующих программных средствах), можно выделить системы правил, семантические сети и системы фреймов. Наиболее известный язык такого рода — язык правил. Правила восходят к системам подстановок Поста и нормальным алгорифмам Маркова [2].

В общем случае правило r можно записать в виде:

$$r = \langle C, A, D \rangle,$$

где C — условие правила; A — множество добавляемых фактов; D — множество удаляемых правил фактов. Элементами этих трёх множеств могут быть как логические, так и лингвистические конструкции, переменные и константы. Правило, если его условие выполнено, применяется к состоянию системы, которое описывается в так называемой рабочей памяти.

Процесс применения правил к очередному состоянию системы и, следовательно, процесс добавления/удаления фактов (так в искусственном интеллекте принято называть формулы без свободных переменных) продолжается, пока система не окажется в состоянии, где отсутствуют применимые правила. Можно задать цель, например, в виде некоторого логического выражения. Тогда работа завершится, даже если цель будет достигнута. По существу, это модель саморазвития системы.

С помощью систем правил можно решить ряд задач, например, построить план сборки сложного технического устройства, здания или автономной транспортировки некоторого груза из одного помещения в другое.

Заметим, что применение систем правил не нуждается в алгоритме решения задачи. Достаточно лишь обладать стратегией применения правил. Их всего две — для коммутативных и некоммутиративных систем. Суть любой стратегии состоит в выборе правила, условия которого выполня-

ются в текущем состоянии из множества правил и последующем его применении, то есть в выполнении действия, предписываемого правилом, и изменении текущего состояния системы. Учёт особенности каждой задачи реализуется в компонентах правил.

Здесь возникает несколько вопросов, и главный из них — какое правило следует применить, если в определённом состоянии оказалось использовано более одного правила? Точного ответа на этот вопрос нет. Однако можно предложить некоторые эвристики — правила выбора без достаточных теоретических оснований, диктуемые характером задачи.

К иным способам представления знаний относятся семантические сети [3] и системы фреймов [4]. Например, если говорить о так называемых неоднородных семантических сетях [5], то, в отличие от графов, их дуги имеют различный смысл (семантику) и, как следствие, различные вычислительные процедуры их интерпретации. Например, утверждению "пневмония *всегда* сопровождается повышенной скоростью оседания эритроцитов" соответствует один тип дуги, но утверждение "повышенная скорость оседания эритроцитов *может* свидетельствовать о наличии пневмонии" представляется другим типом дуги. Следовательно, решая задачу диагностики, система будет стремиться обнаружить и иные признаки, являющиеся положительными аргументами для гипотезы "пневмония", а также отсутствие признаков, являющихся отрицательными аргументами.

Исследование семантических сетей и их строгая формализация привели к появлению нового раздела математической логики — дескриптивных логик, ставших, по существу, теорией баз знаний и онтологий.

Методы приобретения знаний, к которым относятся прямые методы, методы извлечения знаний из текстов и методы извлечения знаний из данных (машинного обучения), создают основы компетентности интеллектуальных систем [6].

Прямые методы основаны на интервьюировании эксперта. Методы извлечения знаний из текстов используют компьютерный анализ текстовой информации и направлены на поиск и извлечение имён понятий, их свойств и связей между ними [7]. Методы машинного обучения базируются на автоматическом анализе данных, выявлении их существенных признаков и закономерностей, в неявном виде присутствующих в данных.

В своё время прямые методы натолкнулись на трудности принципиального характера, порождённые так называемой когнитивной защитой эксперта. Например, вербальные сообщения эксперта часто не соответствуют его ментальному

поведению; в сообщениях эксперта обычно присутствуют пробелы. Эти проблемы удалось преодолеть, создав автоматизированные методы прямого приобретения знаний. В результате приобретение знаний интеллектуальной системой стало задачей самой системы. Оказалось, что когнитивная защита эксперта, проявляющая себя при его взаимодействии с так называемым инженером по знаниям, "выключается" при взаимодействии эксперта с автоматизированной системой приобретения знаний, в которой реализован ряд психологических приёмов, именуемых методами преодоления когнитивной защиты [8].

Весьма важные и перспективные подходы развиваются в рамках *интеллектуального анализа данных*, задачи которого связаны с поиском закономерностей в открытых, постоянно пополняемых данных.

Можно выделить логические, статистические и вычислительные методы анализа данных. К логическим относятся обучение на основе логик первого и второго порядка, методы эмпирической и конструктивной индукции [9]. Среди методов эмпирической индукции следует назвать: TDIDT-алгоритм, который представляет собой классический вариант индукции сверху вниз и используется для построения так называемых деревьев принятия решений; AQ-алгоритм, основанный на идее последовательного покрытия обучающих данных множеством правил; FOIL-алгоритм для построения хорновских формул; метод обратной резолюции – синтез общих логических выражений из их следствий. К методам конструктивной индукции можно отнести CIA-алгоритм, который, в отличие от других известных алгоритмов кластеризации, строит иерархии понятий, а не их множеств. Заметим, что указанные алгоритмы ориентированы на анализ не только численных, но и символьных данных.

К методам построения иерархии понятий можно отнести вероятностные методы UNIMEM и COBWEB. Следует также упомянуть о вычислительных методах, а именно о методе анализа данных в динамических системах. Алгоритм BACON восстанавливает вид зависимости в динамических системах на основе данных серии экспериментов, а алгоритм LAGRANGE – вид дифференциального уравнения.

Степень достоверности закономерностей, полученных на основе анализа данных в открытых системах, вообще говоря, может не только расти, но и уменьшаться с увеличением объёма обрабатываемых данных. Поэтому результаты работы всех указанных алгоритмов принято называть правдоподобными, в отличие от достоверных результатов, получаемых, например, дедуктивным путём.

Аксиоматизация этой деятельности привела к возникновению так называемых немонотонных логик. Если из утверждения, что формула Φ выводима из Γ , где Γ – некоторое множество формул, следует, что Φ выводима из Γ и Ψ , где Ψ – произвольная формула, то вывод называется *монотонным*. В противном случае он будет называться *немонотонным*.

Методы автоматизации рассуждений – важное направление теории и приложений искусственного интеллекта, где помимо дедуктивных рассуждений, хорошо изученных в классической математической логике, выделяют и моделируют индуктивные, абдуктивные, аргументационные рассуждения, а также рассуждения по аналогии и на основе прецедентов [10, 11]. В качестве специальных типов выделяют рассуждения о пространстве–времени, пространственных и временных оценках, нечёткие рассуждения и др.

Рассмотрим, например, правило индуктивного вывода:

$$A(a_1), \dots, A(a_n) \Rightarrow \forall x A(x).$$

Если элементы a_1, \dots, a_n не исчерпывают универсума U , то новый индивид $a_{n+1} \in U$ может не обладать свойством A , и заключение $\forall x A(x)$ оказывается несправедливым. Это означает, что $\forall x A(x)$ не выводится из $A(a_1), \dots, A(a_n)$ и $B(a_{n+1})$, то есть в соответствии со сказанным выше индуктивный вывод не является монотонным.

Методы интеллектуального планирования поведения при классических допущениях находят всё большее применение в различных областях – от дистанционного обучения до космических исследований. Наиболее развиты так называемые методы AI-планирования, или задачи планирования при классических допущениях, когда состояние среды предсказуемо, иначе говоря, когда изменение состояния среды является следствием действий самого субъекта поведения.

В том случае, если классические допущения не выполняются, следует говорить о динамическом планировании или планировании в динамических интеллектуальных системах, когда возможно динамическое перепланирование или парирование возмущений на основе двух типов обратных связей, возникающих в таких задачах [12]. Однако даже в случае классических допущений задача планирования относится к классу PSPACE – полных задач, а в случае, если в языке описания планов и действий допускаются функциональные символы, задача планирования даже при классических допущениях становится неразрешимой.

Следует упомянуть о *методах интеллектуального анализа неструктурированной информации*, в частности, текстовой. Часто под этим понима-

ются такие методы анализа, которые полностью игнорируют лингвистическую сущность текста и подменяют её различными информационными вероятностными измерениями, в лучшем случае — методами анализа символьных последовательностей. Между тем текст создаётся по собственным законам, и игнорирование его лингвистической природы приводит к подмене понятий. Задача же состоит в том, чтобы, используя наукоёмкие методы лингвистического анализа, решить проблемы автоматического анализа текста на уровне его понимания [13–17]. Тем не менее далеко не любая лингвистическая теория допускает компьютерную реализацию и позволяет решать задачи автоматического анализа текста.

ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Рассмотрим несколько примеров, демонстрирующих возможности методов искусственного интеллекта.

Задача управления сложными движениями активного корабля на орбите в процессе стыковки с орбитальной станцией. Речь идёт о многошаговом процессе, сложность которого обусловлена возможным вращением станции в трёх измерениях и необходимостью согласования скоростей движения и направлений вращений активного корабля с соответствующими параметрами станции. Эта задача решается интеллектуальной системой, в основе которой лежат три типа специальных правил: замыкания состояния, переходов и управления [18].

Задача анализа данных с получением прогнозных рекомендаций. В 2016 г. на Магнитогорском металлургическом комбинате ввели в эксплуатацию рекомендательный сервис для оптимизации расхода ферросплава при производстве стали. Применение технологий в области машинного обучения, в том числе специальных графов вычислений (искусственных нейронных сетей), которые функционируют на основе приближённых оптимизационных методов, позволило снизить издержки компании в среднем на 5% в год.

Задача планирования поведения и поиска пути в пространстве. Одна из ключевых проблем, возникающих при разработке систем управления беспилотными транспортными средствами, — поиск траектории движения аппарата в условиях ограниченного времени и большого количества препятствий. Эффективно решить эту задачу традиционными методами управления не удавалось. Для осуществления системы поиска был предложен новый алгоритм с использованием специальных структур представления пространственной

информации: МТ-графы, в рамках которых производился эвристический поиск [19].

Задача анализа естественного языка и извлечение знаний из текстов. В качестве примера успешного решения этой задачи можно привести семейство поисково-аналитических машин на платформе Exactus. Применение методов искусственного интеллекта, допускающих эффективную компьютерную реализацию, позволило преобразовать тексты в структуры особого вида с присоединёнными процедурами интерпретации — неоднородными семантическими сетями, с которыми далее могут работать системы, производящие построение поискового индекса, анализ на заимствования и т. д. С помощью этой модели можно, в частности, извлекать из текста знания, которые в дальнейшем могут использоваться, например, в экспертных системах [20].

Задача управления сложным техническим объектом в условиях непредсказуемой внешней среды и отсутствия связи с центром управления. 24 октября 1998 г. НАСА запустило автоматическую межпланетную станцию "Deep Space 1" для исследования дальнего космоса. В миссию входило сближение с астероидом Брайль и кометой Борелли. После удаления станции на 90 млн миль от Земли в силу невозможности управления ею по радио эти функции взяли на себя интеллектуальные агенты: автономная система навигации (Autonav), система реконфигурации оборудования (Remote Agent), диагностическая система, основанная на знаниях (Livingstone), надёжный планировщик (EUROPA) и система исполнения плана (EXEC).

РОССИЙСКИЙ ОПЫТ

В России традиционно основной упор делался на фундаментальные исследования. Фундаментальные исследования в области искусственного интеллекта (как в естественно-научных дисциплинах, так и в гуманитарной сфере) в течение последних лет осуществляются в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук, грантов РФФИ и РНФ главным образом в институтах РАН, а также в ведущих университетах страны. Благодаря исследованиям, проведённым в этих организациях, в РФ создан серьёзный фундаментальный задел в области искусственного интеллекта, развития его методов и технологий. Сложилась и активно работают научные школы, среди которых отметим следующие:

- Ю.Д. Апресяна — модель "Смысл → Текст";
- С.Н. Васильева — логические методы в теории управления;
- С.Ю. Желтова — обработка информации в сложных системах управления;

- Ю.И. Журавлёва – теория распознавания образов;
- В.А. Лекторского – гуманитарные аспекты искусственного интеллекта;
- В.Л. Макарова – моделирование экономических процессов;
- Д.А. Поспелова – ситуационное управление, экспертные системы, нечёткие системы, моделирование рассуждений;
- К.В. Рудакова – анализ данных;
- К.В. Анохина – исследование мозга;
- Б.М. Величковского – исследование сознания и внимания в психологии;
- Н.В. Ванника – теория машинного обучения;
- Г.А. Золотовой – модель коммутативной грамматики в лингвистике;
- Г.С. Осипова – интеллектуальные динамические системы, анализ естественного языка;
- В.К. Финна – правдоподобный вывод, ДСМ-метод.

Среди значимых российских достижений можно отметить создание методов:

- машинного обучения при решении задач обработки изображений и распознавания образов;
- автономной координации и управления в коалициях интеллектуальных агентов;
- коллективного взаимодействия роботов при решении групповых задач;
- когнитивных компьютерных моделей с пониманием естественного языка, систем поддержки научных исследований;
- искусственного интеллекта для обеспечения информационной безопасности;
- автоматизации рассуждений;
- планирования и управления поведением в сложных непрогнозируемых средах.

Полученные фундаментальные научные результаты были использованы при проведении прикладных исследований и разработок в различных отраслях экономики, в том числе в авиационно-космической промышленности и управлении воздушным пространством, на железнодорожном транспорте, в судостроительной отрасли, сельском хозяйстве, безлюдных роботизированных производствах, здравоохранении, социогуманитарной сфере, науках о жизни, разведке и добыче полезных ископаемых, городской инфраструктуре и др.

В заключение хотелось бы отметить перспективные, на наш взгляд, направления исследований, которые окажут существенное влияние на теорию и практику использования методов искусственного интеллекта: машины знаний и работа с ними; мультимодальная аналитика и рассуждения; гибридный человеко-машинный интеллект; интеллектуальные динамические системы; когнитивный анализ данных; мульти-

агентное управление и диспетчирование ресурсов в распределённых системах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Newell A., Shaw J.C. Programming the logic theory machine // Proceedings of the Western Joint Computer Conference. Feb. 1957. Los Angeles.
2. Нилсон Н. Принципы искусственного интеллекта. М.: Мир, 1977.
3. Quillian M.R. Semantic Memory // Semantic Information Processing. Cambridge, MA: MIT Press, 1968.
4. Минский М. Фреймы для представления знаний. М.: Мир, 1979.
5. Осипов Г.С. Построение моделей предметных областей. Ч. 1. Неоднородные семантические сети // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. 1990. № 5. С. 32–45.
6. Boose J.H. Knowledge Acquisition Program for Expert Systems Based on Personal Construct Psychology // Int. Journal on Man-Machine Studies. 1985. V. 23. P. 495–525.
7. Большакова Е.И., Баева Н.В., Васильева Н.Э. Структурирование и извлечение знаний, представленных в научных текстах // Девятая национальная конференция по искусственному интеллекту КИИ-2004. Т. 2. М.: Физматлит, 2004.
8. Osipov G.S. The Method of Direct Knowledge Acquisition from human experts // Proceedings of the 5th Banff Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems Workshop. Nov. 1990. Banff, Canada.
9. Michalski R.S., Bratko I., Kubat M. Machine Learning and Data Mining: Methods and Applications. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 1997.
10. Вагин В.Н., Головина Е.Ю., Загорянская А.А., Фомина М.В. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах. М.: Физматлит, 2004.
11. Финн В.К. Искусственный интеллект. Методология, применения, философия. М.: Красанд, 2008.
12. Осипов Г.С. Методы искусственного интеллекта. М.: Физматлит, 2015.
13. Смирнов И.В., Шелманов А.О., Кузнецова Е.С., Храмоин И.В. Семантико-синтаксический анализ естественных языков. Ч. 2. Метод семантико-синтаксического анализа текстов // Искусственный интеллект и принятие решений. 2014. № 1. С. 11–24.
14. Lyons J. Semantics. London: Cambridge University Press, 1977.
15. Апресян Ю.Д. Избранные труды. Т. 1. Лексическая семантика. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: Школа "Языки русской культуры", 1995.
16. Сокирко А.В. Реализация первичного семантического анализа в системе Диалинг // Труды Международного семинара Диалог-2000 по компьютерной лингвистике и её приложениям. 1–5 июня 2000 г. Протвино, Россия.

17. Золотова Г.А., Онипенко Н.К., Сидорова М.Ю. Коммуникативная грамматика русского языка. М.: Институт русского языка им. В.В. Виноградова РАН, 2004.
18. Виноградов А.Н., Осипов Г.С., Жилыкова Л.Ю. Динамические интеллектуальные системы. Ч. 2. Моделирование целенаправленного поведения // Известия РАН. Теория и системы управления. 2003. № 1. С. 87–94.
19. Yakovlev K., Baskin E., Hramoin I. Grid-based angle-constrained path planning // Proceedings of the 38th Annual German Conference on Artificial Intelligence. 21–25 Sept. 2015. Dresden, Germany.
20. Осипов Г.С., Смирнов И.В., Тихомиров И.А. Реляционно-ситуационный метод поиска и анализа текстов и его приложения // Искусственный интеллект и принятие решений. 2008. № 2. С. 3–10.

THEORY AND PRACTICE IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE

© 2019 I.A. Sokolov

Federal Research Center “Computer Sciences and Control”, RAS, Moscow, Russia

E-mail: isokolov@ipiran.ru

Received: 03.12.2018

Revised version received: 03.12.2018

Accepted: 17.01.2019

Artificial Intelligence is an interdisciplinary field, and formed about 60 years ago as an interaction between mathematical methods, computer science, psychology, and linguistics. Artificial Intelligence is an experimental science and today features a number of internally designed theoretical methods: knowledge representation, modeling of reasoning and behavior, textual analysis, and data mining. Within the framework of Artificial Intelligence, novel scientific domains have arisen: non-monotonic logic, description logic, heuristic programming, expert systems, and knowledge-based software engineering. Increasing interest in Artificial Intelligence in recent years is related to the development of promising new technologies based on specific methods like knowledge discovery (or machine learning), natural language processing, autonomous unmanned intelligent systems, and hybrid human-machine intelligence.

Keywords: artificial intelligence methods, artificial intelligence technology, application of artificial intelligence, the perspectives for the development of artificial intelligence.