

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ

ФГБОУ ВО БРЯНСКИЙ ГАУ

ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

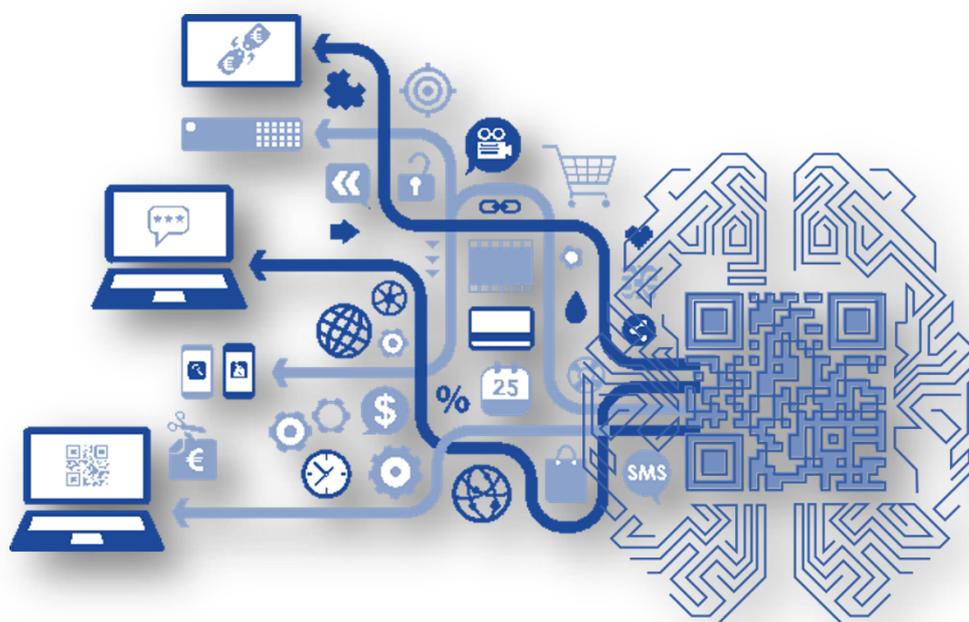
КАФЕДРА ИНФОРМАТИКИ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ

Милютина Е.М.

Интеллектуальные информационные системы

Курс лекций для обучающихся направления подготовки 09.03.03 «Прикладная информатика»

Методическое пособие. Часть 1.



УДК 004.9 (07)
ББК 32.81
М 60

Милютинa, Е. М. Интеллектуальные информационные системы: курс лекций для обучающихся направления подготовки 09.03.03 «Прикладная информатика»: методическое пособие / Е. М. Милютинa. - Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2022. - Ч. 1. – 40 с.

В методическом пособии представлены основные теоретические вопросы по дисциплине «Интеллектуальные информационные системы».

Рекомендовано к изданию учебно-методической комиссией института энергетики и природопользования Брянского ГАУ, протокол № 8 от 28 июня 2022 г.

Рецензент: к.э.н., доцент кафедры информатики, информационных систем и технологий Ульянова Н.Д.

© Брянский ГАУ, 2022
© Е.М. Милютинa, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Лекция 1. Введение в интеллектуальные информационные системы.....	5
Лекция 2. Основные понятия ИИС.....	13
Лекция 3. Экспертные системы: структура и классификация	17
Лекция 4. Модели нейронных сетей	23
Лекция 5. Основы работы нейронных сетей.....	28
Лекция 6. Основы робототехники.....	32
Контрольные вопросы.....	38
Список использованных источников.....	39

ВВЕДЕНИЕ

Одним из направлений в области искусственного интеллекта являются интеллектуальные информационные системы. *Интеллектуальные информационные системы* - это естественный результат развития обычных информационных систем. Они сосредоточили в себе наиболее наукоемкие технологии с высоким уровнем автоматизации не только процессов подготовки информации для принятия решений, но и самих процессов выработки вариантов решений, опирающихся на полученные информационной системой данные.

Современный этап развития информационных систем можно обозначить как этап их интеллектуализации. Разработка информационных систем без интеллектуализации уходит в прошлое. Какими интеллектуальными свойствами должна обладать информационная система, какие структурные части должны быть интеллектуальными — это современные актуальные проблемы.

Цель дисциплины - знакомство с историей развития интеллектуальных информационных систем, изучение архитектуры экспертных систем, изучение проблематики и областей использования искусственного интеллекта в экономических информационных системах, освещении теоретических и организационно-методических вопросов построения интеллектуальных информационных систем.

Курс лекций по дисциплине «Интеллектуальные информационные системы» предназначен для студентов направления подготовки 09.03.03 «Прикладная информатика» очной и заочной формы обучения. Пособие содержит 6 тем лекций по дисциплине, контрольные вопросы.

Лекция 1. Введение в интеллектуальные информационные системы

Вопросы:

1. История исследований в области искусственного интеллекта.
2. Направления развития искусственного интеллекта.
3. Роль интеллектуальных информационных систем в современном мире.

1. История исследований в области искусственного интеллекта.

Интеллектуальные системы и технологии применяются для тиражирования профессионального опыта и решения сложных научных, производственных и экономических задач. Для обработки и моделирования знаний применяются специальные модели и создаются так называемые базы знаний.

Термин **интеллект** (intelligence) происходит от лат. **Intellectus** – ум, рас­судок, разум, мыслительные способности человека. Интеллект – это способность мозга решать задачи путем приобретения, запоминания и целенаправленного преобразования знаний в процессе обучения на опыте и адаптации к разнообразным обстоятельствам.

Искусственный интеллект (artificial intelligence) – это свойство автоматических систем брать на себя отдельные функции интеллекта человека, например, выбирать и принимать решения на основе ранее полученного опыта и рационального анализа внешних воздействий.

Термин искусственный интеллект (artificial intelligence) предложен Джоном МакКарти в 1956 г. на семинаре с аналогичным названием в **Дартмутском колледже** (США). Семинар был посвящен разработке логических, а не вычислительных задач. Вскоре после признания искусственного интеллекта самостоятельной отраслью науки произошло разделение на два основных направления: **нейрокибернетику** и **кибернетику «черного ящика»**. И только в настоящее время эти части объединились в единое целое.

Основную идею нейрокибернетики можно сформулировать следующим образом. Единственный объект, способный мыслить, – это человеческий мозг. Поэтому любое «мыслящее» устройство должно каким-то образом воспроизводить его структуру. Таким образом, нейрокибернетика ориентирована на аппаратное моделирование структур, подобных структуре мозга.

В основу кибернетики «черного ящика» лег принцип, противоположный нейрокибернетике. Не имеет значения, как устроено «мыслящее» устройство. Главное, чтобы на заданные входные воздействия оно реагировало так же, как человеческий мозг. Это направление искусственного интеллекта было ориентировано на поиски алгоритмов решения интеллектуальных задач на существующих моделях компьютеров.

Начиная с 80-х годов на основе исследований в области искусственного интеллекта (ИИ) сформировалась новая область компьютерной индустрии - *разработка интеллектуальных систем.*

Это междисциплинарная наука, использующая научные достижения в таких областях, как биология, физиология, психология, лингвистика, философия, компьютерные науки.

Большой вклад в развитии ИИ как научного направления внесли Д. Маккарти (впервые ввел термин «artificial intelligence»), Н. Винер, У. Питтс, У. Маккаллох, Ф. Розенблат, М. Минский, Г. Саймон, А. Сазерленд, Э. Фейгенбаум, А. Ньюэлл, Н. Хомский, Дж. Шоу, А. Кольмероз, М. П. Уинстон, Т. Виноград, Куиллиан, Н. Нильсон, Л. Заде, Дж. Хинтон, Р. Редди, Д. Ленат, Дж. Андерсон и многие другие.

В СССР, а затем в России ведущие исследователи в области ИИ: Д. А. Поспелов, А. А. Ляпунов, Г. С. Поспелов, М. Л. Цетлин, М. А. Гаврилов, В. Н. Пушкин, М. М. Бонгард, Л. И. Микулич, М. Г. Гаазе-Рапопорт, Л. Т. Кузин, Ю. И. Журавлев, Д. Е. Охоцимский, А. С. Нариньяни, А. И. Половинкин, В. В. Чавчанидзе, О. К. Тихомиров, А. П. Ершов, В. П. Гладун, А. С. Эрлих, Г. С. Цейтин и многие другие. **Следует отметить огромную роль в развитии научной школы Д. А. Поспелова.**

В 1956-1963 годах велись активные работы по поиску моделей и алгоритмов мышления человека, создавались первые компьютерные программы на их основе. В эту работу включались специалисты как гуманитарных наук – философы, лингвисты, психологи, – так и ученые-кибернетики. Были последовательно созданы и проверены различные идеи:

1. Конец 50-х годов - модель лабиринтного поиска.

Данный подход находит ответ на решение задачи, осуществляя поиск оптимального пути в пространстве состояний, двигаясь от входных данных к результату. Этот подход использовался в игровых программах (пятнашки, шашки, шахматы).

2. Начало 60-х годов - эвристическое программирование.

Эвристика - прием или правило, сокращающее путь к решению задачи, не осуществляя полный перебор в пространстве вариантов.

Эвристическое программирование - подход, позволяющий достигнуть приемлемого решения достаточно сложной задачи, используя известные эвристики.

«Цель эвристики - исследовать методы и правила, ведущие к открытиям и изобретениям» (Джордж Полия - венгерский, швейцарский и американский математик).

Это чрезвычайно сложная задача. Чтобы понять, как человек творчески мыслит, американский кибернетик А. Ньюэлл совместно с психологом Г. Саймоном провели следующий эксперимент. Была взята группа студентов, не владеющих математической логикой. Каждый студент пытался самостоятельно доказать математическую теорему. Все рассуждения, мысли, идеи, как это сделать, записывались. Все неудачные цепочки рассуждений, не приводящие к доказательству, также фиксировались. Далее исследователями были проанализированы все эти записи и выявлены эвристики. Затем эти эвристики были положены в основу компьютерной программы, получившей название «Логик-

теоретик» (1957 г., А. Ньюэлл, Г. Саймон, Дж. Шоу). При помощи этой программы были получены доказательства 38 теорем. Эту программу можно считать началом эвристического программирования.

3. 1963-1970 годы - методы математической логики.

В 1965 году Джон Алан **Робинсон** сделал фундаментальное открытие - правило резолюций, позволяющее автоматически доказывать любую верную теорему (вывести из аксиом) за конечное время.

Почти одновременно с алгоритмом резолюций Робинсона и независимо от него выдающимся отечественным математиком С. Ю. **Масловым** был предложен так называемый обратный метод поиска вывода, позже названный его именем. Обратный метод Маслова решал ту же задачу несколько иным способом.

В 1972 году появился язык логического программирования **ПРОЛОГ**.

Язык логического программирования дает много интересных возможностей для решения интеллектуальных задач, т. е. требующих логического вывода для получения решения.

Вычисление в логическом программировании состоит в поиске логического вывода. Этим термином именуют дерево, корнем которого является доказываемое утверждение, а остальные вершины содержат утверждения, связанные между собой логическим следованием. При этом терминальные вершины (листья) дерева должны быть исходными данными - утверждениями, сформулированными в условии задачи.

Построение дерева логического вывода состоит в поиске взаимосвязанных цепочек утверждений от листьев к вершине среди множества всех возможных путей от вершины к листьям. Это множество называют пространством поиска задачи.

Поиск может быть прямой - от данных к искомому и обратный - от искомого к данным. В первом подходе из условий задачи вычисляют то, что можно - новые утверждения, увеличивая тем самым количество известного о задаче.

Во втором подходе строятся гипотезы (точнее, дерево гипотез) - строится последовательность, которая должна привести к известным данным.

Язык ПРОЛОГ основан на обратном выводе.

Для того чтобы решать достаточно объемные интеллектуальные задачи, недостаточно обычного языка ПРОЛОГ, поскольку в нем отсутствует ряд свойств, без которых сложно построить практически полезную программу. Большинство современных систем языка ПРОЛОГ имеют компилятор и другие средства, которые обеспечивают возможность создания прикладных программ, применимых без интерпретатора языка ПРОЛОГ, совместно с программами на других языках программирования или автономно.

4. В 1973 году в Великобритании был подготовлен доклад по заказу Британского совета научных исследований. Он представлял собой обзор состояния дел в области ИИ (нейроинформатика). Вывод: с точки зрения практической значимости оценка исследований в этой области была отрицательной. Как результат - финансирование исследований в этой области было заморожено, многие ученые были вынуждены уйти в другие направления, активная работа была приостановлена.

5. *Середина 1970-х годов - прорыв в США в развитии интеллектуальных систем, основанных на знаниях.* Вместо поиска универсального алгоритма мышления пришла идея практического использования знаний экспертов в конкретной узкой области и создания на их основе компьютерной интеллектуальной системы. В США появились первые коммерческие *экспертные системы*. Появился подход к решению задач ИИ - *представление знаний*. Созданы первые экспертные системы для медицины и химии - MYCIN и DENDRAL.

И лишь в начале 1980-х годов в Европе объявлена программа развития новых технологий, в которую включена проблематика ИИ.

6. *В конце 1970-х в Японии объявлено о проекте по созданию машин V поколения.* Под крышу нового научного института были собраны талантливые молодые специалисты ведущих компьютерных компаний Японии. Была дана полная свобода действий. В результате Японии достигла больших успехов в прорывных направлениях ИИ.

7. *С середины 1980-х годов и по сегодняшний день наблюдается активное развитие всех направлений ИИ.* Увеличивается финансирование, создаются коммерческие интеллектуальные системы, ежегодно проводятся конференции по ИИ, издаются сотни научных журналов, книг по ИИ.

8. *России также активно велись работы в области ИИ.*

Назовем основные вехи в развитии ИИ в России.

В 1954 году начал свою работу семинар «Автоматы и мышление» под руководством академика А. А. **Ляпунова** (1911-1973), одного из основателей российской кибернетики. В этом семинаре принимали участие физиологи, лингвисты, психологи, математики. Принято считать, что именно в это время родился искусственный интеллект в России. Как и за рубежом, выделились два основных направления - нейрокибернетика и кибернетика «черного ящика».

В 1954-1964 годах создаются отдельные программы и проводятся исследования в области поиска решения логических задач. В Ленинграде (ЛОМИ - Ленинградское отделение математического института им. В. А. Стеклова) создается программа АЛПЕВ ЛОМИ, автоматически доказывающая теоремы. Она основана на оригинальном обратном выводе Маслова, аналогичном методу резолюций Робинсона. Среди наиболее значимых результатов, полученных отечественными учеными в 60-е годы, следует отметить алгоритм «**Кора**» М. М. **Бонгарда**, моделирующий деятельность человеческого мозга при распознавании образов. Большой вклад в становление российской школы ИИ внесли выдающиеся ученые М. Л. Цетлин, В. Н. Пушкин, М. А. Гаврилов, чьи ученики и явились пионерами этой науки в России (например, знаменитая Гавриловская школа).

В 1965-1980 годах происходит рождение нового направления - ситуационного направления (соответствует представлению знаний в западной терминологии). Основателем этой научной школы стал профессор Д. А. **Поспелов**. Были разработаны специальные модели представления ситуаций - **представления знаний**.

Отношение к новым наукам в советской России всегда было насторожен-

ное, и наука с таким «вызывающим» названием тоже не избежала этой участи: была встречена в Академии наук в штыки. К счастью, даже среди членов Академии наук СССР нашлись люди, не испугавшиеся столь необычного словосочетания в качестве названия научного направления. Двое из них сыграли огромную роль в борьбе за признание ИИ в нашей стране. Это были академики А. И. Берг и Г. С. Поспелов.

Только в 1974 году при Комитете по системному анализу при президиуме АН СССР был создан Научный совет по проблеме «Искусственный интеллект», его возглавил Г. С. Поспелов, его заместителями были избраны Д. А. Поспелов и Л. И. Микулич. В состав Совета входили на разных этапах М. Г. Гаазе-Рапопорт, Ю. И. Журавлев, Л. Т. Кузин, А. С. Нариньяни, Д. Е. Охоцимский, А. И. Половинкин, О. К. Тихомиров, В. В. Чавчанидзе.

По инициативе Совета было организовано пять комплексных научных проектов, которые были возглавлены ведущими специалистами в данной области. Проекты объединяли исследования в различных коллективах страны: «Диалог» (работы по пониманию естественного языка, руководители - А. П. Ершов, А. С. Нариньяни), «Ситуация» (ситуационное управление, Д. А. Поспелов), «Банк» (банки данных, Л. Т. Кузин), «Конструктор» (поисковое конструирование, А. И. Половинкин), «Интеллект робота» (Д. Е. Охоцимский).

В **1980-1990** годах проводятся активные исследования в области представления знаний, разрабатываются языки представления знаний, экспертные системы (более 300). В Московском университете создается язык **РЕФАЛ**.

В **1988** году создается **АИИ - Ассоциация искусственного интеллекта**. Ее членами являются более 300 исследователей. Президентом Ассоциации единогласно избирается Д. А. **Поспелов**, выдающийся ученый, чей вклад в развитие ИИ в России трудно переоценить. Крупнейшие центры - в Москве, Петербурге, Переславле-Залесском, Новосибирске.

Нынешнее возрождение интереса к ИИ – уже **третье** по счету и отличается от предыдущих как амплитудой, так и охватом, поскольку сейчас для решения задач ИИ имеются как необходимые технические средства, повсеместно распространившиеся беспроводные сети, Интернет, так и далеко продвинувшиеся работы в этой области. Начало третьей волне положила знаменитая победа в матче из шести партий американской программы «Дип Блю» (2,5:3,5) над чемпионом мира по шахматам среди людей Гарри Каспаровым.

В программировании в начале третьей волны появилось так называемое **генетическое** программирование. Оно позволяет, имитируя процесс мутаций, работающий в биологических системах, решать определенные классы задач, например при поиске оптимальных решений.

Для современного этапа характерно очень быстрое развитие технологий искусственных нейронных сетей (ИНС) – сетей, имитирующих работу биологических нейронов живых существ.

Развиваются на базе новых технологий также и системы, появившиеся во время первых волн развития ИИ, – системы машинного перевода, достигшие вполне приемлемого качества, ЭС и др. В 2006 г. Появилась система **Google**

Переводчик, основанная на Больших данных. Корпус из триллиона слов, выпущенный Google в 2006 г., состоял из разбросанных фрагментов интернет-контента. Он стал «обучающим набором», по которому вычислялась вероятность того, что именно последует за тем или иным английским словом. В систему можно добавлять новые слова, которые появляются в естественном языке, и удалять устаревшие.

2. Направления развития искусственного интеллекта

1. **Представление знаний и разработка систем, основанных на знаниях.** Это основное направление искусственного интеллекта. Оно связано с разработкой моделей представления знаний, созданием баз знаний, образующих ядро экспертных систем (ЭС). В последнее время включает в себя модели и методы извлечения и структурирования знаний и сливается с инженерией знаний.

2. **Игры и творчество.** Традиционно искусственный интеллект включает в себя игровые интеллектуальные задачи – шахматы, шашки, го.

В основе лежит один из ранних подходов – лабиринтная модель плюс эвристики. Сейчас это скорее коммерческое направление, так как в научном плане эти идеи считаются тупиковыми.

3. **Разработка естественно-языковых интерфейсов и машинный перевод.** В 1950-х гг. одной из популярных тем исследований искусственного интеллекта являлась область машинного перевода. Первая программа в этой области – переводчик с английского языка на русский.

4. **Распознавание образов.** Традиционное направление искусственного интеллекта, берущее начало у самых его истоков. Каждому объекту ставится в соответствие матрица признаков, по которой происходит его распознавание. Это направление близко к машинному обучению, тесно связано с нейрокибернетикой.

5. **Новые архитектуры компьютеров.** Это направление занимается разработкой новых аппаратных решений и архитектур, направленных на обработку символьных и логических данных.

6. **Интеллектуальные роботы.**

7. **Специальное программное обеспечение.** В рамках этого направления разрабатываются специальные языки для решения задач не вычислительного плана. Помимо этого, создаются пакеты прикладных программ, ориентированные на промышленную разработку интеллектуальных систем, или программные инструментарии искусственного интеллекта.

8. **Обучение и самообучение.** Активно развивающаяся область искусственного интеллекта. Включает модели, методы и алгоритмы, ориентированные на автоматическое накопление знаний на основе анализа и обобщения данных.

Каждая из перечисленных ветвей ИИ в свою очередь делится на десятки других направлений, особенно робототехника (несколько десятков направлений). Как видим, из-за обширности ИИ ученому невозможно охватить все его ветви, требуется специализация.

3. Роль интеллектуальных информационных систем в современном мире.

Сегодня технологии искусственного интеллекта стали обычным явлением. Примерами областей, где использование интеллектуального подхода уже приносит ощутимые результаты, являются.

1. Машинное обучение.

Рост числа самообучающихся программ отчасти объясняется более дешевым и надежным аппаратным оборудованием, которое обеспечило возможность построения систем, основанных на реальных данных. Растущая способность собирать, хранить и обрабатывать значительные объемы информации помогла в создании алгоритмов, которые действуют, опираясь на различные статистические методы.

Пример. Когда пользователи разговаривают с голосовым помощником – например, Siri, – они запускают двухэтапный процесс. Во-первых, Siri активирует систему ИИ для распознавания речи, которая переводит нечеткий звук в однозначный текст. Этот шаг невероятно сложен, потому что люди, естественно, говорят с разной высотой звука и с различными акцентами, которые варьируются в зависимости от места жительства и пола. Для того чтобы ИИ эффективно распознавал речь всех пользователей, система использует технику машинного обучения под названием «глубокое обучение».

2. Еще одно популярное применение ИИ – личные рекомендации.

В качестве примера рассмотрим четыре, казалось бы, разные компании: Netflix – потоковый видеосервис; Amazon – платформа для онлайн-покупок; Facebook – социальная сеть; Google – поисковая система. Хотя эти компании предоставляют различные услуги, их системы искусственного интеллекта выполняют очень похожую задачу: они доводят до нас информацию.

С помощью машинного обучения эти компании понимают, какую информацию показывать своим пользователям. Сегодня рекомендательные системы широко используют ИИ, чтобы дать индивидуальные рекомендации по книгам или фильмам или предоставить персонализированные результаты поиска. Эти системы также используются в контекстной рекламе и онлайн-сервисах знакомств. По сути, приложения на основе ИИ стремятся дать осмысленные рекомендации даже в условиях неопределенности.

3. Транспорт. Сегодня автономные транспортные средства – одна из наиболее быстро развивающихся сфер применения ИИ.

Автономные автомобили работают в таких отраслях как фермерство, управление запасами и строительство. Uber, Tesla и Mercedes-Benz экспериментируют с применением технологий автономного вождения в городских автобусах и полуприцепах.

4. Медицина. Влияние ИИ уже ощущается в фармацевтике, пациентоориентированных клиниках, хирургии и медицинской диагностике.

С помощью больших данных, а также сложных алгоритмов ИИ крупные фармацевтические компании анализируют библиотеки препаратов, чтобы найти возможность создания новых перспективных лекарств. Суперкомпьютер IBM Watson после своей знаменательной победы в шоу Jeopardy! сотруд-

ничают с такими фармацевтическими гигантами, как Merck, Novartis и Pfizer, разрабатывая новые лекарства, планируя и анализируя клинические испытания, а также прогнозируя безопасность и эффективность лекарств.

5. Важная область применения ИИ – робототехника – также внесла свой вклад в развитие медицины: речь о роботах-хирургах.

6. Юриспруденция

Здесь технология эффективно применяется для решения рутинных задач. На ее основе создаются автоматизированные информационно-поисковые системы со сложным алгоритмом поиска конкретных судебных решений.

Расшифровка записей судебных заседаний теперь стала быстрее и точнее с появлением новой технологии.

Еще одно направление развития – это прогнозирование вероятности рецидива лицом, однажды уже совершившим преступление.

7. Безопасность

В условиях больших предприятий ИИ может использоваться в отделе безопасности. Обученная технология способна выявлять внештатные чрезвычайные ситуации по изменениям в поведении или движениях человека.

8. Нефтедобыча

Анализ данных геологоразведки искусственным разумом происходит точнее и быстрее, чем группой квалифицированных экспертов, а, следовательно, более эффективно. Технология также позволяет снизить затраты при бурении нефтеносных скважин за счет своевременной и четкой корректировки направления буров.

9. Производство

В таких отраслях как пищевое, химическое, энергетическое производство, металлургия и нефтепереработка с помощью ИИ решаются задачи оптимизации производства, точного выявления брака, отслеживания всех стадий технологического процесса и внесения своевременных корректировок, а также определения характеристик конечного продукта. На выходе получаем более эффективное управление процессом и повышение качества производимого товара.

10. Индустрия развлечений.

- Компьютерные игры: возможность достижения качественно новых уровней посредством использования интеллектуальных агентов для различных участвующих сторон.

- Интерактивные приложения (телевидение, театр, кинематограф): агенты могут создавать иллюзию реальности происходящего действия, позволяя пользователю принимать в нем участие.

Лекция 2. Основные понятия ИИС

Вопросы:

1. Интеллектуальная информационная система и ее основные свойства.
2. Классификация ИИС.
3. Примеры современных ИИС (самостоятельно).

1. Интеллектуальная информационная система и ее основные свойства.

Искусственный интеллект (ИИ) - это одно из направлений информатики, целью которого является разработка аппаратно-программных средств, позволяющих пользователю-непрограммисту ставить и решать свои, традиционно считающиеся интеллектуальными, задачи, общаясь с компьютером на ограниченном подмножестве естественного языка.

ИИ занимается изучением разумного поведения (у людей, животных и машин) и пытается найти способы моделирования подобного поведения в любом типе искусственно созданного механизма. Несмотря на то, что термину больше полувека, единого определения его не существует. Разные исследователи по-разному определяют эту науку, в зависимости от своего взгляда на нее, и работают над созданием систем, которые:

- думают подобно людям;
- думают рационально;
- действуют подобно людям;
- действуют рационально.

Интеллектуальные информационные системы (ИИС) – естественный результат развития обычных информационных систем, сосредоточили в себе наиболее наукоемкие технологии с высоким уровнем автоматизации не только процессов подготовки информации для принятия решений, но и самих процессов выработки вариантов решений, опирающихся на полученные информационной системой данные.

Интеллектуальная информационная система (ИИС) - автоматизированная информационная система, основанная на знаниях, или комплекс программных, лингвистических и логико-математических средств для реализации основной задачи - осуществления поддержки деятельности человека и поиска информации в режиме продвинутого диалога на естественном языке.

ИИС способны диагностировать состояние предприятия, оказывать помощь в антикризисном управлении, обеспечивать выбор оптимальных решений по стратегии развития предприятия и его инвестиционной деятельности. Благодаря наличию средств естественно-языкового интерфейса появляется возможность непосредственного применения ИИС бизнес пользователем, не владеющим языками программирования, в качестве средств поддержки процессов анализа, оценки и принятия экономических решений. ИИС применяются для экономического анализа деятельности предприятия, стратегического планирова-

ния, инвестиционного анализа, оценки рисков и формирования портфеля ценных бумаг, финансового анализа, маркетинга и т.д.

В этом случае потребовался значительно больший объем информации как собственно о предприятии, так и о его окружении, т.е. природных, политических, экономических и других факторах, конкурентах, поставщиках и т.д., а также значительно более сложные вычисления, необходимость учета слабо формализуемых факторов, высокий уровень интерфейса. Поставленные задачи реализованы в системах поддержки принятия решений.

Первоначально ИИС использовали знания нескольких экспертов в каждой из областей инвестиций. В настоящее время базы знаний частично формируются посредством машинного обучения, используя методы индукции, генетические алгоритмы и некоторые другие методы извлечения знаний. Менеджер, используя такую схему, теоретически может принимать решения более эффективно и с меньшей стоимостью, чем это смог бы сделать любой индивидуальный эксперт в данной области. Наиболее очевидным преимуществом интеграции некоторых форм искусственного интеллекта в процессе принятия решений по сравнению с постоянным консультированием с группой экспертов обычно является более низкая стоимость и большее соответствие результатов задаче.

В отличие от обычных аналитических и статистических моделей, ИИС позволяют получить решение трудно формализуемых слабо структурированных задач.

ИИС характерны следующие свойства:

1. Развитые коммуникативные способности: возможность обработки произвольных запросов в диалоге на языке максимально приближенном к естественному (система естественно-языкового интерфейса — СЕЯИ);
2. Направленность на решение слабоструктурированных, плохо формализуемых задач (реализация мягких моделей);
3. Способность работать с неопределенными и динамичными данными;
4. Способность к развитию системы и извлечению знаний из накопленного опыта конкретных ситуаций;
5. Возможность получения и использования информации, которая явно не хранится, а выводится из имеющихся в базе данных;
6. Система имеет не только модель предметной области, но и модель самой себя, что позволяет ей определять границы своей компетентности;
7. Способность к выводам по аналогии;
8. Способность объяснять свои действия, неудачи пользователя, предупреждать пользователя о некоторых ситуациях, приводящих к нарушению целостности данных.

ИИС содержит:

- Базу данных,
- Базу знаний,
- Интерпретатор правил или машину вывода,
- Компоненту объяснения и естественно языкового интерфейса, обеспечивающих связный диалог пользователя и системы с попеременным переходом инициативы.

Отличительные **особенности** ИИС по сравнению с обычными ИС:

1. Интерфейс с пользователем на естественном языке с использованием понятий, характерных для предметной области пользователя;
2. Способность объяснять свои действия и подсказывать пользователю, как правильно ввести экономические показатели и как выбрать подходящие к его задаче параметры экономической модели;
3. Представление модели экономического объекта и его окружения в виде базы знаний и средств дедуктивных и правдоподобных выводов в сочетании с возможностью работы с неполной или неточной информацией;
4. Способность автоматического обнаружения закономерностей в ранее накопленных фактах и включения их в базу знаний.

2. Классификация интеллектуальных информационных систем

Интеллектуальные информационные системы можно классифицировать по разным основаниям.

1. Предметная область применения:
 - *ИИС менеджмента,*
 - *ИИС инвестиций*
 - *ИИИ промышленности*
 - *ИИС в военной сфере и др.*
2. Степень автономности от корпоративной ИС или базы данных:
 - *автономные в виде самостоятельных программных продуктов с собственной базой данных;*
 - *сопрягаемые с корпоративной;*
 - *полностью интегрированные.*
3. По способу и оперативности взаимодействия с объектом:
 - *статические ИИС,*
 - *динамические ИИС:*
 - *ИИС реального времени;*
 - *советующие ИИС, в контур которых вовлечен пользователь.*
4. По адаптивности:
 - *обучаемые ИИС, т.е. системы, параметры и структура которых, могут изменяться в процессе обучения или самообучения (нейронные сети, генетические алгоритмы и др.);*
 - *ИИС, параметры которых изменяются администратором базы знаний (экспертные системы и др.).*
5. По типам систем:
 - *системы с коммутативными способностями (с интеллектуальным интерфейсом);*
 - *экспертные системы (системы для решения сложных задач);*

- *самообучающиеся системы (системы, способные к самообучению);*

- *адаптивные системы (адаптивные информационные системы).*

Коммуникативные способности ИИС характеризуют способ взаимодействия (интерфейса) конечного пользователя с системой, в частности возможность формулирования произвольного запроса в диалоге с ИИС на языке, максимально приближенном к естественному.

Сложные плохо формализуемые задачи - это задачи, которые требуют построения оригинального алгоритма решения в зависимости от конкретной ситуации, для которой могут быть характерны неопределенность и динамичность исходных данных и знаний.

Способность к самообучению - это возможность автоматического извлечения знаний для решения задач из накопленного опыта конкретных ситуаций.

Адаптивность - способность к развитию системы в соответствии с объективными изменениями модели проблемной области.

Лекция 3. Экспертные системы: структура и классификация

Вопросы:

1. Понятие и структура экспертной системы (ЭС).
2. Классификация ЭС
3. Технология разработки экспертных систем

1 Вопрос. Понятие и структура экспертной системы (ЭС).

Современные экспертные системы широко используются для тиражирования опыта и знаний ведущих специалистов практически во всех сферах народного хозяйства. Традиционно знания существуют в двух видах - коллективный опыт и личный опыт.

Если большая часть знаний в предметной области представлена в виде коллективного опыта (например, высшая математика), эта предметная область не нуждается в экспертных системах (рис. 1, а).

Если в предметной области большая часть знаний является личным опытом специалистов высокого уровня (экспертов), если эти знания по каким-либо причинам слабо структурированы, то для такой предметной области разработка экспертной системы целесообразна (рис. 1, б).

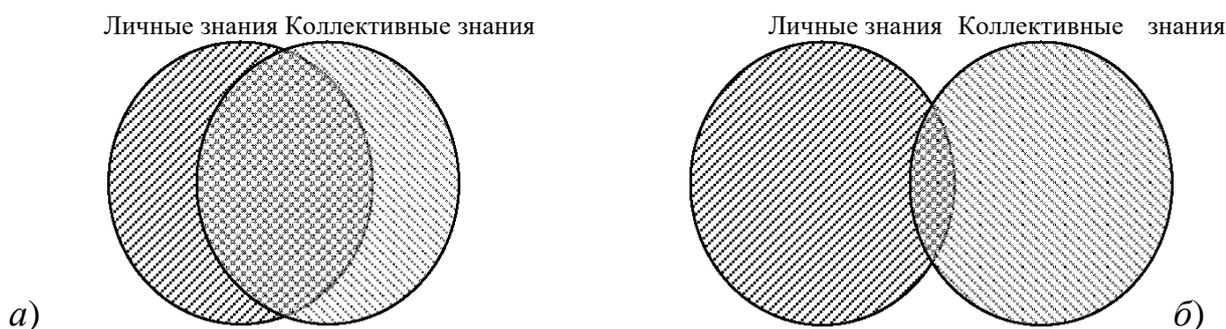


Рис. 1. Необходимость создания экспертной системы

а - предметная область, не пригодная для создания экспертной системы; б - предметная область, пригодная для создания экспертной системы

Экспертные системы (ЭС) - это сложные программные комплексы, аккумулирующие знания специалистов в конкретных предметных областях и тиражирующие этот эмпирический опыт для консультаций менее квалифицированных пользователей.

Обобщённая структура экспертной системы представлена на рис. 2.

Пользователь - специалист предметной области, для которого предназначена система. Обычно его квалификация недостаточно высока, и поэтому он нуждается в помощи и поддержке своей деятельности со стороны ЭС.

Инженер по знаниям - специалист по искусственному интеллекту, выступающий в роли промежуточного буфера между экспертом и базой знаний. Синонимы: *когнитолог, инженер-интерпретатор, аналитик.*

Интерфейс пользователя - комплекс программ, реализующих диалог пользователя с ЭС как на стадии ввода информации, так и получения результатов.

База знаний (БЗ) - ядро ЭС, совокупность знаний предметной области, записанная на машинный носитель в форме, понятной эксперту и пользователю (обычно на некотором языке, приближённом к естественному). Параллельно такому «человеческому» представлению существует БЗ во внутреннем «машинном» представлении.

Решатель - программа, моделирующая ход рассуждений эксперта на основании знаний, имеющихся в БЗ. Синонимы: *дедуктивная машина*, *блок логического вывода*.

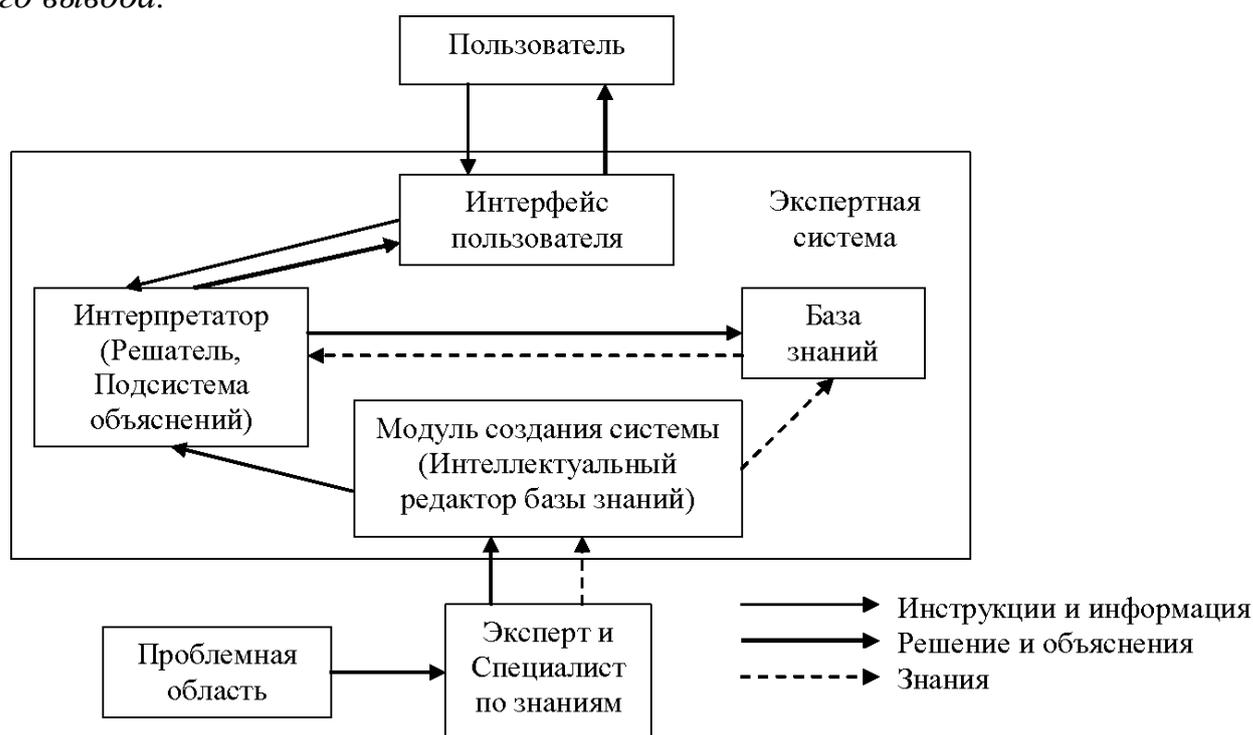


Рис. 2. Структура экспертной системы

Подсистема объяснений - программа, позволяющая пользователю получить ответы на вопросы: «Как была получена та или иная рекомендация?» и «Почему система приняла такое решение?». Ответ на вопрос «как» - это трассировка всего процесса получения решения с указанием использованных фрагментов БЗ, т. е. всех шагов цепи умозаключений. Ответ на вопрос «почему» - ссылка на умозаключение, непосредственно предшествовавшее полученному решению, т.е. отход на один шаг назад.

Интеллектуальный редактор БЗ - программа, представляющая инженеру по знаниям возможность создавать БЗ в диалоговом режиме. Включает в себя систему вложенных меню, шаблонов языка представления знаний, подсказок («help» - режим) и других сервисных средств, облегчающих работу с базой.

В коллектив разработчиков ЭС входят как минимум четыре человека:

1. эксперт;

2. инженер по знаниям;
3. программист;
4. пользователь.

Возглавляет коллектив инженер по знаниям, это ключевая фигура при разработке систем, основанных на знаниях.

2 вопрос Классификация экспертных систем

Класс «экспертные системы» сегодня объединяет несколько тысяч различных программных комплексов, которые можно классифицировать по различным критериям.

Классификация по решаемой задаче.

-*Интерпретация данных.* Это одна из традиционных задач для экспертных систем. Под интерпретацией понимается определение смысла данных, результаты которого должны быть согласованными и корректными.

-*Диагностика.* Под диагностикой понимается обнаружение неисправности в некоторой системе. Неисправность - это отклонение от нормы.

-*Мониторинг.* Основная задача мониторинга - непрерывная интерпретация данных в реальном масштабе времени и сигнализация о выходе тех или иных параметров за допустимые пределы.

-*Проектирование.* Проектирование состоит в подготовке спецификаций на создание «объектов» с заранее определёнными свойствами. Под спецификацией понимается весь набор необходимых документов - чертёж, пояснительная записка и т.д.

-*Прогнозирование.* Прогнозирующие системы логически выводят вероятные следствия из заданных ситуаций. В прогнозирующей системе обычно используется параметрическая динамическая модель, в которой значения параметров «подгоняются» под заданную ситуацию.

-*Планирование.* Под планированием понимается нахождение планов действий, относящихся к объектам, способным выполнять некоторые функции.

-*Обучение.* Системы обучения диагностируют ошибки при изучении какой-либо дисциплины с помощью ЭВМ и подсказывают правильные решения.

Классификация по связи с реальным временем.

-*Статические ЭС* разрабатываются в предметных областях, в которых база знаний и интерпретируемые данные не меняются во времени. Они стабильны (диагностика неисправностей в автомобиле).

-*Квазидинамические ЭС* интерпретируют ситуацию, которая меняется с некоторым фиксированным интервалом времени (*квази – псевдо**).

-*Динамические ЭС* работают в сопряжении с датчиками объектов в режиме реального времени с непрерывной интерпретацией поступаемых данных.

Классификация по степени интеграции с другими программами.

-*Автономные ЭС* работают непосредственно в режиме консультаций с пользователем для специфически «экспертных» задач, для решения которых не требуется привлекать традиционные методы обработки данных (расчёты, моделирование и т.д.).

-Гибридные ЭС представляют программный комплекс, агрегирующий стандартные пакеты прикладных программ (например, математическую статистику, линейное программирование или системы управления базами данных) и средства манипулирования знаниями. Это может быть интеллектуальная надстройка над ППП или интегрированная среда для решения сложной задачи с элементами экспертных знаний.

Несмотря на внешнюю привлекательность гибридного подхода, следует отметить, что разработка таких систем являет собой задачу, на порядок более сложную, чем разработка автономной ЭС. Стыковка не просто разных пакетов, а разных методологий (что происходит в гибридных системах) порождает целый комплекс теоретических и практических трудностей.

3 вопрос Технология разработки экспертных систем

Процесс разработки промышленной экспертной системы, опираясь на традиционные технологии, можно разделить на шесть более или менее независимых этапов, практически не зависящих от предметной области.

ЭТАП 1: Выбор подходящей проблемы

Этот этап включает деятельность, предшествующую решению начать разрабатывать конкретную ЭС. Он включает:

- определение проблемной области и задачи;
- нахождение эксперта, желающего сотрудничать при решении проблемы, и назначение коллектива разработчиков;
- определение предварительного подхода к решению проблемы;
- анализ расходов и прибыли от разработки;
- подготовку подробного плана разработки.

ЭТАП 2: Разработка прототипной системы

Прототипная система является усечённой версией экспертной системы, спроектированной для проверки правильности кодирования фактов, связей и стратегий рассуждения эксперта. Она также даёт возможность инженеру по знаниям привлечь эксперта к активному участию в разработке экспертной системы и, следовательно, к принятию им обязательства приложить все усилия для создания системы в полном объёме.

ЭТАП 3: Развитие прототипа до промышленной ЭС

При неудовлетворительном функционировании прототипа эксперт и инженер по знаниям имеют возможность оценить, что именно будет включено в разработку окончательного варианта системы.

Если первоначально выбранные объекты или свойства оказываются неподходящими, их необходимо изменить. Можно сделать оценку общего числа эвристических правил, необходимых для создания окончательного варианта экспертной системы. Иногда при разработке промышленной системы выделяют дополнительные этапы для перехода: *демонстрационный прототип - исследовательский прототип - действующий прототип - промышленная система.*

Однако чаще реализуется плавный переход от демонстрационного прототипа к промышленной системе, при этом, если программный инструментарий

выбран удачно, необязательна перепись другими программными средствами (табл. 1).

Основное на третьем этапе заключается в добавлении большого числа дополнительных эвристик. Эти эвристики обычно увеличивают глубину системы, обеспечивая большее число правил для трудноуловимых аспектов отдельных случаев. В то же время эксперт и инженер по знаниям могут расширить охват системы, включая правила, управляющие дополнительными подзадачами или дополнительными аспектами экспертной задачи (метазнания).

1. Переход от прототипа к промышленной экспертной системе

Демонстрационный прототип ЭС	Система решает часть задач, демонстрируя жизнеспособность подхода (несколько десятков правил или понятий)
Исследовательский прототип ЭС	Система решает большинство задач, но не устойчива в работе и не полностью проверена (несколько сотен правил или понятий)
Действующий прототип ЭС	Система надёжно решает все задачи на реальных примерах, но для сложной задачи требует много времени и памяти
Промышленная система	Система обеспечивает высокое качество решений при минимизации требуемого времени и памяти; переписывается с использованием более эффективных средств представления знаний
Коммерческая система	Промышленная система, пригодная к продаже, т.е. хорошо документирована и снабжена сервисом

После установления основной структуры ЭС инженер по знаниям приступает к разработке и адаптации интерфейсов, с помощью которых система будет общаться с пользователем и экспертом. Необходимо обратить особое внимание на языковые возможности интерфейсов, их простоту и удобство для управления работой ЭС. Система должна обеспечивать пользователю возможность лёгким и естественным образом спрашивать непонятное, приостанавливать работу и т. д. В частности, могут оказаться полезными графические представления.

На этом этапе разработки большинство экспертов узнают достаточно о вводе правил и могут сами вводить в систему новые правила. Таким образом начинается процесс, во время которого инженер по знаниям передаёт право собственности и контроля за системой эксперту для уточнения, детальной разработки и обслуживания.

ЭТАП 4: Оценка системы

После завершения этапа разработки промышленной экспертной системы необходимо провести её тестирование в отношении критериев эффективности. К тестированию широко привлекаются другие эксперты с целью апробирования работоспособности системы на различных примерах. Экспертные системы оцениваются главным образом для того, чтобы проверить точность работы про-

граммы и её полезность. Оценку можно проводить, исходя из различных критериев, которые сгруппируем следующим образом:

1. критерии пользователей (понятность и «прозрачность» работы системы, удобство интерфейсов и др.);

2. критерии приглашённых экспертов (оценка советов-решений, предлагаемых системой, сравнение её с собственными решениями, оценка подсистемы объяснений и др.);

3. критерии коллектива разработчиков (эффективность реализации, производительность, время отклика, дизайн, широта охвата предметной области, непротиворечивость БЗ, количество тупиковых ситуаций, когда система не может принять решение, анализ чувствительности программы к незначительным изменениям в представлении знаний, весовых коэффициентах, применяемых в механизмах логического вывода, данных и т.п.).

ЭТАП 5: *Стыковка системы*

На этом этапе осуществляется стыковка экспертной системы с другими программными средствами в среде, в которой она будет работать, и обучение людей, которых она будет обслуживать. Иногда это означает внесение существенных изменений. Такое изменение требует непрямого вмешательства инженера по знаниям или какого-либо другого специалиста, который сможет модифицировать систему. Под стыковкой подразумевается также разработка связей между экспертной системой и средой, в которой она действует.

Когда экспертная система уже готова, инженер по знаниям должен убедиться в том, что эксперты, пользователи и персонал знают, как эксплуатировать и обслуживать её. После передачи им своего опыта в области информационной технологии инженер по знаниям может полностью предоставить её в распоряжение пользователей.

Стыковка включает обеспечение связи ЭС с существующими базами данных и другими системами на предприятии, а также улучшение системных факторов, зависящих от времени, чтобы можно было обеспечить её более эффективную работу и улучшить характеристики её технических средств, если система работает в необычной среде (например, связь с измерительными устройствами).

ЭТАП 6: *Поддержка системы*

При перекодировании системы на язык, подобный Си, повышается её быстродействие и увеличивается переносимость, однако гибкость при этом уменьшается. Это приемлемо лишь в том случае, если система сохраняет все знания проблемной области, и это знание не будет изменяться в ближайшем будущем. Однако, если экспертная система создана именно из-за того, что проблемная область изменяется, то необходимо поддерживать систему в инструментальной среде разработки.

Лекция 4. Модели нейронных сетей

Вопросы:

1. Модель искусственного нейрона.
2. Модель перцептрона.
3. Многослойные сети.
4. Рекуррентные сети.
5. Модель Хопфилда.
6. Самоорганизующиеся сети Т. Кохонена.

1. Модель искусственного нейрона.

Искусственная нейронная сеть (ИНС) - это модель биологического мозга, точнее нервной ткани.

Естественная нервная клетка (*нейрон*) состоит из тела (*сомы*), содержащего ядро, и отростков - *дендритов*, по которым в нейрон поступают входные сигналы. Один из отростков, ветвящийся на конце, служит для передачи выходных сигналов данного нейрона другим нервным клеткам. Он называется *аксоном*. Соединение аксона с дендритом другого нейрона называется *синапсом*. Нейрон возбуждается и передаёт сигнал через аксон, если число пришедших по дендритам возбуждающих сигналов больше, чем число тормозящих.

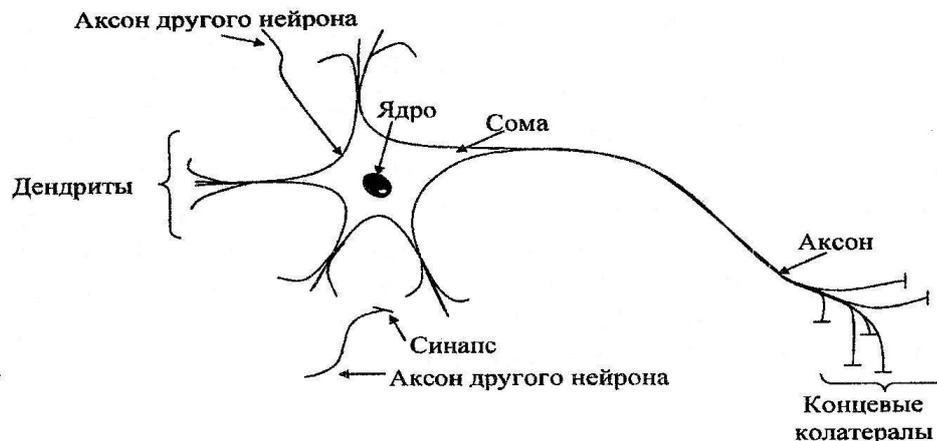


Рис. 1. Строение биологического нейрона

Сеть ИНС представляет собой совокупность простых вычислительных элементов - искусственных нейронов, каждый из которых обладает определённым количеством входов (дендритов) и единственным выходом (аксоном), разветвления которого подходят к синапсам, связывающим его с другими нейронами. На входы нейрона поступает информация извне или от других нейронов. Каждый нейрон характеризуется функцией преобразования входных сигналов в выходной (функция возбуждения нейрона). Нейроны в сети могут иметь одинаковые или разные функции возбуждения. Сигналы, поступающие на вход нейрона, неравнозначны в том смысле, что информация из одного источника может быть более важной, чем из другого. Приоритеты входов задаются с помощью вектора весовых коэффициентов, моделирующих синаптическую силу биологических нейронов.

Модель искусственного нейрона (рис. 2.) представляет собой дискретно-непрерывный преобразователь информации. Информация, поступающая на вход нейрона, суммируется с учётом весовых коэффициентов w_i , сигналов x_i , $i = 1, \dots, n$, где n - размерность пространства входных сигналов. Потенциал нейрона определяется по формуле

$$P = \sum_{i=1}^n w_i x_i .$$

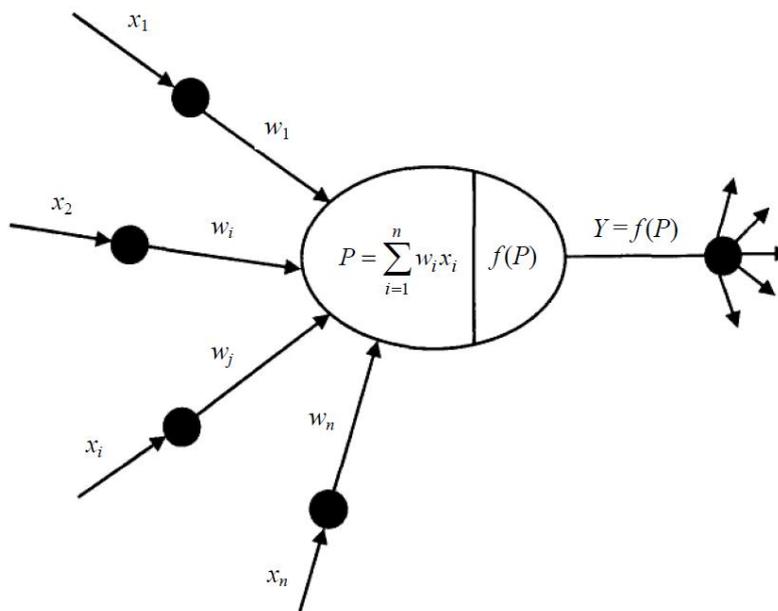


Рис. 2. Модель искусственного нейрона

Взвешенная сумма поступивших сигналов (потенциал) преобразуется с помощью передаточной функции $f(P)$ в выходной сигнал нейрона Y который передается другим нейронам сети, т.е. $Y = f(P)$. Вид передаточной (активационной) функции является важнейшей характеристикой нейрона. В общем случае эта функция может быть ступенчатой (пороговой), линейной или нелинейной.

2. Модель персептрона.

Модели нейронных сетей

Теоретические основы нейроматематики были заложены в начале 1940-х гг. Попытки построить машины, способные к разумному поведению, были в значительной мере вдохновлены идеями «отца кибернетики» Норберта Винера, который писал в своей знаменитой работе «Кибернетика или управление и связь в животном и машине», что все машины, претендующие на «разумность», должны обладать способностью преследовать определённые цели и приспосабливаться, т. е. обучаться. Идеи Винера были применены Дж. **Маккалохом** и У. **Питтсом**, которые разработали собственную теорию деятельности головного мозга, основанную на предположении, что функционирование компьютера и мозга сходно. К главным результатам их работы относятся следующие:

- модель нейрона в виде простейшего процессорного элемента, который

вычисляет значение переходной функции от скалярного произведения вектора входных сигналов и вектора весовых коэффициентов;

– конструкция нейронной сети для выполнения логических и арифметических операций;

– предположение о том, что нейронная сеть способна обучаться, распознавать образы, обобщать полученную информацию.

Аппаратная реализация ИНС на основе пороговых элементов, оперирующих двоичными числами, оказалась чрезвычайно трудной из-за высокой стоимости электронных элементов в то время. Самые совершенные системы тогда содержали лишь сотни нейронов, в то время как нервная система муравья содержит более 20 тыс.

Серьёзное развитие нейрокибернетика получила в трудах американского нейрофизиолога **Фрэнка Розенблата**, который предложил свою модель нейронной сети в **1958** г. и продемонстрировал созданное на её основе электронное устройство, названное **перцептроном**. Розенблат Ф. ввёл возможность модификации межнейронных связей, что сделало ИНС обучаемой. Первые перцептроны были способны распознавать некоторые буквы латинского алфавита. Впоследствии модель перцептрона была значительно усовершенствована, а наиболее удачным её применением стали задачи автоматической классификации.

Алгоритм обучения **перцептрона** включает следующие шаги.

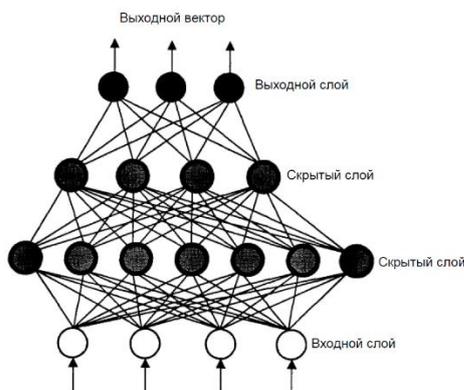
- Системе предъявляется эталонный образ.
- Если результат распознавания совпадает с заданным, весовые коэффициенты связей не изменяются.
- Если ИНС неправильно распознаёт результат, то весовым коэффициентам даётся приращение в сторону повышения качества распознавания.

Теоретический анализ перцептрона, проведённый М. Минским и С. Пейпертом, показал его ограниченные возможности, поскольку не всегда существует такая комбинация весовых коэффициентов, при которой заданное множество образов будет распознаваться правильно. Причина этого недостатка состоит в том, что однослойный перцептрон реализует линейную поверхность, разделяющую пространство эталонов, вследствие чего происходит неверное распознавание образов в случаях, когда задача не является линейно сепарабельной. Для решения таких проблем предложены модели многослойных перцептронов, способные строить ломаную границу между распознаваемыми образами. Несмотря на то, что перцептрон Розенблата имел невысокие возможности обучения, разработка этой концепции привлекла внимание исследователей к проблеме ИНС и привела к созданию более «разумных» интеллектуальных систем.

3. Многослойные сети.

В многослойных сетях устанавливаются связи только между нейронами соседних слоёв, как показано на рис. 3. Каждый элемент может быть соединён модифицируемой связью с любым нейроном соседних слоёв, но между элементами одного слоя связей нет. Каждый нейрон может посылать выходной сигнал только в вышележащий слой и принимать входные сигналы только с нижерас-

положенного слоя. Входные сигналы подаются на нижний слой, а выходной вектор сигналов определяется путём последовательного вычисления уровней активности элементов каждого слоя (снизу вверх) с использованием уже известных значений активности элементов предшествующих слоёв. При распознавании образов входной вектор соответствует набору признаков, а выходной - распознаваемым образам. Скрытый слой (один или несколько) предназначен для отражения специфики знаний. В таких сетях обычно используются передающие сигмоидальные функции.

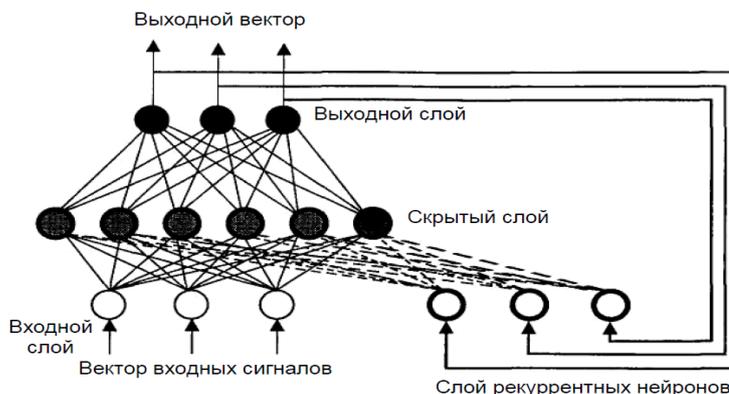


Двухслойный перцептрон может выполнять операцию логического И над полупространствами, образованными гиперплоскостями первого слоя весов. Это позволяет формировать любые выпуклые области в пространстве входных сигналов. С помощью трёхслойного перцептрона, используя логическое ИЛИ для комбинирования выпуклых областей, можно получить области решений произвольной формы и сложности, в том числе невыпуклые и несвязные.

Рекуррентные сети.

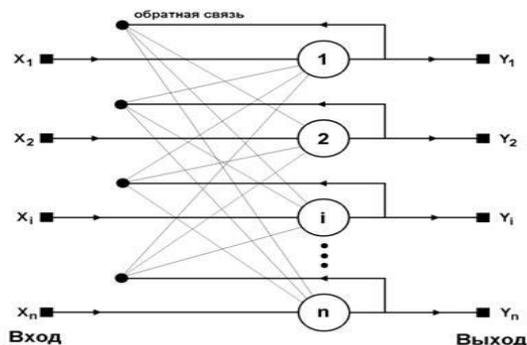
Они содержат обратные связи, благодаря которым становится возможным получение отличающихся значений выходов при одних и тех же входных данных. Наличие рекуррентных нейронов позволяет ИНС накапливать знания в процессе обучения.

Рекуррентные сети (рис. 4) являются развитием модели Хопфилда на основе применения новых алгоритмов обучения, исключающих попадание системы в локальные минимумы на поверхности энергетических состояний. Важной особенностью рекуррентных сетей является их способность предсказывать существование новых классов объектов.



Модель Хопфилда.

Работы американского биофизика Дж. Хопфилда положили начало современному математическому моделированию нейронных вычислений. В результате была сформулирована математическая модель ассоциативной памяти на нейронной сети с использованием правила Д. Хебба для модификации весовых коэффициентов. Это правило основано на простом предположении: если два нейрона возбуждаются вместе, то сила связи между ними возрастает; если они возбуждаются порознь, то сила связи между ними уменьшается.



Сеть Хопфилда строится с учётом следующих условий:

- все элементы связаны со всеми;
- $W_{ji} = W_{ij}$ - прямые и обратные связи симметричны;
- $W_{ii} = 0$ - диагональные элементы матрицы связей равны нулю, т. е.

исключаются обратные связи с выхода на вход одного нейрона.

Развитием модели Хопфилда является машина Больцмана, предложенная и исследованная Дж. Е. Хинтоном и Р. Земелом для решения комбинаторных оптимизационных задач и задач искусственного интеллекта.

- Самоорганизующиеся сети Т. Кохонена.

Идея сетей с самоорганизацией на основе конкуренции между нейронами базируется на применении специальных алгоритмов самообучения ИНС. Сети Кохонена обычно содержат один (выходной) слой обрабатывающих элементов с пороговой передаточной функцией. Число нейронов в выходном слое соответствует количеству распознаваемых классов. Настройка параметров межнейронных соединений проводится автоматически на основе меры близости вектора весовых коэффициентов настраиваемых связей к вектору входных сигналов в евклидовом пространстве. В конкурентной борьбе побеждает нейрон, имеющий значения весов, наиболее близкие к нормализованному вектору входных сигналов. Кроме того, в самоорганизующихся сетях возможна классификация входных образцов (паттернов). На практике идея Кохонена обычно используется в комбинации с другими нейросетевыми парадигмами.

Самоорганизующиеся карты Кохонена (Kohonen Self-Organizing Maps) представляют собой нейронные сети, обучаемые без учителя. Они используются для классификации, организации и визуального представления больших объемов данных.

Важной особенностью нейросетей Кохонена является их способность отображать многомерные пространства признаков на плоскость, представив данные в виде двумерной карты, при помощи которой значительно упрощается кластеризация и корреляционный анализ данных.

Лекция 5. Основы работы нейронных сетей

Вопросы:

1. Построение нейронной сети.
2. Обучение нейронной сети.
3. Способы реализации нейронных систем.
4. Практическое применение нейронных сетей.

1. Построение нейронной сети.

При построении модели ИНС необходимо точно определить задачи, которые будут решаться с её помощью. В настоящее время нейросетевые технологии успешно применяются для прогнозирования, распознавания и обобщения.

Этапы построения ИНС.

1. Тщательный отбор входных данных, влияющих на ожидаемый результат. Из исходной информации необходимо исключить все сведения, не относящиеся к исследуемой проблеме. При этом следует располагать достаточным количеством примеров для обучения ИНС.

Для факторов, которые включаются в обучающую выборку, целесообразно предварительно оценить их значимость, проведя корреляционный и регрессионный анализ, и проанализировать диапазоны их возможных изменений.

2. Преобразование исходных данных с учётом характера и типа проблемы, отображаемой нейросетевой моделью, и выбираются способы представления информации.

3. Проектирование архитектуры ИНС (число слоёв и число нейронов в каждом слое).

*Структура ИНС формируется до начала обучения, поэтому успешное решение этой проблемы во многом определяется опытом и искусством аналитика, проводящего исследования.

4. Обучение сети, которое может проводиться на основе конструктивного или деструктивного подхода.

В соответствии с первым подходом обучение ИНС начинается на сети небольшого размера, который постепенно увеличивается до достижения требуемой точности по результатам тестирования.

Деструктивный подход базируется на принципе «прореживания дерева», в соответствии с которым из сети с заведомо избыточным объёмом постепенно удаляют «лишние» нейроны и примыкающие к ним связи. Этот подход даёт возможность исследовать влияние удалённых связей на точность сети. Процесс обучения нейронной сети представляет собой уточнение значений весовых коэффициентов и для отдельных узлов на основе постепенного увеличения объёма входной и выходной информации.

5. Тестирование полученной модели ИНС на независимой выборке примеров.

2. Обучение нейронной сети

Обучение нейронной сети заключается в изменении внутренних параметров модели таким образом, чтобы на выходе ИНС генерировался вектор значений, совпадающий с результатами примеров обучающей выборки. Изменение параметров нейросетевой модели может выполняться разными способами в соответствии с различными алгоритмами обучения.

Выделяют следующие алгоритмы обучения:

- обучение с учителем (контролируемое);
- обучение без учителя (неконтролируемое);
- смешанное обучение.

При обучении с учителем все примеры обучающей выборки содержат правильные ответы (выходы), соответствующие исходным данным (входам). В процессе контролируемого обучения синаптические веса настраиваются так, чтобы сеть порождала ответы, наиболее близкие к правильным.

Обучение без учителя используется, когда не для всех примеров обучающей выборки известны правильные ответы. В этом случае предпринимаются попытки определения внутренней структуры поступающих в сеть данных с целью распределить образцы по категориям (модели Кохонена).

При смешанном обучении часть весов определяется посредством обучения с учителем, а другая часть получается с помощью алгоритмов самообучения.

Обучение по примерам характеризуется тремя основными свойствами: ёмкостью, сложностью образцов и вычислительной сложностью. Ёмкость соответствует количеству образцов, которые может запомнить сеть. Сложность образцов определяет способности нейронной сети к обучению.

*при обучении ИНС могут возникать состояния «перетренировки», в которых сеть хорошо функционирует на примерах обучающей выборки, но не справляется с новыми примерами, утрачивая способность обучаться.

Правила обучения ИНС.

1. Правило коррекции по ошибке. Процесс обучения ИНС состоит в коррекции исходных значений весовых коэффициентов межнейронных связей, которые обычно задаются случайным образом. При вводе входных данных запоминаемого примера появляется реакция, которая передаётся от одного слоя нейронов к другому, достигая последнего слоя, где вычисляется результат. Разность между известным значением результата и реакцией сети соответствует величине ошибки, которая может использоваться для корректировки весов межнейронных связей. Корректировка заключается в небольшом (обычно менее 1%) увеличении синаптического веса тех связей, которые усиливают правильные реакции, и уменьшении тех, которые способствуют ошибочным. Это простейшее правило контролируемого обучения (дельта-правило) используется в однослойных сетях с одним уровнем настраиваемых связей между множеством входов и множеством выходов.

2. Правило Хебба. Оно базируется на следующем нейрофизиологическом наблюдении: если нейроны по обе стороны синапса активизируются одновре-

менно и регулярно, то сила их синаптической связи возрастает. При этом изменение веса каждой межнейронной связи зависит только от активности нейронов, образующих синапс. Это существенно упрощает реализацию алгоритмов обучения.

3. Обучение методом соревнования. В данном случае выходные нейроны соревнуются (конкурируют) между собой за активизацию. В процессе соревновательного обучения осуществляется модификация весов связей выигравшего нейрона и нейронов, расположенных рядом («победитель забирает всё»).

4. Метод обратного распространения ошибки. Он является обобщением процедуры обучения простого перцептрона с использованием дельта-правила на многослойные сети. В данном методе необходимо располагать обучающей выборкой, содержащей «правильные ответы», т.е. выборка должна включать множество пар образцов входных и выходных данных, между которыми нужно установить соответствие.

Перед началом обучения межнейронным связям присваиваются небольшие случайные значения. Каждый шаг обучающей процедуры состоит из двух фаз. Во время *первой* фазы входные элементы сети устанавливаются в заданное состояние. Входные сигналы распространяются по сети, порождая некоторый выходной вектор. Для работы алгоритма требуется, чтобы характеристика вход-выход нейроподобных элементов была неубывающей и имела ограниченную производную. Обычно для этого используют сигмоидальные функции.

Полученный выходной вектор сравнивается с требуемым (правильным). Если они совпадают, то весовые коэффициенты связей не изменяются. В противном случае вычисляется разница между фактическими и требуемыми выходными значениями, которая передаётся последовательно от выходного слоя к входному. Обучение продолжается до тех пор, пока ошибка не уменьшится до заданной величины.

Дополнительно про данный метод можно почитать в статье!

<https://microtechnics.ru/obuchenie-nejronnoj-seti-algoritm-obratnogo-rasprostraneniya-oshibok/>

3. Способы реализации нейронных систем.

Способы реализации нейронных сетей:

1. Аппаратный.
2. Программный.

Вариантами **аппаратной** реализации являются нейрокомпьютеры, нейроплаты и нейроБИС (большие интегральные схемы).

Одна из самых простых и дешёвых нейроБИС - модель MD 1220 фирмы Micro Devices, которая реализует сеть с 8 нейронами и 120 синапсами. Среди перспективных разработок можно выделить модели фирмы Adaptive Solutions (США) и Hitachi (Япония). Разрабатываемая фирмой Adaptive Solutions нейроБИС является одной из самых быстродействующих.

Большинство современных нейрокомпьютеров представляют собой персональный компьютер или рабочую станцию, в состав которых входит дополнительная нейроплата. К их числу относятся, например, компьютеры серии

FMR фирмы Fujitsu. Возможностей таких систем вполне хватает для решения большого числа прикладных задач методами нейроматематики, а также для разработки новых алгоритмов.

Наибольший интерес представляют специализированные нейрокомпьютеры, в которых реализованы принципы архитектуры нейросетей. Типичными представителями таких систем являются компьютеры семейства Mark фирмы TRW (первая реализация перцептрона, разработанная Ф. Розенблатом, называлась Mark I).

Другим примером является нейрокомпьютер **NETSIM**, созданный фирмой Texas Instruments на базе разработок Кембриджского университета. Компьютер NETSIM используется для моделирования сетей Хопфилда- Кохонена.

https://pikabu.ru/story/12_samyikh_byistryikh_superkompyuterov_v_mire_v_2020_godu_7808807

В тех случаях, когда разработка или внедрение аппаратных реализаций нейронных сетей обходятся слишком дорого, применяют более дешёвые **программные** реализации. Одним из самых распространённых программных продуктов является семейство программ **Brain Maker** фирмы **CSS** (California Scientific Software).

Первоначально разработанный фирмой Loral Space Systems по заказу NASA и Johnson's Space Center пакет Brain Maker был вскоре адаптирован для коммерческих приложений и сегодня используется несколькими тысячами финансовых и промышленных компаний, а также оборонными ведомствами США для решения задач прогнозирования, оптимизации и моделирования ситуаций. Назначение пакета Brain Maker - решение задач, для которых пока не найдены формальные методы и алгоритмы, а входные данные неполны, зашумлены и противоречивы. К таким задачам относятся прогнозирование курсов валют и акций на биржах, моделирование кризисных ситуаций, распознавание образов и многие другие.

Brain Maker решает поставленную задачу, используя математический аппарат теории нейронных сетей (более конкретно - сеть Хопфилда с обучением по методу обратного распространения ошибки). В оперативной памяти строится модель многослойной нейронной сети, которая обладает свойством обучаться на множестве примеров, оптимизируя свою внутреннюю структуру. При правильном выборе структуры сети после её обучения на достаточно большом количестве примеров можно добиться высокой достоверности результатов (97% и выше).

В настоящее время на рынке программных средств имеется большое количество разнообразных пакетов для конструирования нейронных сетей и решения различных задач. Пакет Brain Maker можно назвать ветераном рынка. Кроме представителей этого семейства, к хорошо известным и распространённым программным средствам можно отнести **Neuro Shell** (Ward System's Group), **Neural Works** (Neural Ware Inc.) и **Neuro Solutions** (Neuro Dimension Inc.). Объектно-ориентированные программные среды семейства Neuro Solutions предназначены для моделирования ИНС произвольной структуры.

4. Практическое применение нейронных сетей.

Данный вопрос рассмотрите самостоятельно. Выпишите самые крупные области применения нейронных сетей. В качестве примера можно использовать данную статью, просмотрите видео из нее. <https://hightech.fm/2018/11/08/neuro-video>

Лекция 6. Основы робототехники

Вопросы:

1. Задачи и история робототехники.
2. Основные термины и определения
3. Классификация роботов.

1. Задачи и история робототехники.

Современная робототехника возникла на основе синтеза механики и кибернетики и дала толчок новому направлению их развития. Для механики это оказалось связано с многозвенными механизмами типа манипуляторов, а для кибернетики – с интеллектуальным управлением, которое требуется для роботов последнего поколения с искусственным интеллектом.

Таким образом задача робототехники – это развитие и синтез механики и кибернетики с целью создание и применение роботов и основанных на их использовании робототехнических систем различного назначения.

Роль роботов в таких системах и комплексах может быть различной – от основной, когда роботы осуществляют главные функции, до вспомогательной, когда роботы обслуживают основное или вспомогательное оборудование, выполняющее эти функции. Системы и комплексы, автоматизированные с помощью роботов, принято называть *роботизированными*. Роботизированные системы и комплексы, в которых роботы выполняют основные функции, называют *робототехническими*.

Происхождение слова «робот» имеет славянские корни. Впервые ещё в 1920 г. его ввел известный чешский писатель **К. Чапек** в своей фантастической пьесе «R. U. R.» («Россумовские универсальные роботы»), где фигурировали так названы механические рабочие, предназначенные для замены людей на тяжелых физических работах. Чешское слово "robota" означает тяжелый подневольный труд.

У американского писателя А. Азимова в цикле рассказов "Я робот" был тот же подход в взгляде о том, что собой должно представлять устройство называемое "роботом". Ошибочность их видения заключалась в том, что и Чапек и Азимов представляли робота как копию человека, которому присуще выполнение лишних функций не нужных для осуществления конкретных задач.

Термин *«промышленный робот»* появился в **70-е годы**. Первые роботы были выпущены фирмой AMF в 1962 г. в США, затем в: 1966 г. в СССР (ЭНИКМАШ); 1967 г. в Великобритании; 1968 г. в Швеции и Японии; 1971 г. в ФРГ; 1972 г. в Франции; 1973 г. в Италии.

Эти роботы представляли собой устройства, совершающие некоторые действия по заданной программе и не имели конкретного предназначения и лишь в **1971** г. появились первые «современные» роботы промышленного назначения – **промышленные роботы (ПР)**, а автоматизированные на их базе технологические комплексы – **роботизированными технологическими комплексами (РТК)**.

ПР составляют 90% всего парка роботов в мире. В последние годы в робототехнике происходят качественные изменения, основанные на использовании достижений новой науки – мехатроники. Мехатроника – это область науки и техники, основанная на синергетическом объединении узлов точной механики с электронными, электротехническими и компьютерными компонентами, обеспечивающая проектирование и производство качественно новых модулей, систем и машин с интеллектуальным управлением их функциональными движениями.

2. Основные понятия в области робототехники

РОБОТОТЕХНИКА - область науки и техники, связанная с созданием, исследованием и применением роботов. Робототехника охватывает вопросы проектирования, программного обеспечения, оживления роботов, управления ими, а также роботизации промышленности и непромышленной сферы.

РОБОТ - многофункциональная перепрограммируемая машина, для полностью или частичного автоматического выполнения двигательных функций аналогично живым организмам, а также некоторых интеллектуальных функций человека. Под "перепрограммируемостью" понимают возможность замены, коррекции или генерации управляющей программы автоматически или при помощи человека. К роботам не относятся, в частности, автооператоры, а также копирующие манипуляторы и другие машины, управляемые только человеком - оператором.

ПРОМЫШЛЕННЫЙ РОБОТ - робот, предназначенный для выполнения технологических и (или) вспомогательных операций в промышленности. Различают также в зависимости от специфики применения роботы непромышленного назначения, например, "пожарный робот", "сельскохозяйственный робот", "военный робот" и т.д.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ РОБОТ - промышленный робот для выполнения технологических переходов, операций, процессов, оснащенный рабочим или измерительным инструментом.

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ РОБОТ - промышленный робот для обслуживания технологического оборудования, перемещения объектов, оснащенный захватным устройством.

СПЕЦИАЛЬНЫЙ РОБОТ - робот для выполнения одной операции одного вида.

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ РОБОТ - робот для выполнения различных операций одного вида.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ РОБОТ - робот для выполнения различных операций различных видов.

ЖЕСТКОПРОГРАММИРУЕМЫЙ РОБОТ - робот, управляющая программа которого, введенная на этапе программирования, не может быть изменена в процессе работы в зависимости от функционирования робота и (или) контролируемых параметров рабочей среды.

АДАПТИВНЫЙ РОБОТ - робот, управляющая программа которого может автоматически меняться в процессе работы в зависимости от функционирования робота и (или) контролируемых параметров рабочей среды. Не следует смешивать понятия "адаптивный робот" и "очувствленный робот". Последний, обладая датчиками внешней информации, может не иметь средств автоматического изменения управляющей программы в процессе функционирования.

ИНТЕЛЛЕКТНЫЙ РОБОТ - робот, управляющая программа которого может полностью или частично формироваться автоматически в соответствии с поставленным заданием и в зависимости от состояния рабочей среды.

МАНИПУЛЯЦИОННЫЙ РОБОТ - робот для выполнения двигательных функций, аналогичных функциям руки человека.

СТАЦИОНАРНЫЙ МАНИПУЛЯЦИОННЫЙ РОБОТ - манипуляционный робот, закрепленный на неподвижном основании.

МОБИЛЬНЫЙ РОБОТ - робот, способный перемещаться в рабочей среде в соответствии с управляющей программой. "Мобильный робот" может быть снабжен манипулятором. К мобильным роботам не относятся передвижные манипуляционные роботы, которые могут быть оперативно перемещены в рабочей среде вручную или при помощи транспортных средств с ручным управлением.

РОБОТИЗИРОВАННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС - совокупность одного или нескольких промышленных роботов, другого технологического оборудования и оснастки для выполнения единого технологического процесса.

РОБОТОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА – комплекс роботов и соответствующего оборудования. Такие системы разделяются на манипуляционные, мобильные и информационные.

Главными отличительными чертами роботов от традиционных средств автоматизации являются гибкость, адаптивность, интеллектуальность и универсальность. Под гибкостью роботов понимают способность их управляющей системы быстро перестраиваться на выполнение новых операций путем перепрограммирования движений роботов в режиме обучения их управляющей системы. Адаптивность роботов характеризуется способностью быстро реагировать на внешние и внутренние возмущения и автоматически приспосабливаться к изменяющимся условиям функционирования. Эту способность определяют, прежде всего, средствами их «очувствления», т.е. количеством и характеристиками датчиков внутренней и внешней информации, а также алгоритмическим и программным обеспечением самонастройки (адаптации) управляющей системы. Интеллектуальность роботов заключается в их способностях решать задачи интеллектуального характера: анализ сложных изображений и сцен, распознавание образов, планирование движений и операций, диагностика состояний и т.

п. Универсальность (многофункциональность) роботов позволяет решать не одну, а целый класс производственных задач.

3. Классификация роботов.

В зависимости от назначения и решаемого класса задач выделяют следующие классификации роботов.

1. **Производственные роботы** – это роботы, предназначенные для выполнения тяжелой, монотонной, вредной и опасной для здоровья людей физической работы.

Виды производственных роботов представлены в таблице:

Виды	Применение	Примеры
Промышленные	автоматизация всех видов ручных и транспортных операций в различных отраслях промышленности	манипуляторы, роботы для покраски, сборки деталей, сварки, резки металла
Сельскохозяйственные	автоматизация трудоемких и монотонных процессов в сельском хозяйстве	полевые роботы, роботы для подстрижки овец, роботы-косилки
Транспортные	автоматизация управления различными транспортными средствами.	самоходные тележки, шагающие аппараты, автопилоты и авторулевые.
Строительные	автоматизация ручных операций как вспомогательных, так и основных, органически присущих строительному делу.	роботы-демонтажники, роботы-штукатуры
Бытовые	автоматизация операций, связанных с бытом человека и с богатой разнообразием сферой его обслуживания.	роботы-помощники, роботы-няни, роботы-пылесосы, роботы-носильщики, роботы-игрушки, социальные роботы

2. **Исследовательские роботы.** Они служат для поиска, сбора, переработки и передачи информации об исследуемых объектах. К числу таких объектов относятся космическое пространство, поверхности планет, подводное пространство, подземные полости (шахты, пещеры и т. п.), Арктика и Антарктика, пустыни, зараженная местность и другие, труднодоступные для человека области. Примерами таких роботов являются беспилотные летательные аппараты, роботы-саперы, роботы-санитары, различные многоцелевые боевые машины и т.д.

Каждое последующее поколение роботов обладает большими возможностями и совершенством, но не исключает предыдущего; они взаимно допол-

няют друг друга и находят применение соответственно своим функциональным возможностям и условиям экономической целесообразности.

К настоящему времени сформировалось четыре **поколения** роботов.

1. Роботы первого поколения (с программным управлением), применяются для: обслуживания станков, прессов, печей, сварочных установок и машин; выполнения основных технологических процессов (резки, сборки, сварки); погрузочно-разгрузочных и складских работ.

2. Роботы второго поколения отличаются от роботов первого наличием чувствительных устройств (осязание, телевизионное зрение), имеют более сложное управляющее устройство.

3. Роботы третьего поколения (интегральные роботы) в отличие от роботов второго поколения обрабатывают информацию, получаемую от органов чувств. Эти роботы применяются для работ, требующих распознавания образов (работа по чертежу), а также протекающих в сложных и изменяющихся условиях.

4. Роботы четвертого поколения – роботы с нейронными системами управления. Принципы нейронного управления в значительной степени аналогичны принципам работы мозга и нервной системы человека. Такие системы не программируют заранее. Они обучаются и самоорганизуются на решение различных двигательных, информационных и интеллектуальных задач.

Классификация роботов может так же производиться по другим признакам, необходимым для разработки типажа.

По характеру выполнения технологических операций роботы делятся на:

- технологические роботы – выполняют основные технологические операции. Они непосредственно участвуют в техпроцессе в качестве оборудования (гибка, сварка, окраска, сборка и т.д.);
- вспомогательные (подъемно-транспортные) выполняют функции переноса объекта в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Их применяют для обслуживания основного технологического оборудования;
- универсальные роботы – выполняющие разнообразные технологические операции – основные и вспомогательные.

По степени специализации:

- специальные – только для выполнения одной технологической операции или обслуживания конкретного технологического оборудования;
- специализированные – предназначены для выполнения технологических операций одного вида;
- многоцелевые – для выполнения различных основных и вспомогательных операций и они относятся к числу универсальных.

По системе основных координатных перемещений:

- Прямоугольная: плоская; пространственная
- Полярная: плоская; цилиндрическая; сферическая

По числу степеней подвижности:

с одно, двумя и n- степенями подвижности.

По грузоподъемности:

- сверхлегкие – до 1 кг.;
- легкие – до 10 кг.;
- средние – до 200 кг.;
- тяжелые – до 1000 кг.;
- сверхтяжелые – свыше 1000 кг.

Существует множество разновидностей, а также множество классификаций роботов. При проектировании робота, необходимо четко осознавать для каких целей он будет служить, какие действия будет выполнять.

Контрольные вопросы

1. Общие сведения об искусственном интеллекте (ИИ) и интеллектуальных информационных системах (ИИС).
2. Особенности, направления развития искусственного интеллекта.
3. Основные типы интеллектуальных информационных систем и их характеристика.
4. Классификация интеллектуальных информационных систем. Системы с интеллектуальным интерфейсом.
5. Классификация интеллектуальных информационных систем. Экспертные системы.
6. Классификация интеллектуальных информационных систем. Самообучающиеся системы.
7. Понятие и структура экспертных систем (ЭС).
8. Классификация экспертных систем
9. Технология разработки экспертных систем.
10. Модель искусственного нейрона
11. Модель персептрона
12. Многослойные нейронные сети.
13. Рекуррентные нейронные сети.
14. Модель Хопфилда.
15. Самоорганизующиеся сети Т. Кохонена.
16. Этапы построения нейронных сетей (НС).
17. Обучение нейронных сетей.
18. Способы реализации нейронных сетей.
19. Практическое применение нейросетевых технологий.

Список использованных источников

1. Яцало Б.И. Нечеткие интеллектуальные системы: конспект лекций: учебное пособие. М.: Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2020. 132 с. Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. URL: <https://www.iprbookshop.ru/116409.html>.
2. Мурзин В.М. Казакова Л.В. Интеллектуальные технологические схемы: учебное пособие. Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2019. 128 с. Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. URL: <https://www.iprbookshop.ru/100534.html>.
3. Павлова А.И. Искусственные нейронные сети: учебное пособие. М.: Ай Пи Ар Медиа, 2021. 190 с. Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. URL: <https://www.iprbookshop.ru/108228.html>.
4. Барский А.Б. Введение в нейронные сети: учебное пособие. 3-е изд. М., Саратов: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), Ай Пи Ар Медиа, 2020. 357 с. Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. URL: <https://www.iprbookshop.ru/89426.html>.
5. Барский А.Б. Логические нейронные сети: учебное пособие. 3-е изд. М.: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), Ай Пи Ар Медиа, 2020. 491 с. Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. URL: <https://www.iprbookshop.ru/97547.html>.
6. Интеллектуальные информационные системы и технологии: учебное пособие / Ю.Ю. Громов, О.Г. Иванова, В.В. Алексеев и др. Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2013. 244 с. Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. URL: <https://www.iprbookshop.ru/63850.html>.
7. Учебно-методическое пособие по дисциплине Интеллектуальные информационные системы и технологии / сост. Е.Н. Турута. М.: Московский технический университет связи и информатики, 2014. 24 с. Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. URL: <https://www.iprbookshop.ru/61479.html>.

Учебное издание

Милютина Елена Михайловна

Интеллектуальные информационные системы

курс лекций для обучающихся направления подготовки

09.03.03 «Прикладная информатика». Методическое пособие. Часть 1.

Редактор Осипова Е.Н.

Подписано к печати 12.07.2022. Формат 60x84 ¹/₁₆.

Бумага печатная. Усл. п.л. 2,32. Тираж 25 экз. Изд. № 7325.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
2433365, Брянская обл., Выгоничский р-он., с. Кокино, Брянский ГАУ