

УДК 004.891.3

DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma.63657>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ С ПОМОЩЬЮ РЕАЛИЗАЦИИ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

© Б.Н. Котив¹, И.А. Иванов², И.А. Будько³, И.У. Тросько⁴¹ Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия² Общество с ограниченной ответственностью «ФармПатент», Санкт-Петербург, Россия³ Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия⁴ Акционерное общество «РТ ЛАБС», Санкт-Петербург, Россия

Резюме. Развитие современных биомедицинских технологий позволяет обеспечить врача колоссальным объемом информации о состоянии организма пациента. Однако возможность использования этих данных для медицинской диагностики в полной мере пока видится только в качестве отдаленной перспективы. Причина этого — ограниченные возможности мозга человека в оценке и интерпретации таких массивов данных. Решение проблемы видится в широком внедрении в медицину искусственного интеллекта и экспертных систем. В настоящее время в качестве способа реализации искусственного интеллекта практически всеми авторами рассматриваются различные варианты построения искусственных нейронных сетей. Этот подход, восходящий к фундаментальной теореме А.Н. Колмогорова, работам В.И. Арнольда и Хехт-Нильсена, демонстрирует прекрасные возможности в ряде задач распознавания образов, сводящихся к выявлению скрытых деталей на фоне шумов входной информации. Значительно реже упоминается такой метод моделирования формального мышления, как экспертные системы, возникший в 1960-е гг., а потом ушедший в тень. С момента зарождения кибернетики разработчики компьютерных программ пытались воспроизвести механизм мышления человека, т. е. ставилась задача научить компьютер «думать». Первые известные результаты в области создания и использования интеллектуальных систем принесли работы Норберта Винера и Г.С. Альтшуллера. При этом создание интеллектуальных систем сводилось к разработке программ, решающих задачи с помощью разнообразных эвристических методов, основанных на свойстве человеческого мышления обобщать.

Ключевые слова: искусственный интеллект; экспертная система; дифференциальная диагностика; база знаний; машина вывода; интерфейс доступа; клиническая диагностика; лабораторная диагностика; медицинская диагностика.

Как цитировать:

Котив Б.Н., Иванов И.А., Будько И.А., Тросько И.У. Использование искусственного интеллекта для медицинской диагностики с помощью реализации экспертной системы // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2021. Т. 23, № 1. С. 215–224. DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma.63657>

DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma.63657>

ARTIFICIAL INTELLIGENCE USING FOR MEDICAL DIAGNOSIS VIA IMPLEMENTATION OF EXPERT SYSTEMS

© B.N. Kotiv¹, I.A. Ivanov², I.A. Budko³, I.U. Trosko⁴

¹ Military Medical Academy named after S.M. Kirov, Saint Petersburg, Russia

² PharmPatent Limited Liability Company, Saint Petersburg, Russia

³ Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

⁴ Stock Company RT LABS, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT: Modern biomedical technologies development affords to provide the doctor with colossal amount of information about patient's organism condition. However, the opportunity of using this data for medical diagnosis fully now is a distant perspective only. The reason is a human's limited ability in assessment and interpretation this data arrays. The solution seems in artificial intelligence and expert systems wide introduction to medicine. Currently, almost all authors consider various options for constructing artificial neural networks as a way to implement artificial intelligence. This approach, which goes back to the fundamental theorem of A.N. Kolmogorov, the works of V.I. Arnold and Hecht-Nielsen [3], demonstrates excellent capabilities in a number of pattern recognition problems, which are reduced to revealing hidden details against the background of input noises. Much less often is mentioned such a method of modeling formal thinking as expert systems, which arose in the 1960s and then went into the shadows. Since the inception of cybernetics, computer programmers have tried to reproduce the mechanism of human thinking, that is, the task was to teach the computer to "think". The first known results in the field of creating and using intelligent systems were laid by the work of Norbert Wiener and G.S. Altshuller. At the same time, the creation of intelligent systems was reduced to the development of programs that solve problems using a variety of heuristic methods based on the property of human thinking to generalize.

Keywords: artificial intelligence; expert system; differential diagnosis; knowledge base; inference engine; access interface; clinical diagnostics; laboratory diagnostics; medical diagnostics.

To cite this article:

Kotiv BN, Ivanov IA, Budko IA, Trosko IU. Artificial intelligence using for medical diagnosis via implementation of expert systems. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2021;23(1):215–224. DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma.63657>

Received: 14.01.2021

Accepted: 16.02.2021

Published: 27.03.2021

Клиническая лабораторная диагностика (КЛД) — одна из ключевых отраслей медицины в целом и медицинской диагностики в частности. КЛД использует широкий спектр лабораторных исследований биологических жидкостей и тканей человека для установления диагноза и прогноза заболевания. Это наиболее часто используемый вид диагностики в медицине, и его роль будет только возрастать, а количество используемых тестов и маркеров — увеличиваться по экспоненте.

Классическая КЛД включает такие разделы, как клиническая гематология, клиническая биохимия, цитология, серология, иммунология, микробиология, паразитология, вирусология и др. В последние десятилетия все большую значимость приобретает диагностика на основе цитогенетических, молекулярно-цитогенетических и молекулярно-генетических методик. Используемые для получения развернутых данных по геному человека современные приборы называют секвенаторами нового поколения (Next Generation Sequencing, NGS). Рассмотрим примеры, демонстрирующие непривычно большой и новый для врачей объем данных, предоставляемых генетическими исследованиями. Так, количество нуклеотидов в гаплоидном геноме человека оценивается в 3,289 млрд нуклеотидов, и каждый из них может мутировать, потенциально оказывая действие на функционирование клетки (при соматических мутациях) и организма в целом (при мутации половых (гаметы) и эмбриональных клеток). Математически количество возможных точечных мутаций только гаплоидного генома человека составляет совершенно невообразимую цифру — $4^{3289000000}$. Для сравнения: цифрой гугол (10^{100}) оценивают количество капель дождя, упавших на Землю с момента ее возникновения, а атомов в известной нам части Вселенной, по разным оценкам, насчитывается всего только от 10^{79} до 10^{81} .

Даже если рассматривать не весь геном человека, а только такие модные в современной медицинской науке и диагностике генетические полиморфизмы — Single-nucleotide polymorphisms (SNP), являющиеся точечными мутациями дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) (отличия последовательности ДНК размером в один нуклеотид (А, Т, G или С)), стабильно наследуемые в ряду поколений и распространенные в популяции человека с частотой более 1%, то при оцениваемом их общем количестве в типичном геноме около 4–5 млн теоретически возможное количество вариантов геномов человека составит $2^{4000000}$ — $2^{5000000}$! А ведь всего описано в разных популяциях существенно больше — до 335 млн SNP.

Но наличие полиморфизмов в геноме — это еще не все. Во-первых, существуют и другие варианты мутаций. Во-вторых, интереснейшие данные получают ученые в результате эпигенетических исследований. Оцениваются регуляторные изменения генома на основе метилирования ДНК, а также метилирования,

ацетилирования, фосфорилирования и других посттрансляционных модификаций белков-гистонов, связывающих ДНК. А это еще больше усложняют интерпретацию получаемых данных.

Более того, такие генетические явления, как разная пенетрантность (вероятность фенотипического проявления признака при наличии соответствующего гена) и экспрессивность (выраженность проявления) генов, полигенное наследование (когда проявление признака определяют несколько генов), включающее, например, эпистаз (тип взаимодействия генов, при котором проявление одного гена находится под влиянием другого гена или генов) и полимерию (когда несколько генов действуют на один признак одинаково), и прочее еще более усложняют трактовку генетических данных. К тому же некоторые заболевания являются наследственными, т. е. имеющими в качестве этиологического фактора мутантный ген, а некоторые — мультифакториальными, их возникновение связано как с генетическими факторами, так и с воздействием факторов окружающей среды.

Решением этих сверхсложных проблем в области биологии сегодня занимается наука биоинформатика, использующая мощные математические методы компьютерного анализа для обработки больших массивов данных и решения сложных биологических проблем. В области генетики биоинформатика используется для сборки геномов, поиска мутаций и полиморфизмов. Она помогает анализировать биологические пути, структуру биомолекул, их взаимодействия и т. д. Биоинформатиками, как правило, становятся либо математики и программисты, прошедшие дополнительное обучение в области биологии, либо биологи, дополнительно обученные математическим методам анализа и программированию.

Но что же в этой ситуации делать практическим врачам, которые должны будут ежедневно на практике применять эти новые технологии, которые они не знают и не понимают? Врачам, только анатомию изучающим около двух лет? А генетику — считанные недели... Да и кафедры генетики и/или медицинской генетики есть лишь в небольшом количестве медицинских вузов. К тому же, помимо отсутствия глубоких знаний в области генетики, студенты-медики не получают систематического образования в области информатики.

Выход, на наш взгляд, только один. Разработка и внедрение в помощь врачу систем поддержки принятия решений на основе специализированных баз данных и компьютерных программ, работающих как экспертные системы (ЭС) или искусственный интеллект (ИИ). На наш взгляд, чрезвычайно актуальным будет включение в медицинские ЭС и ИИ модулей биоинформатического анализа.

Для их создания требуется огромная совместная работа ученых разных специальностей: генетиков, биоинформатиков, врачей, математиков, программистов, кибернетиков и др.

Невозможно будет переоценить роль таких систем в особых условиях, затрудняющих оказание медицинской помощи: в отдаленных регионах (Арктика), на судах дальнего плавания, при стихийных бедствиях, массовых поступлениях пациентов, военных действиях и т. д.

Полагаем, что такие системы в будущем будут объединены с роботизированными системами оказания медицинской помощи, в том числе хирургической. Уже сегодня появляются подобные системы. Например, робот-ассистированная хирургическая система *da Vinci*. Но без участия человека они пока операции не делают.

ИИ будет использоваться в инженерной и синтетической биологии, решения которой будут актуальны не только для биомедицины, но и для биотехнологий в целом. Синтетическая биология позволит, например, улучшать и подстраивать под текущие условия метаболизм человека, животных и растений, что может понадобиться в том числе при создании Илоном Маском поселений на Марсе.

Важнейшим направлением для медицины, в котором без ИИ, видимо, не обойтись, станет синтетический морфогенез, который с помощью программируемой регуляции сложнейших молекулярно-клеточных механизмов позволит выращивать органы человека для трансплантации.

Что такое ЭС? ЭС — это программный продукт, созданный для имитации деятельности человека в процессе логических рассуждений. Отличие ЭС от других программных продуктов состоит в том, что она выступает не в роли пассивной системы, выполняющей за человека часть работы, а в роли полноправного партнера или эксперта-консультанта в какой-либо определенной предметной области. ЭС аккумулируют в себе и дают возможность тиражирования опыта и знаний высококвалифицированных специалистов. Они позволяют применять эти знания пользователям, не являющимся специалистами в конкретной предметной области. Таким образом, ЭС не заменяют собой эксперта в его непосредственной деятельности, а расширяют возможную сферу применения знаний специалистов. Способности ЭС решать интеллектуальные задачи, для которых они создаются, не ослабевают со временем и не забываются при отсутствии практики, они легко распространяются, поскольку в конечном счете это компьютерные программы. Ход их рассуждений может быть документирован на любой уровень детальности, выводы ЭС могут быть аргументированы и при многократном решении одной и той же задачи ЭС выдают одно и то же решение, в отличие от человека, который подвержен эмоциональным и физиологическим факторам.

Эксплуатация ЭС значительно дешевле, чем содержание человека-эксперта. Хотя указанные преимущества достаточно очевидны, есть и некоторые минусы использования ЭС. Они не обладают интуицией и общими знаниями о мире, ход и метод решения проблемы не может

выйти за рамки той информации, которая в них заложена при проектировании. ЭС не могут решать проблемы в изменяющихся условиях, например, при смене методик решения задачи или появлении нового оборудования, не предусмотренного при их проектировании. Эксперты могут непосредственно воспринимать весь комплекс входной сенсорной информации вне зависимости от ее характера. Это может быть визуальная, звуковая, осязательная или обонятельная информация. ЭС воспринимает только ту информацию, которая поступает через специально организованный интерфейс пользователя. Для работы с ЭС сенсорную информацию необходимо проанализировать и преобразовать в форму, пригодную для машинной обработки. При этом неизбежно возникают искажения и потери, но классифицировать весь поток информации на значимое и второстепенное, достоверное или невероятное способен только человек. Следовательно, основным назначением ЭС является консультирование по узкоспециальным вопросам при принятии решений человеком-специалистом. То есть ЭС используются для усиления и расширения профессиональных возможностей их пользователей. Традиционными областями применения ЭС являются следующие [7].

Интерпретация данных. Это одна из традиционных задач для ЭС. Под этим понимают определение смысла данных, результаты которого должны быть полными, согласованными и корректными. Обычно предусматривается многовариантный анализ данных.

Диагностика. Под диагностикой технических приложений понимается обнаружение неисправности в некоторой системе. Неисправность расценивается как отклонение от нормы функционирования. Такая трактовка позволяет с единых теоретических позиций рассматривать и неисправность оборудования в технических системах, и заболевания живых организмов, а также всевозможные природные аномалии. Важной спецификой этой области является необходимость понимания функциональной структуры (т. е. «анатомии») диагностирующей системы.

Мониторинг. Задача мониторинга — непрерывная интерпретация данных в реальном масштабе времени и сигнализация о выходе тех или иных параметров за допустимые пределы. Главные проблемы, возникающие при мониторинге, это «пропуск» потенциально опасной ситуации и инверсная к ней задача «ложного» срабатывания. Сложность этих проблем состоит в размытости симптомов тревожных ситуаций и необходимости учета временного контекста.

Проектирование. Проектирование состоит в подготовке спецификаций на создание «объектов» с заранее определенными свойствами. Под спецификацией понимается весь набор необходимых документов: чертеж, пояснительная записка и т. д. Основная проблема здесь — это получение четкого структурированного описания знаний об объекте. Для организации эффективного

проектирования и в еще большей степени перепроектирования необходимо формировать не только сами проектные решения, но и обосновывать мотивы их принятия. Таким образом, в задачах проектирования тесно связываются два основных процесса, выполняемых в рамках соответствующей ЭС: процесс вывода решения и процесс объяснения.

Прогнозирование. Прогнозирующие системы логически выводят вероятные следствия из исходных ситуаций. В такой системе обычно используется параметрическая динамическая модель, в которой значения параметров «подгоняются» под заданную ситуацию. Выводимые из этой модели следствия составляют основу для прогнозов с вероятностными оценками. Ярким примером такого применения была модель «Гея» — глобальная модель динамики атмосферы, разработанная под руководством Н.Н. Моисеева в семидесятые годы прошлого века.

Планирование. Под планированием понимается нахождение планов действий, относящихся к объектам, способным выполнять некоторые функции. В таких ЭС используются модели поведения реальных объектов с тем, чтобы логически вывести последствия планируемой деятельности.

Обучение. Системы обучения диагностируют ошибки при изучении какой-либо дисциплины с помощью ЭС и подсказывают (если это предусмотрено сценарием обучения) правильные решения. Они аккумулируют знания о гипотетическом «ученике» и его характерных ошибках, диагностируют слабости в знаниях обучаемых и находят возможности для их исправления. Они также способны планировать обучение ученика в зависимости от его успехов.

Верхнеуровневая архитектура ЭС. Все ЭС имеют в принципе сходную архитектуру [7, 8]. В ее основе лежит разделение информации, заложенной в систему, и алгоритмов ее обработки. Специализированные ЭС могут иметь сложную разветвленную структуру модулей (рис. 1).

Для любой ЭС необходимо наличие следующих основных блоков.

База знаний (БЗ) — это наиболее важный компонент ядра ЭС, представляет собой совокупность знаний о предметной области и способах решения задач, записанных в форме, понятной неспециалистам в программировании: эксперту, пользователю и др. Обычно знания в БЗ записываются в форме, максимально приближенной к естественному языку. Форма записи знаний получила название «язык представления знаний» (ЯПЗ). В различных системах могут использоваться различные ЯПЗ. Параллельно такому «человеческому» представлению БЗ может существовать во внутреннем, «машинном» представлении. Преобразование между различными формами представления БЗ должно осуществляться автоматически, так как редактирование БЗ не подразумевает участие программиста-разработчика.

Машина вывода (МВ) — это блок, моделирующий ход рассуждений эксперта на основании знаний, заложенных в БЗ. МВ является неизменной частью ЭС. Большинство реальных ЭС имеют встроенные средства управления ходом логического вывода с помощью так называемых метаправил, записываемых в БЗ и регламентирующих применимость конкретных правил в рамках процесса вывода.

Сервисные средства и в первую очередь редактор базы знаний, который предназначен для разработчиков ЭС. С помощью этого редактора в БЗ добавляются новые знания или редактируются существующие.

Интерфейс пользователя — это комплекс средств, предназначенных для взаимодействия ЭС с пользователем, через который система запрашивает необходимые для ее работы данные и выводит результат. Система может иметь ограниченный интерфейс, ориентированный на определенный способ ввода и вывода информации или может включать средства гибкого проектирования специализированных интерфейсов для более эффективного взаимодействия с пользователем или конкретной

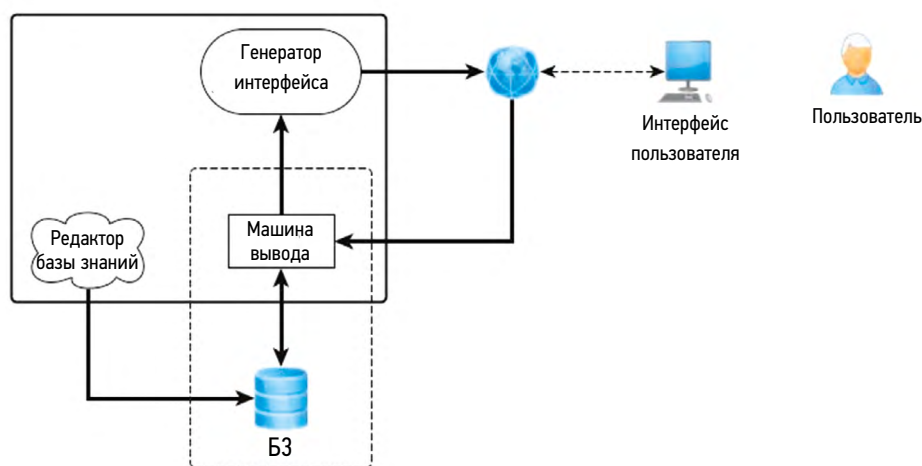


Рис. 1. Обобщенная структура экспертной системы
Fig. 1. Generalized structure of the expert system

группой пользователей (например, с людьми, имеющими ограниченные возможности). В настоящее время возможны различные варианты подходов к интерфейсу с использованием как традиционных, так и веб-технологий.

В процессе своего функционирования ЭС считывает информацию из своей базы знаний и пытается осуществить логический вывод решения поставленной перед ней задачи. В БЗ могут храниться два основных вида записей: факты, описывающие состояние предметной области, составляющие ее объекты и их свойства, а также правила, описывающие способы решения задачи. Все правила БЗ имеют одинаковую форму записи и состоят из двух частей: условие и вывод. Предварительным этапом при работе по проектированию ЭС является сбор исходных фактов, описывающих проблему на языке представления знаний. Эти факты могут поступать в систему различными способами: в режиме диалога через интерфейс пользователя, посредством файлов, из баз данных, от внешних датчиков или аналитических приборов, имеющих интерфейсы для подключения к ЭС. После получения исходной информации машина вывода начинает просмотр базы знаний и последовательно сопоставляет описание задачи с записями БЗ, описывающими ход решения. Если условие текущего правила БЗ подтверждается множеством полученных фактов, то система выполняет действие, предписываемое данным правилом, добавляя в БЗ новые производные факты. На первый взгляд процесс вывода кажется достаточно простым, поскольку в нем выполняются однотипные операции по перебору записей БЗ и сравнению их с имеющимися фактами, пока не будет найдено решение или некий целевой факт. Однако управление процессом вывода, не зависящее от контекста проблемы, на практике мало эффективно. При решении реальных задач человек крайне редко прибегает к перебору данных. Вместо этого люди практически всегда пользуются эвристическими правилами [9], которые значительно ограничивают пространство поиска решения на каждом из этапов вывода и позволяют быстро и эффективно решать задачи. Эвристические знания имеют эмпирическую природу и формируются на базе опыта и интуиции эксперта в предметной области.

Существует два основных типа логического вывода: прямой и обратный. Прямой вывод соответствует обычному ходу решения задачи: от исходных фактов к целевым. Примером прямого вывода является задача классификации. При классификации ЭС осуществляет постепенное обобщение исходных фактов, описывающих свойства исследуемого объекта, выявляя наиболее характерные признаки того или иного класса объектов. Обратный вывод соответствует обратной задаче, состоящей в определении того, какие именно факты требуются для подтверждения данной цели. Этот тип вывода соответствует противоположному ходу решения:

сначала машина вывода рассматривает те правила БЗ, действием которых является вывод целевого факта. Затем выбираются новые подцели из условий этих правил, и процесс продолжается от целевых фактов к исходным. Иными словами, при обратном выводе происходит конкретизация свойств исследуемого объекта. Этот вид логического вывода наделяет ЭС новым фундаментальным свойством, а именно способностью объяснить, как было получено решение или что требуется для того, чтобы имел место тот или иной факт.

Представление информации в ЭС в виде правил — это наиболее понятный и популярный метод [10, 11]. Правила обеспечивают формальный способ представления рекомендаций, знаний или стратегий. Они чаще подходят в тех случаях, когда предметные знания возникают из эмпирических ассоциаций, накопленных за годы работы по решению задач в данной области, их статистической обработке и представлению в компактной форме, пригодной для логического вывода. В ЭС, основанных на правилах, предметные знания представляются набором правил вывода, которые проверяются на группе фактов и знаний о текущей ситуации входной информации. Когда часть правила «если» удовлетворяет фактам, действия, указанные в части «то», выполняются. При этом говорят, что правило срабатывает. Интерпретатор правил сопоставляет части правил «если» с фактами и выполняет «то» правило, часть «если» которого сходится с фактами, т. е. интерпретатор правил работает в цикле «сопоставить — выполнить». Процесс сопоставления с фактами частей «если» порождает цепочку выводов. Эта цепочка выводов показывает, как система, используя правила, выводит заключение. Цепочки выводов ЭС могут быть показаны пользователю, что помогает понять, как именно система достигает своих заключений, ход ее «рассуждений».

Правила, по сравнению с другими способами представления знания, имеют ряд преимуществ:

- в первую очередь это модульность;
- стандартизация и единообразие структуры;
- естественность и интуитивная понятность (вывод заключения в такой системе аналогичен процессу рассуждения эксперта);
- предельная гибкость иерархии понятий, которая поддерживается только как связи между правилами.

Однако такие системы не свободны от недостатков:

- процесс вывода менее эффективен, чем при других способах представления, так как большая часть времени затрачивается на непроизводительную проверку применимости правил;
- вывод трудно поддается управлению, поскольку требует коррекции ссылок между правилами;
- сложно наглядно представить иерархию понятий ввиду многофакторности и большой размерности пространства признаков.

Правила могут быть представлены в одном из двух видов:

Если в зависимости от возможных четких значений входных параметров делается вывод о значениях выходного параметра, то такая система называется системой $L^{(1)}$ -типа:

$$L^{(1)} = \begin{cases} L_1^{(1)} : < \text{если } A_1 \text{ то } B_1 > \\ L_2^{(1)} : < \text{если } A_2 \text{ то } B_2 > \\ \dots \\ L_m^{(1)} : < \text{если } A_m \text{ то } B_m > \end{cases}$$

В случаях, когда в зависимости от возможных значений выходной ситуации (B_j) экспертом делается предположение о возможной входной ситуации (A_j), система экспертных высказываний называется системой $L^{(2)}$ -типа:

$$L^{(2)} = \begin{cases} L_1^{(2)} : < \text{если } B_1 \text{ то } A_1 > \\ L_2^{(2)} : < \text{если } B_2 \text{ то } A_2 > \\ \dots \\ L_m^{(2)} : < \text{если } B_m \text{ то } A_m > \end{cases}$$

Реализация машины вывода ЭС. Вывод выполняется в виде цикла «понимание — выполнение», причем в каждом цикле выполняемая часть выбранного правила обновляет базу данных в части логирования процесса рассуждений. В результате содержимое базы данных преобразуется от первоначального к целевому, т. е. целевая система синтезируется в базе данных. Иначе говоря, для системы продукции характерен простой цикл выбора и выполнения. Наиболее естественная реализация этого механизма будет на базе той или иной универсальной системы управления базами данных (СУБД), включающей как удобный интерфейс работы с БЗ (в данном случае это будет система таблиц, содержащих информацию о предметной области), так и машину вывода, реализованную с помощью хранимых процедур и блоков интерфейса к системе.

Дифференциальная диагностика заболеваний — это наиболее естественная база для разработки и использования ЭС в медицине [10, 17]. В соответствии с этим подходом диагностика сводится к выполнению ряда формализованных шагов, в результате которых круг возможных заболеваний сужается до минимума, а степень определенности диагноза растет:

1. Проводится первичное клиническое обследование больного (жалобы, анамнез болезни, объективные данные, анамнез жизни и др.).
2. В картине заболевания выделяется какой-либо один (лучше очевидный) клинический признак.
3. Проводится анализ перечня заболеваний, при которых может встречаться этот симптом.
4. В ходе предварительной дифференциальной диагностики подтверждается или исключается максимально возможное число заболеваний, при этом используются только данные, полученные при клиническом

обследовании больного (проводится путем выявления у больного патогномичных признаков и противоречий клинического плана по каждой из искомых болезней и последовательного (или алгоритмического) их подтверждения или исключения).

5. В итоге отбираются неисключенные заболевания, перечень которых и составит предварительный диагноз.

6. Составляется план дополнительных (параклинических) исследований с учетом, в первую очередь, тех из них, с помощью которых можно было бы подтвердить или исключить оставшиеся заболевания.

7. Определяются необходимые лечебные мероприятия с учетом всех неисключенных (возможных) у данного пациента заболеваний.

8. По мере получения результатов дополнительных исследований проводится заключительная дифференциальная диагностика и коррекция лечения.

9. По итогам предварительных этапов ставится окончательный диагноз.

Семантическая сеть (СС) как модель предметной области для дифференциальной диагностики — это информационная модель предметной области, имеющая вид ориентированного графа, вершины которого соответствуют объектам предметной области, а дуги (ребра) задают отношения между ними [12–14, 18]. Объектами могут быть понятия, события, свойства, процессы. Таким образом, СС — это один из способов представления знаний. Основная форма представления СС — это граф. Понятия СС записываются в овалах или прямоугольниках и соединяются стрелками с подписями — дугами (рис. 2).

СС — это наиболее удобно воспринимаемая человеком форма. Ее недостатки проявляются, когда мы начинаем строить слишком сложные сети или пытаемся учесть особенности естественного языка. Схемы СС, на которых указаны направления навигационных отношений, называют картами знаний (mind maps), а их совокупность, позволяющая охватить большие участки семантической сети, атласом знания.

Успешно реализованные проекты медицинских ЭС. Одной из первых ЭС, предназначенных для медицинской диагностики заболеваний крови и разработанных группой по инфекционным заболеваниям Стенфордского университета, была система MYCIN [15]. Она включает базу данных пациентов и базу знаний, состоящую из 450 правил. Для нового пациента в базе данных создается специальная запись, куда помещается информация о симптомах и первоначальных тестах. Система автоматически или при помощи оператора выбирает цель в виде «в крови имеется такой-то микроорганизм», после чего начинается вывод вспомогательных целей, для которых, возможно, потребуются новые анализы. Результаты новых анализов также вводятся в систему, и процесс продолжается, пока система не поставит соответствующий диагноз и не выработает рекомендацию

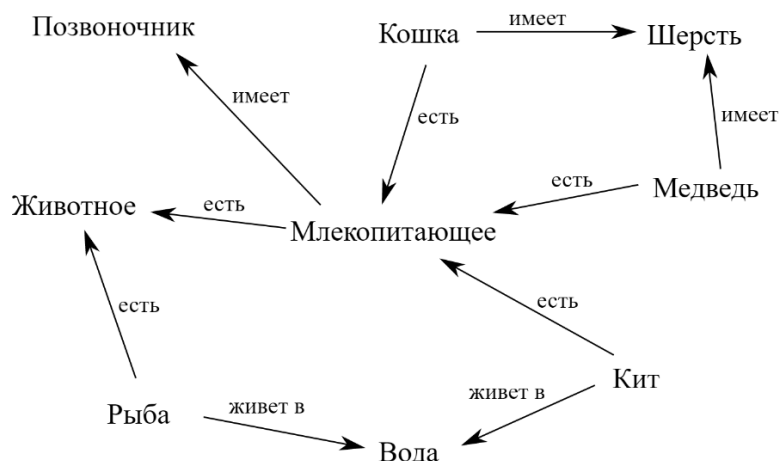


Рис. 2. Пример семантической сети
Fig. 2. Example of a semantic network

по медикаментозному лечению найденной инфекции. В системе реализованы механизмы представления нечетких знаний. Так, запись о пациенте в базе данных представляет собой древовидную структуру, в листьях которой помимо значений параметров хранятся степени уверенности в истинности этих параметров. Правила базы знаний системы также используют степени уверенности при описании знаний. Для вывода заключения в системе MYCIN используется сначала прямой механизм, в ходе которого выводятся подцели в виде возможных инфекций, а затем обратный, предназначенный для поиска анализов, способных подтвердить или опровергнуть найденные в ходе прямого вывода подцели. В процессе логического вывода система комбинирует степени уверенности данных и правил, получая, таким образом, степень истинности заключения.

Система PUFF [16] — это ЭС для анализа нарушения дыхания. Данная система представляет собой одну из разновидностей системы MYCIN, из которой удалили данные по инфекциям и вставили данные о легочных заболеваниях.

Система QMR — это диагностическая система поддержки принятия решений с базой информации о заболеваниях, диагнозах, результатах, ассоциациях по болезням и лабораторной диагностике. Дополнительно в нее включена информация из первичной медицинской литературы о почти 700 заболеваниях и более 5000 симптомов, признаков и результатов лабораторных исследований. Система QMR была разработана для трех типов использования в качестве: а) электронного учебника; б) таблицы промежуточного уровня для объединения и исследования простых диагностических концепций; в) программы-консультанта.

Система ACID — это экспертная система, использующая причинно-следственные связи для контроля электролитных и кислотных нарушений. Она была разработана в лаборатории компьютерных наук MIT в начале 1980-х.

Система ONCOCIN — это основанная на ряде правил медицинская ЭС на основе онкологических протоколов, разработанная в Стэнфордском университете. Онкоцин был разработан, чтобы помочь врачам в лечении больных раком, получающих химиотерапию. Это была одна из первых ЭС, которая пыталась моделировать решения и последовательность действий с течением времени, используя настраиваемый язык потоковых диаграмм. Она расширила технику скелетного планирования до области применения, где важна история прошлых событий и продолжительность действий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полагаем, что в настоящее время существует как возможность, так и острая потребность в развертывании работ по проектированию ЭС для медицинской диагностики. Методики обследования больных во многих отраслях медицины доведены до уровня прописей [18], являющихся, по сути, набором вполне определенных правил, с реализацией которых прекрасно справляется машина вывода, а наличие аналитических приборов с цифровым выходом результатов анализа дает возможность их прямого включения в контур сбора фактических данных ЭС. ЭС могут использоваться вне стационарных лечебных учреждений, в условиях стихийных бедствий или эпидемий, при невозможности получения квалифицированной помощи немедленно из-за отсутствия врачей (например, на корабле в море или удаленном фельдшерско-акушерском пункте в труднодоступной местности) или их острой нехватки (при большом потоке пациентов). Наличие высокоскоростной связи, доступа к сети Интернет позволяет получать высококачественную диагностику в режиме реального времени при подключении к стационарным системам диагностики на базе ЭС, развернутых в крупных медицинских центрах и поддерживаемых в актуальном состоянии силами их штатных сотрудников.

При использовании ЭС работа лечащего врача становится значительно более ответственной и состоит в подкреплении своими профессиональными знаниями, интуицией и здравым смыслом механических выводов ЭС. С другой стороны, ЭС ничего не забудет, не перепутает и ведет учет своих действий с точностью и пунктуальностью машины.

В то же время внедрение в медицинскую практику результатов новых высокопроизводительных методов

исследования, таких, например, как секвенирование нового поколения, требует создания и развертывания систем ИИ для анализа получаемых огромных массивов информации на основе имеющихся баз данных, начальных уровней клинической интерпретации и выдачи рекомендаций по возможным в данной клинической ситуации терапевтическим подходам. Итоговое решение по результатам диагностики и лечению будет принимать врач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колмогоров А.Н. О представлении непрерывных функций нескольких переменных суперпозициями непрерывных функций меньшего числа переменных // Известия АН СССР. 1956. № 2 (108). С. 179–182.
2. Арнольд В.И. О функции трех переменных // Известия АН СССР. 1957. № 9 (114). С. 679–681.
3. Hecht-Nielsen R. Kolmogorov's Mapping Neural Network Existence Theorem. R Hecht-Nielsen. IEEE First Annual Int. Conf. on Neural Networks, San Diego. 1987. Vol. 3, P. 11–13.
4. Круглов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. 2-е изд., стереотип. М.: Горячая линия-Телеком, 2002. 382 с.
5. Винер Н. Кибернетика. М.: Наука, 1983. 344 с.
6. Альтшуллер Г.С., и др. Поиск новых идей: от озарения к технологии. Кишинев: Картя молдовеняскэ, 1989. 111 с.
7. Экспертные системы. Принципы работы и примеры / под ред. Р. Форсайта. М.: Радио и связь, 1987. 111 с.
8. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.: Питер, 2000. 384 с.
9. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам. М.: Мир, 1989. 388 с.
10. Джексон П., Питер П. Введение в экспертные системы. М.: Вильямс, 2001. 393 с.
11. Представление и использование знаний / Под ред. Х. Уэно, М. Исидзука. М.: Мир, 1989. 220 с.
12. Казанцев А.П., Зубик Т.М. Дифференциальная диагностика инфекционных болезней. М.: МИА, 1999. 482 с.
13. Lezhenko A. On the Methods of Formalization of the Information Trends and Data Processing in Integrated Information and Telecommunication Technologies. 8th Multi-Conference on Systemic, Cybernetics and Informatics (SCI 2004). Orlando, Florida, USA, 2004. P. 180–185.
14. Mizumoto M., Gupta M.M., Ragade R.K., Yage R.R. Some methods of fuzzy reasoning. Advances in Fuzzy Set Theory Applications. North-Holland, Amsterdam, 1979. P. 253–283.
15. Kumar A. Dr. Sanjay Kumar Study and Analysis of MYCIN expert system // International Journal of Engineering and Computer Science. 2015. Vol. 4, No. 10. P. 14861–14865.
16. Buchanan B.G., Shortliffe E.H. Rule-based Expert Systems: The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project. Addison-Wesley. Reading, MA, 1984.
17. Амбалов Ю.М. Алгоритм проведения дифференциальной диагностики // Успехи современного естествознания. 2003. № 8. С. 34–34.
18. Серобабова А.С., и др. Разработка экспертной системы ранней диагностики заболеваний: программные средства первичной обработки и выявления зависимостей // Омский научный вестник. 2018. № 4 (160). С. 179–184.

REFERENCES

1. Kolmogorov AN. O predstavlenii nepreryvnykh funktsij neskol'kih peremennykh superpozitsijami nepreryvnykh funktsij men'shego chisla peremennykh AN Kolmogorov. *Izvestija AN SSSR*. 1956;2(108):179–182. (In Russ.)
2. Arnol'd VI. O funktsii trekh peremennykh. VI Arnol'd. *Izvestija AN SSSR*. 1957;9(114):679–681. (In Russ.)
3. Hecht-Nielsen R. Kolmogorov's Mapping Neural Network Existence Theorem. R Hecht-Nielsen. IEEE First Annual Int. Conf. on Neural Networks, San Diego. 1987;3:11–13.
4. Kruglov VV. Iskusstvennye nejronnye seti. Teoriya i praktika. 2-e izd., stereotip. VV Kruglov, VV Borisov. Moscow: Goryachaya liniya-Telekom; 2002;382. (In Russ.)
5. Viner N. Kibernetika. N Viner. Moscow: Nauka; 1983. (In Russ.)
6. Altshuller GS, et al. Poisk novyx idej: ot ozareniya k tehnologii. Kishinyov: Kartya moldovenyaske; 1989. 111 p. (In Russ.)
7. Ekspertnye sistemy. Principy raboty i primery. Ed. by R. Forsajta. Moscow: Radio i svyaz; 1987. (In Russ.)
8. Gavrilova TA, Xoroshevskij VF. Bazy `znaniy intellektual`ny`x system. Saint Petersburg: Piter; 2000. 384 p. (In Russ.)
9. Uotermen D. Rukovodstvo po e`kspertny`m sistemam. Moscow: Mir; 1989. (In Russ.)
10. Dzhekson P, Piter P. Vvedenie v e`kspertny`e sistemy`. Moscow: Vil`yams; 2001. (In Russ.)
11. Predstavlenie i ispol`zovanie znaniy. Ed. by X. Ue`no, M. Isidzuka. Moscow: Mir; 1989. (In Russ.)
12. Kazancev AP. Differencial`naya diagnostika infekcionny`x boleznej. Moscow: MIA; 1999. 482 p. (In Russ.)
13. Lezhenko A. On the Methods of Formalization of the Information Trends and Data Processing in Integrated Information and Telecommunication Technologies. 8th Multi-Conference on Systemic. *Cybernetics and Informatics* (SCI 2004). Orlando, Florida, USA; 2004. P. 180–185.
14. Mizumoto M, Gupta MM, Ragade RK, Yage RR. Some methods of fuzzy reasoning. *Advances in Fuzzy Set Theory Applications*. North-Holland, Amsterdam. 1979;253–283.

15. Kumar A. Dr. Sanjay Kumar Study and Analysis of MYCIN expert system. *International Journal of Engineering and Computer Science*. 2015;4(10):14861–14865.

16. Buchanan BG, Shortliffe EH. Rule-based Expert Systems: The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project. *Addison-Wesley*. Reading, MA; 1984.

17. Ambalov YuM. Algoritm provedeniya differencial`noj diagnostiki. Yu.M. Ambalov. *Uspexi sovremennogo estestvoznaniya*. 2003;8:34–34. (In Russ.)

18. Serobabov AS, et al. Razrabotka e`kspertnoj sistemy` rannej diagnostiki zabolevanij: programmy`e sredstva pervichnoj obrabotki i vy`yavlenie zavisimostej. *Omskij nauchn. vestn.* 2018;4(160):179–184. (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ

***Иванов Игорь Альбертович**, кандидат медицинских наук;
e-mail: iia3@yandex.ru

Котив Богдан Николаевич, доктор медицинских наук, профессор; e-mail: vmeda-nio@mil.ru

Будько Игорь Аркадьевич, кандидат технических наук;
e-mail: beerd@inbox.ru

Тросько Игорь Усяславович, ведущий инженер;
e-mail: troskoigor@gmail.com

AUTHORS INFO

***Ivanov Igor A.**, candidate of medical sciences;
e-mail: iia3@yandex.ru

Kotiv Bogdan N., doctor of medical sciences, professor;
e-mail: vmeda-nio@mil.ru

Budko Igor A., candidate of technical sciences;
e-mail: beerd@inbox.ru

Trosko Igor U., lead implementation engineer;
e-mail: troskoigor@gmail.com