

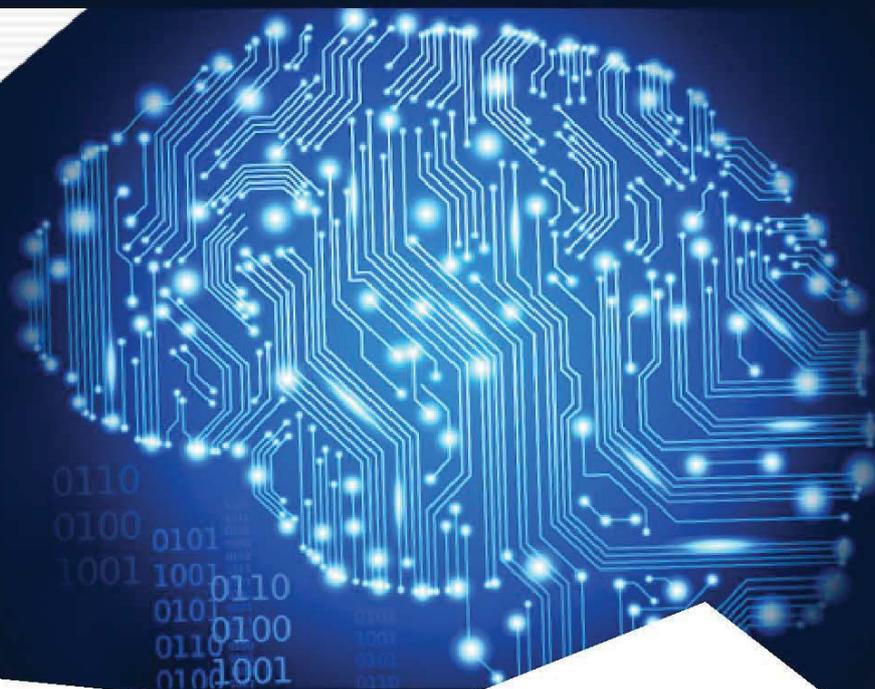


СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY

А. В. Пятаева, К. В. Раевич

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



**ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ
И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

УДК 004.89(07)
ББК 32.813я73
П992

Р е ц е н з е н т ы:

В. П. Пяткин, доктор технических наук, профессор Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН;

М. В. Карасёва, кандидат технических наук, доцент Сибирского государственного университета науки и технологии имени академика М. Ф. Решетнёва

Пятаева, А. В.

П992 Интеллектуальные системы и технологии : учеб. пособие /
А. В. Пятаева, К. В. Раевич. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2018. –
144 с.
ISBN 978-5-7638-3873-2

Изложены основные направления развития интеллектуальных систем. Рассмотрены модели представления знаний, основные компоненты экспертной системы и ее особенности, этапы разработки экспертных систем. Дано описание нейронных сетей. Представлен теоретический материал, посвященный эволюционным методам принятия решений. Приведен пример разработки и использования эволюционных алгоритмов.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 09.03.02 «Информационные системы и технологии».

Электронный вариант издания см.:
<http://catalog.sfu-kras.ru>

УДК 004.89(07)
ББК 32.813я73

ISBN 978-5-7638-3873-2

© Сибирский федеральный
университет, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
Г л а в а 1. ВВЕДЕНИЕ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ. ЯЗЫКИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ.....	7
1.1. Этапы развития систем искусственного интеллекта	7
1.2. Классификация систем искусственного интеллекта.....	13
1.3. Задачи систем искусственного интеллекта.....	16
1.4. Данные и знания	17
1.5. Представление знаний.....	21
1.6. Модели представления знаний.....	22
Г л а в а 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ. ТЕХНОЛОГИИ ИНЖЕНЕРИИ ЗНАНИЙ.....	52
2.1. Введение в экспертные системы.....	52
2.2. Технологии инженерии знаний.....	61
Г л а в а 3. ОСНОВЫ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ.....	76
3.1. Биологический прототип искусственных нейронных сетей.....	76
3.2. Основные идеи и области применения искусственных нейронных сетей.....	77
3.3. Основные компоненты нейронной сети.....	79
3.4. Архитектуры нейронных сетей.....	87
3.5. Обучение нейронной сети	87
3.6. Нейронные сети глубокого обучения.....	89
Г л а в а 4. ЭВОЛЮЦИОННЫЕ АЛГОРИТМЫ.....	96
4.1. Основоположники теории эволюции	96
4.2. Классификация систем искусственного интеллекта.....	100
4.3. Классификация эволюционных алгоритмов.....	102
4.4. Основные определения	103
4.5. Схема работы эволюционного алгоритма.....	108
4.6. Постановка задачи глобальной оптимизации.....	111

4.7. Проектирование эволюционных алгоритмов (EA-Design).....	113
4.8. Теория строительного блока.....	118
4.9. Проектирование представления	120
4.10. Инициализация популяции	123
4.11. Оценивание индивида	123
4.12. Селекция	124
4.13. Стратегия замещения	128
4.14. Операторы скрещивания.....	128
4.15. Операторы мутации	131
4.16. Преобразование целевой функции в функцию пригодности.....	133
4.17. Нарушение условий задачи	133
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	137
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	140

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время растет интерес к искусственному интеллекту, повышаются требования к информационным системам. Мы неуклонно движемся к новой информационной революции, сравнимой по масштабам с развитием Интернета, имя которой – искусственный интеллект.

Все уже, наверное, слышали об электромеханических собаках в Японии, способных узнавать хозяина в лицо, выполнять некоторые простейшие команды и имеющих некоторую способность к обучению. Слышали и про холодильники с выходом в Интернет и про внедрение Microsoft в будущие версии Windows элементов искусственного интеллекта. Технологии распознавания речи прочно вошли в нашу жизнь и стали неотъемлемой ее частью. Искусственный интеллект окружает нас повсюду; планирование дня, прогнозирование роста курсов валют, анализ текста и изображений – все эти задачи активно решаются с использованием технологий искусственного интеллекта.

В подобном развитии области искусственного интеллекта нет ничего необычного. Здесь уместно привести гипотезу о встречной эволюции человека и компьютера: человек сначала учится видеть, ходить, разговаривать, а уже потом развивает способности к вычислениям и логическим выводам. Компьютер же наоборот, рождается как вычислительная система, базирующаяся на формальной логике, а в процессе развития приобретает способности к распознаванию образов, синтезу речи и управлению в реальном времени.

Различают два основных подхода к моделированию искусственного интеллекта: машинный интеллект, заключающийся в строгом задании результата функционирования, и искусственный разум, направленный на моделирование внутренней структуры системы.

Тематика искусственного интеллекта охватывает широкий перечень научных направлений, начиная с таких задач общего характера, как обучение и восприятие, и заканчивая специальными задачами, такими как игра в шахматы, доказательство математических теорем, сочинение поэтических произведений, диагностика заболеваний. В искусственном интеллекте систематизируются и автоматизируются интеллектуальные задачи, поэтому эта область касается любой сферы интеллектуальной деятельности человека.

Люди называют себя «человек разумный», поскольку для них мыслительные способности имеют первостепенное значение. В течение многих сотен лет человек пытался понять, как он думает, как ему удастся ощущать, понимать и предсказывать. В области искусственного интеллекта решаются еще более масштабные задачи. Специалисты в области искусственного интеллекта пытаются не только понять природу интеллекта, но и создать интеллектуальные сущности.

В настоящем пособии рассматриваются технологии искусственного интеллекта, ставшие на текущий момент классикой интеллектуальных систем. Это модели представления знаний, теория экспертных систем, нейронные сети. В пособие также включена глава, посвященная эволюционным алгоритмам.

ВВЕДЕНИЕ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ. ЯЗЫКИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ

1.1. Этапы развития систем искусственного интеллекта

Первое нормированное определение того, что есть искусственный интеллект, появилось в 1980 г. в советском энциклопедическом словаре: *«искусственный интеллект» – условное обозначение кибернетических систем, моделирующих некоторые стороны интеллектуальной деятельности человека – логическое, аналитическое мышление».*

В научно-справочных изданиях определение искусственного интеллекта появилось в 1979 г. в Словаре по кибернетике под редакцией академика В. М. Глушкова:

«Искусственный интеллект (ИИ) – 1) искусственная система, имитирующая решения человеком сложных задач в процессе его жизнедеятельности; 2) направление научных исследований, сопровождающих и обуславливающих создание систем ИИ, построенных на базе средств вычислительной техники и предназначенных для восприятия, обработки и хранения информации, а также для формирования решений по целесообразному поведению в ситуациях, моделирующих состояние мира природы и общества. Исследования в области ИИ находятся на стыке психологии, лингвистики, философии, социологии, математики и вычислительной техники».

Из приведенных выше толкований следует, что в исследованиях по искусственному интеллекту можно выделить основные цели.

Информационная, эвристическая (или прагматическая) цель состоит в создании программ для автоматизации интеллектуальных видов человеческой деятельности. Как будут построены эти программы, насколько близки или далеки будут способы достижения поставленной цели в сравнении с тем, как бы сделал сам человек, совершенно не важно. Значение имеет только лишь конечный результат.

Бионическая цель заключается в использовании программ ИИ для объяснения мыслительной деятельности человека во время решения тех

или иных задач. Программы ИИ при этом должны моделировать сам процесс получения результата человеком, помогать постигать эти процессы.

В рамках **эволюционного** подхода считается, что программы смогут стать «интеллектуальными» только тогда, когда они сами смогут обучаться. Целью создания программ при этом подходе становится создание самообучающихся, самоорганизующихся и адаптирующихся систем.

Исходя из приведенных целей определим, что исследования в области ИИ сконцентрированы на разработке и внедрении компьютерных программ и систем, способных имитировать и воспроизводить те области человеческой деятельности, которые требуют мышления, использования определенного мастерства и опыта. К ним относятся задачи принятия решений, распознавания образов и понимания человеческого языка.

Интеллектуальные системы сегодня все чаще применяются для решения трудных задач, где основная сложность связана с использованием слабоформализованных знаний специалистов и где процесс смысловой обработки информации достаточно трудоемкий, поэтому **основным для интеллектуальных технологий сегодня** по праву считается направление по обработке знаний. Примером может служить создание систем для понимания естественного языка, поддержка принятия решений в экспертных системах, постановка диагноза и выдача рекомендаций по методам лечения, анализ графической информации и т. д.

Область развития искусственного интеллекта находится на стыке различных наук и постоянно меняется, стремясь вобрать последние достижения, поэтому условно область исследований ИИ можно разделить на несколько направлений и выделить 7 этапов развития.

1. Эвристические программы. В конце 50-х гг. работы в области ИИ проводились Ньюэллом, Саймоном и Шоу, которые исследовали процессы решения различных задач. Результаты трудов этих авторов: создание общего решателя задач, программы для доказательства теорем – являются основополагающими на первых этапах работ в области ИИ и связанной с ней разработкой эвристических программ. Эвристический подход к решению задач рассматривался исследователями как свойственный человеческому мышлению, для которого характерно возникновение догадок о путях решения задачи с их последующей проверкой.

В те же годы, что и начало работ в области ИИ, был сформирован **бионический подход** к ИИ. На данном этапе велись разработки только по простейшим нейронным сетям, поэтому он в то время не получил широкого развития.

Другими направлениями исследований в рамках бионического подхода были генетические алгоритмы и нечеткая логика, но ввиду малой области их применения они также были не популярны.

В противоположность ранним работам Ньюэлла и Саймона в Массачусетском технологическом институте и Стэнфордском университете сформировались группы исследователей, которые вели разработки, относящиеся к формальным математическим представлениям. Способы решения задач при этом развивались на основе расширения математической и символической логики. Моделирование человеческого мышления оставалось на втором плане.

Видными исследователями в рамках данного направления были такие известные в области ИИ ученые, как Минский, Мак-Карти, Слейгл, Рафаэль, Бобров, Бенерджи и др.

На дальнейшее развитие направлений в области ИИ большое влияние оказало появление предложенного Робинсоном метода резолюции, являющегося теоретически исчерпывающим методом доказательства, который основан на доказательстве теорем в логике предикатов.

Значение работ Робинсона для исследований в области ИИ заключалось в смещении внимания в разработке таким образом, что целью исследований в рамках ИИ стало не моделирование способов мышления человека, а разработка программ, способных решать «человеческие задачи».

Головоломки, различные игры и математические задачи являлись своеобразным испытательным полигоном для развития методов ИИ. Выбор задач для исследований обуславливался прежде всего простотой проблемной области, небольшой размерностью, а также возможностью быстрого подбора решений. Такие среды подходили в том числе для моделирования сложных процессов, исследования различных стратегий решения с относительно невысокими затратами человеческих и машинных ресурсов.

2. Интегральные роботы. Разработка систем ИИ при функционировании их в условиях реального мира привела исследователей к созданию интегральных роботов. При разработке таких роботов решались не отдельные задачи ИИ, а реализовывался необходимый спектр интеллектуальных функций, например для организации целенаправленного поведения, восприятия информации о внешней среде, обучении, общении с человеком и т. д.

Интеллектуальные программы для решения задач должны были обладать необходимым комплексом знаний об окружающем мире и среде функционирования. Эти знания закладывались в виде модели проблемной среды (внешнего мира), которая существенна для решения.

Были разработаны экспериментальные роботы, при проведении экспериментов с которыми в реальных условиях потребовалось кардинально пересмотреть вопросы, связанные с представлением знаний о среде функционирования. Выяснилась недостаточная исследованность проблем зрительного восприятия, поведения в динамических средах, общения на естественном языке и т. д.

3. Экспертные системы. Проблемы создания интеллектуальных роботов были сформулированы перед исследователями в середине 70-х гг. и ознаменовали начало третьего этапа исследований систем ИИ – создание **экспертных систем (ЭС)**, характерной чертой которых явилось смещение центра внимания от автономных систем к человеко-машинным системам, интегрирующих в единое целое интеллект человека и способности вычислительных машин.

На первый план была выдвинута разработка методов и средств, обеспечивающих тесное взаимодействие человека и вычислительной системы в течение всего процесса решения задачи с возможностью оперативного внесения человеком изменений в ходе этого процесса.

Развитие исследований ИИ в данном направлении обуславливалось резким ростом производства средств вычислительной техники с их одновременным удешевлением, что сделало их доступными для более широких кругов исследователей.

Для реализации экспертных систем разрабатывались многочисленные модели и языки представления знаний, специальные языки программирования и символьные ЭВМ.

4. Нейронные сети. Данный этап развития в области ИИ ознаменовался резким увеличением интереса к бионическому направлению с середины 80-х гг. и в первую очередь к искусственным нейронным сетям. **Нейронные сети (НС)** имитируют естественный прототип организации высшей нервной деятельности человека и его интеллектуальных способностей.

Развитие исследований было обусловлено несколькими причинами:

- Сложности представления знаний и процесса обучения в ЭС потребовали более пристального и подробного изучения.
- Ученые, изучающие структуру и функции нервной системы человека, к этому времени достигли значительного прогресса, расширив свои знания об организации восприятия, мышления, памяти и моторики.
- Были проведены исследования в области изучения биологических нейронов.
- Возник коммерческий интерес к интеллектуальным системам.
- Ученые лучше понимали функционирование нейрона и картину его связей, что позволило им создать математические модели для проверки теорий.

Параллельно были созданы модели человеческого обучения. Одной из таких моделей, оказавшейся наиболее плодотворной, была модель Д. Хэбба, который в 1949 г. предложил закон обучения, дополненный позднее множеством методов, который продемонстрировал ученым, как сеть нейронов может обучаться.

Одна из ключевых проблем нейронных сетей заключается в неспособности «объяснить» решение задачи. Внутреннее представление, получаемое в результате обучения, может быть настолько трудным, что проанализировать его достаточно сложно, за исключением самых простых случаев.

Нейронные сети постепенно оттесняют ЭС и занимают значительное место на рынке систем ИИ. Наибольшее распространение НС получили в прогнозирующих и аналитических программах, меньшее – в системах распознавания.

5. Нечеткая логика. Этот этап развития в области ИИ пришелся на начало-середины 80-х гг. и был тесно связан с активным применением математического аппарата **нечеткой логики** для решения практических и теоретических задач.

Непосредственно основы нечеткой логики были заложены в конце 60-х гг. в трудах известного американского математика Лотфи Заде. Второе рождение теория пережила в начале 80-х гг. в США и Японии. Тогда сразу несколько групп исследователей занялись созданием систем, использующих нечеткие управляющие алгоритмы.

Наибольшую роль в развитии данного направления ИИ сыграли доказательство ФАТ-теоремы и комбинация нечеткой логики с нейронными сетями Кохонена.

Новый подход к представлению знаний не только повысил эффективность многих технических решений, но и упростил задание правил в системах, основанных на знаниях. Нечеткие экспертные системы явились прообразом коммерческих интеллектуальных систем.

6. Эволюционный подход. Начало этого этапа развития ИИ связано с ростом интереса к использованию **генетических алгоритмов (ГА)** для эффективного обучения широкого класса нейронных сетей.

История эволюционных вычислений началась в начале 60-х гг. с разработки ряда независимых моделей, основными из которых были генетические алгоритмы и классификационные системы Холланда. В 70-х гг. в рамках теории случайного поиска Л. А. Растригиным был предложен ряд алгоритмов, использующих идеи бионического поведения особей. Развитие этих идей нашло отражение в цикле работ И. Л. Букатовой по эволюционному моделированию. Большой вклад в развитие эволюционного программирования внесли Фогель и Уолш.

Главная трудность в построении вычислительных систем на базе эволюционных подходов заключается в том, что природные системы достаточно хаотичны и не носят четкой направленности. Природные системы не имеют строгих целей или ограничений, или они не очевидны.

Моделирование эволюционных процессов условно можно разбить на две большие категории:

- системы, смоделированные на биологических принципах, для решения прикладных задач, к которым ближе эволюционные алгоритмы;
- системы, биологически более реалистичные, но менее прикладные, к таким системам ближе генетические алгоритмы.

Генетические алгоритмы (ГА) – это адаптивные методы поиска, которые в последнее время часто используются для решения задач функциональной оптимизации. Они основаны на генетических процессах биологических организмов. Основные принципы ГА были сформулированы и описаны Холландом во многих его работах. В отличие от эволюции, происходящей в природе, ГА только моделируют те процессы в популяциях, которые являются существенными для развития.

7. Наиболее перспективные тенденции дальнейшего развития систем искусственного интеллекта. Первая тенденция заключается в выделении и смещении направлений ИИ в различные сферы человеческой деятельности и научные дисциплины. Слово «интеллект» стало крайне популярным и активно эксплуатируется в самых разных аспектах: появляется термин Business Intelligence, а также понятия «интеллектуальная камера», «интеллектуальный дом», «интеллектуальный анализ данных» и т. д.

Особенностью современной формы этой тенденции является разделение области не только по направлениям (методологиям) исследований и разработки, но и по прикладным аспектам (в экономике, в медицине, в военной отрасли, в сфере развлечений и т. д.).

Вторая тенденция развития соответствует задачам создания автономных роботов, интегрирующих множество различных интеллектуальных функций и способных функционировать в реальных условиях.

В качестве третьей тенденции выделяется смежная с робототехникой область создания ботов и интеллектуальных компьютерных программ, называемых **интеллектуальными агентами**. Они выступают в роли виртуальных помощников или советчиков в рабочих программах, в компьютерных играх используются как ИИ-персонажи, в чатах и форумах как модераторы и т. д.

Четвертая тенденция в области ИИ – создание **естественно-языковых (ЕЯ) систем**, которые позволят преодолеть многие сложности взаимодействия человека и компьютера, дадут возможность извлечения знаний из текстов без использования специальных устройств, увеличат производительность и эффективность взаимодействия компьютерных программ с помощью более гибких языков.

Пятой тенденцией развития искусственного интеллекта является внедрение в область ИИ новых достижений нейронауки и генетики, включающих вопросы организации систем обработки информации, мышления и памяти.

Шестая тенденция в области ИИ – внедрение разработок в творческую деятельность людей (например, создание компьютерного голоса, неотличимого от человеческого).

1.2. Классификация систем искусственного интеллекта

Задача представления полной классификации систем искусственного интеллекта может быть достаточно трудоемкой ввиду наличия различных подходов многочисленных исследовательских групп, поэтому приведем классификации разных авторов.

Д. В. Гаскаров предлагает следующие наиболее распространенные типы классификации интеллектуализированных систем:

1) по степени реализации (стадиям существования):

- прототипы, где время разработки составляет 1–3 года, подразделяются на демонстрационные образцы (50–100 правил), исследовательские образцы (200–500 правил) и действующие прототипы (500–1 000 правил),

- промышленные системы, где время разработки составляет 2–4 года, включают 500–1 500 правил,

- коммерческие системы, где время разработки составляет 3–5 лет, включают 1 000–3 000 правил;

2) по степени сложности:

- поверхностные, которые используют знания в виде правил «условие – действие»,

- глубинные, которые используют более сложные модели представления знаний;

3) по степени интеграции:

- традиционные или автономные, использующие методы ИС,

- интегрированные с САПР, СУБД и т. д.;

4) по сложности и типу используемых вычислительных машин:

- простые: поверхностные, традиционные, выполняемые на ПЭВМ, низкой стоимости разработки, время разработки менее года, количество правил 200–1 000,

- сложные: глубинные, интегрированные, выполняющиеся на символьных ЭВМ, высокой и средней стоимости разработки, время разработки более года, количество правил 1 500–10 000;

5) по области экспертизы:

- статические, где исходная информация (данные) не меняется в процессе решения задачи,

- динамические, где исходная информация (данные) меняется;

б) по эволюции развития системы делятся на простые, сложные статические и сложные динамические;

7) по типам решаемых задач интеллектуализированные системы делятся на следующие:

- обработка данных на основе знаний: интерпретация, диагностика, мониторинг,
- формирование данных на основе знаний: прогнозирование, планирование, проектирование,
- обработка и формирование данных и знаний: обучение, управление,
- обработка и формирование знаний на основе метазнаний: системы «оболочки», инструментальные средства для автоматизации разработки.

В. Н. Бондарев и Ф. Г. Аде считают основными направлениями в исследованиях по ИИ, представленные на рис. 1.1.

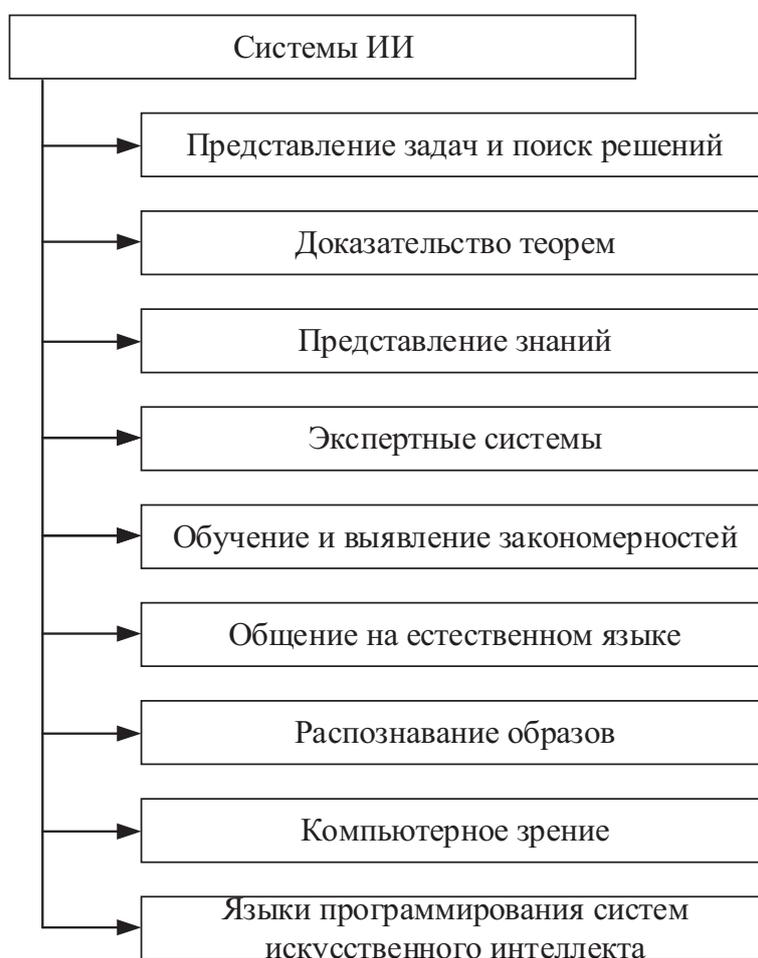


Рис. 1.1. Классификация систем ИИ по Бондареву и Аде

Еще одна распространенная классификация Е. В. Луценко, который предлагает рассматривать следующие классы систем искусственного интеллекта.