



Ссылка на статью:

// Ученые записки УлГУ. Сер. Математика и информационные технологии. 2023, № 2, с. 28-34.

Поступила: 27.11.2023

Окончательный вариант: 06.12.2023

© УлГУ

УДК 519.6

Концепция когнитивных вычислений

Кожевников В.В.

vyk28061955@mail.ru

УФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Ульяновск, Россия

Предлагается подход к решению проблемы формализации понятия когнитивных вычислений на основе математической модели (математической логики) когнитивных цифровых автоматов. Когнитивные вычисления представляют собой одно из основных направлений развития искусственного интеллекта или комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека. Несмотря на широкое распространение само понятие когнитивных вычислений до настоящего времени не имеет четкого определения. Научная новизна концепции заключается в математическом определении (формализации) понятия когнитивных вычислений.

Ключевые слова: когнитивные вычисления, когнитивный автомат, нейронные сети, математическая модель, сети Петри, уравнение состояний, математическая логика.

Введение

Когнитивные вычисления представляют собой одно из основных направлений развития искусственного интеллекта или комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека [1].

Имитация процессов мышления человека может быть продемонстрирована на обычном компьютере в результате выполнения некоторой последовательности вычислений в соответствии с заданным алгоритмом. При этом когнитивные функции человека по составлению алгоритма вычислений сам человек и выполняет. С точки зрения имитации когнитивных функций человека на первый план выдвигается проблема формализации понятия когнитивных вычислений [2].

Само понятие когнитивных вычислений до настоящего времени не имеет четкого определения. Отличительная особенность когнитивных вычислений заключается в том, что исходный алгоритм вычислений заранее не задан и формируется в процессе обучения и генерации решений, не предусмотренных в процессе обучения [3]. Обучение, в данном

случае, выполняется на ограниченном (минимальном) порождающем множестве обучающих наборов данных (неполных обучающих выборках), определяющих множество базовых (элементарных) функций алгоритма. В качестве базовых (элементарных) функций могут рассматриваться множества микроопераций, микрокоманд, команд и макрокоманд, выполняемых в течение одного цикла (одного такта) срабатывания автомата. При этом возможность формирования формулы (алгоритма) зависит от критической массы (качества) обучающих наборов и алгоритмов обучения. Отсюда особое значение приобретает задача генерации минимального множества обучающих наборов для заданной или экспериментально определяемой функции (алгоритма). В процессе генерации решений выполняется адаптация (экстраполяция) алгоритма в зависимости от конкретных входных наборов данных.

Обработка информации осуществляется в соответствии с (формулой) алгоритмом, который воспроизводится в процессе когнитивных вычислений. В процессе обработки информации осуществляется распознавание, понимание и, в случае необходимости, реагирование на поступающий поток информации (преобразование информации) [4].

Научная значимость и актуальность

Научная значимость и актуальность решения обозначенной проблемы определяется необходимостью перехода к принципиально новым (когнитивным) подходам к развитию искусственного интеллекта. Известные на данный момент технологии моделирования искусственного интеллекта не обеспечивают решения проблемы [5]. Наиболее популярные в последнее время технологии коннективизма строятся на основе математических моделей цифровых автоматов (ЦА) с пороговой логикой (искусственные нейронные сети) и мало пригодны для решения задач вычислительного характера, и, тем более, задач когнитивных вычислений. Технологии для решения задач вычислительного характера на основе математических моделей ЦА с жесткой или программируемой логикой, в том числе и технологии символизма, предполагают наличие полных обучающих наборов данных (полных таблиц истинности) и, соответственно, не решают проблемы когнитивности вычислений.

Предлагается качественно новая концепция моделирования искусственного интеллекта (концепция когнитивных вычислений). Формализация понятия когнитивных вычислений предполагает решение следующих задач:

1. Построение (структурный синтез) математической модели когнитивных цифровых автоматов (КЦА) с самопрограммируемой в процессе обучения и генерации решений логикой.

2. Обучение (синтез логики) математической модели КЦА на ограниченном (минимальном) множестве обучающих наборов (неполных обучающих выборках).
3. Генерация решений (генерация логики) на основе математической модели КЦА, не предусмотренных в процессе обучения, и без заранее заданного алгоритма.

Научная новизна

Научная новизна предлагаемого подхода заключается в математическом определении (формализации) понятия когнитивных вычислений. В качестве фундаментальной основы для решения проблемы формализации понятия когнитивных вычислений предлагаются методы математического моделирования (математическая логика) когнитивных цифровых автоматов (КЦА) [6]. Математическая логика КЦА объединяет в себе двоичную логику, сети Петри и, соответственно, возможность моделирования параллельных вычислений. Важно отметить, что известные методы математической логики (Булева алгебра, исчисление высказываний, исчисление предикатов и т.п.) не обеспечивают адекватности представления КЦА и возможности моделирования когнитивных вычислений.

Комплексная математическая модель КЦА может быть представлена в виде уравнения состояний ингибиторных сетей Петри из класса уравнений Мурата с неявно определяемой (самопрограммируемой) логикой или уравнения состояний КЦА. Возможность представления КЦА в виде уравнения состояний достигается в результате неявного определения логики (неявного определения ингибиторных дуг в матрице инцидентности). Логика (алгоритм) и исходная структура КЦА задаются на минимальном множестве обучающих наборов информационного потока (неполных обучающих выборках). Практически информационный поток конвертируется в математическую модель КЦА для обработки информации этого потока.

Задача построения (структурного синтеза) математической модели КЦА решается в результате структуризации данных информационного потока. В качестве обучающих отбираются (формируются) наборы входных и выходных данных, которые относятся только к одному кластеру (классу). В случае, если такие наборы данных отсутствуют или их недостаточно, в качестве обучающих наборов могут отбираться наборы данных, которые относятся к двум и более кластерам (классам). Важно сформировать минимальное порождающее множество обучающих наборов, на основе которого возможно воспроизведение всего множества наборов данных.

Структурный синтез выполняется на основе кластерного анализа (классификации) обучающих наборов данных. Структурная схема КЦА представляется в виде универсаль-

ной матрицы инцидентности множества структурных связей между компонентами схемы. Наборы данных - в виде вектора разности начальной и конечной разметки уравнения состояний КЦА.

Каждый обучающий набор интерпретируется как вектор разности начальной и конечной разметки на множестве входных и выходных позиций сети. На множестве внутренних позиций сети вектор разности начальной и конечной разметки не определен. Исходная структура определена и представляется в виде матрицы инцидентности. Покрытие сети формируется в процессе синтеза логики структурной схемы КЦА.

Задача обучения (синтеза логики) сводится к исчислению инвариантов уравнения состояний КЦА на ограниченном (минимальном) множестве обучающих наборов. При этом критерий достижимости формируется в процессе исчисления инвариантов. Однородность уравнения состояний достигается на множестве активных структурных связей схемы, полученных в результате регрессионного анализа данных. Множество инвариантов уравнения состояний (покрытие сети) определяет логику КЦА и служит в качестве минимального порождающего множества решений (инвариантов) уравнения состояний КЦА. Логика компонентов схемы задается неявно в виде набора кодов, определяющих логику (логическую функцию) запуска (активизации) компонентов. В отличие от известных методов «синтеза» логика КЦА жестко задана только на множестве активных входов компонентов схемы, что, в свою очередь, и обеспечивает возможность генерации логики или генерации решений (инвариантов), не предусмотренных в процессе обучения.

Задача генерации решений (генерации логики), не предусмотренных в процессе обучения, выполняется на основе реляционного исчисления инвариантов. В процессе реляционного исчисления инвариантов допускаются все возможные комбинации инвариантов, не исключая друг друга.

В реляционном исчислении задается формула реляционного исчисления, которая должна удовлетворять множеству возможных решений. В данном случае формула представляется в виде системы уравнений, заданной на минимальном множестве обучающих наборов.

В качестве исходной информации (критерия) для генерации решений (реляционного исчисления инвариантов) уравнения состояний КЦА служат наборы входных данных информационного потока (вектор начальной разметки). Генерация решений в данном случае сводится к отбору инвариантов, удовлетворяющих вектору начальной разметки уравнения состояний КЦА. Возможность отбора инвариантов (по принципу бегущей единицы) обеспечивает решение проблемы полного перебора. Анализ взаимного влияния инвариантов

выполняется в процессе решения уравнения состояний КЦА исходя из принципа безопасности сетевой модели. В процессе решения уравнения состояний КЦА для комбинации инвариантов, собственно, и достигается эффект когнитивности вычислений.

Воспроизведение алгоритма в процессе когнитивных вычислений (построение протоколов) сводится к итеративному решению уравнения состояний КЦА с заданным вектором начальной разметки для последовательности наборов входных данных информационного потока. Процесс решения уравнения состояний для каждого набора входных данных продолжается до тех пор, пока автомат не перейдет в устойчивое состояние. Практически реализуется принцип управления потоками данных. Формально алгоритм может быть представлен в виде диаграммы переходов и состояний КЦА или диаграммы Мура.

Преимущества

Предлагаемый подход не имеет аналогов и демонстрирует ряд преимуществ по сравнению с известными альтернативными моделями и методами моделирования искусственных нейронных сетей (ИНС):

1. КЦА демонстрирует возможность обучения на неполных обучающих выборках, что подтверждено на примере арифметических и логических операций. Было показано, что с ростом разрядности минимальное количество строк таблицы истинности, необходимое для обучения, растет в среднем практически линейно, в то время как общее количество наборов увеличивается экспоненциально. Для альтернативных моделей ИНС количество обучающих наборов и общее количество наборов соизмеримо и увеличивается экспоненциально. Большое количество обучающих наборов является основной (практически непреодолимой) проблемой альтернативных моделей ИНС.
2. Воспроизведение формулы (алгоритма) обработки информации (генерация решений, не предусмотренных в процессе обучения) достигается в процессе когнитивных вычислений на основе модели КЦА. Альтернативные решения проблемы не известны. В общем случае воспроизведение формулы (алгоритма) обработки информации возможно только в случае наличия полной обучающей выборки (таблицы истинности) для заданной формулы (алгоритма) обработки информации.
3. Точность вычислений. В отличие от альтернативных решений в любом случае достигается заданная точность вычислений. В случае обеспечения возможности формирования минимального порождающего множества обучающих наборов точность вычислений КЦА практически не уступает точности вычислений обычных ЦА.

4. Режим обучения сети «на лету». Запоминание информации выполняется в процессе копирования. Для альтернативных моделей ИНС подобный режим обучения практически невозможен.

3. Возможность дообучения. Дообучение может выполняться до тех пор, пока не будет обеспечена возможность прогнозирования решений.

Заключение

Комплексность и масштаб концепции определяется возможностью имитации когнитивных функций человека (замены человека - оператора) практически в любой сфере деятельности, в том числе: в военно-технической, технологической и социально-экономической. Эффект когнитивности достигается на этапе (в результате) реляционного исчисления инвариантов уравнения состояний КЦА. При этом обеспечивается достижимость не только эффекта когнитивности, но и эффекта сингулярности за счет более высокого быстродействия, большой емкости памяти и точности вычислений. Синергетический эффект достигается в результате обеспечения возможности структурного синтеза (структурной самоорганизации), синтеза и генерации логики (обучения и самообучения). В перспективе когнитивные вычисления могут стать основой (базисом) цифровых технологий, а когнитивный процессор вытеснит процессор фон Неймана.

Список литературы

1. Указ Президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации».
2. Шевчик А.П., Мусаев А.А. Когнитивный вызов: ожидания и свершения // *Известия СПбГТИ(ТУ)*. 2016. №33, с. 84 -90.
3. Каляев И.А. Искусственный интеллект: от метафоры к техническим решениям. // *CONTROL ENGINEERING РОССИЯ. Интеллектуальные технологии*. 2019. №5 (83), с. 26-31.
4. Шумский С.А. ADAM — модель искусственной психики // *Автоматика и телемеханика*. 2022. № 6, с. 24-37.
5. Ульянов С. В., Шевченко А. А., Шевченко А. В. Технологии когнитивных вычислений: модели и алгоритмы // *Системный анализ в науке и образовании: сетевое научное издание*. 2021. № 2, с. 118– 132.
6. Кожевников В. В. Метод математического моделирования когнитивных цифровых автоматов // *Автоматизация процессов управления*. 2019. № 2, с. 101-112.

The concept of cognitive computing

Kozhevnikov, V.V.

vvk28061955@mail.ru

Ul'yanovsk Branch of Institute of Radioengineering and Electronics, Russian Academy of Sciences, Russia

An approach to solving the problem of formalizing the concept of cognitive computing based on a mathematical model (mathematical logic) of cognitive digital automata is proposed. Cognitive computing are one of the main directions of the development of artificial intelligence or a set of technological solutions, which allows imitating the cognitive functions of a person. Despite the widespread, the very concept of cognitive calculations to date does not have a clear definition. The scientific novelty of the concept lies in the mathematical definition (formalization) of the cognitive computing concept.

Keywords: *cognitive computing, cognitive automaton, neural networks, mathematical model, Petri network, states equation, mathematical logic*