

УДК 004.032.26: 004.89: 530.145: 519.7

АНАЛИЗ СВОЙСТВ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА НЕЙРОСЕМАНТИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ

В.И. Бодякин

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65

E-mail: body@ipu.ru

Ключевые слова: нейроподобная структура, нейросемантика, интеллектуальные системы, кубит, коллапс (редукция) волновой функции, запутанные, сцепленные состояния.

Анализируются вычислительные процессы на нейросемантических структурах и сравниваются с обработкой информации в квантовых компьютерах.

THE ANALYSIS OF PROPERTIES OF QUANTUM EVALUATIONS ON NEUROSEMANTIC STRUCTURES / V.I. Bodyakin (Institute of Control Sciences of RAS, 65 Profsoyuznaya, Moscow 117997, Russia)

Keywords: neurosimilar structure, neurosemantic, intellectual systems, qubit, collapse (reduction) of wave function, the entangled states.

The computing processes on neurosemantical structures are analyzed and are compared to handling of the information in quantum computers.

1. Введение

С переходом экономически развитых стран к экономике знаний, все более и более актуальной становится проблема создания эффективного инструментария для работы со слабоструктурированными крупномасштабными потоками информации. Попытки построения необходимого инструментария традиционными процедурными методами, методами искусственного интеллекта и методами классических нейронных сетей не увенчались успехом. В последние годы сильно возрос интерес к тому, что называется «квантовые компьютеры». Идея использования возможностей квантовой механики при организации вычислений выглядит очень привлекательной [1].

Например, для записи всех чисел в квантовое устройство, не превышающих 200 значащих цифр в двоичной системе, понадобится лишь 200 кубитов и всего 200 операций, чтобы записать все 2^{200} чисел. Для классических устройств обработки информации (состояние «0» и состояние «1») эта задача принципиально неразрешима, так как мощность множества в 2^{200} чисел превышает число атомов во Вселенной [1,2].

На сегодня, наиболее актуальная проблема для классических устройств обработки информации, не столько масштабность памяти квантовых устройств, сколько их быстродействие. Когда «классическое» число операций 2^N опускает-

ся в квантовом устройстве из показателя двойки в простое число – N . Это было бы решение всех современных практических переборных задач, перед которыми пасует современная вычислительная парадигма. Но практические перспективы физической реализации квантовых компьютеров пока неясны. Скорее всего, это дело нескольких десятилетий. Основные достижения в этой области носят пока чисто математический характер [2,6].

Все ЭВМ работают с программами представляющих из себя последовательность операций отображаемых битами (переменных, принимающих значения «0» или «1»). Понятно, что размер транзистора или аналогичного элемента не может быть меньше диаметра атома водорода (10^{-8} см), а рабочая частота его переключений – больше частоты атомных переходов (10^8 Гц). И в соответствии с законом Мура и текущими достижениями в миниатюризации микросхем, в ближайшее десятилетие возможности роста производительности ЭВМ выйдут на свой принципиальный естественный предел. Так что даже суперкомпьютеры будущего не смогут решать вычислительные задачи, имеющие экспоненциальную сложность [7,8].

Однако, в природе известны вычислительные операции совершенно непохожие на операции с нулями и единицами, используемые обычными компьютерами. Например, интерференцию света можно использовать для вычисления преобразования Фурье, а биологические нейронные сети оперируют «образами», которые можно представить как цельные неограниченные структуры битов. Парадигма нейронных сетей предоставляет еще и возможность предварительной семантической структуризации будущей задачи, что принципиально может сказаться на требуемом временном ресурсе для ее решения. Особенно предварительная нейросетевая структуризация позволяет существенно сократить вычислительную сложность т.н. «переборных задач», автоматически строя причинно-следственную схему их вычислений.

Таким образом, можно попытаться использовать эти подходы, в частности нейросемантический, для создания квази-аналоговой информационно-управляющей системы (вычислительной машины), для которой, рассматриваемая сегодня как переборная задача 40-ка ходовой шахматной партии и оцениваемая в 10^{120} вычислительных операций, будет практически решаемая в реальном времени (за полиномиальное число шагов). Например, человек, если ослабить требование к точности решения им задачи, также выдает решение любой практической задачи (независимо от ее вычислительной сложности) за сравнимые временные интервалы («обобщенный вычислительный такт») [7,8].

Разрабатываемая вычислительная информационно-управляющая система (ИУС) на базе нейроструктур, аналогично квантовым вычислителям, позволяет существенно снизить требования к числу необходимых вычислительных операций при решении задачи. Это параллель и явилась отправной точкой для проведения анализа свойств «квантовых вычислений» на нейросемантических структурах.

Вторым основанием, для проведения данного анализа, явилась активно разрабатываемая гипотеза о квантовой природе человеческого сознания [3,4,5]. В ее основе лежит предположение, что сознание – это нечто подобное квантовому компьютеру, т.е. представляет собой вполне материальную макроскопическую квантовую подсистему мозга, которая, благодаря своей квантовой природе, способна чрезвычайно эффективно обрабатывать сенсорную и иную информацию, осуществлять сложные логические операции и т.п., то есть выполнять те функции, которые обычно приписывают человеческому сознанию.

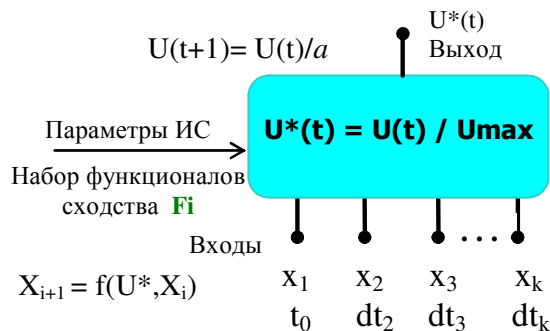
Как показывают психофизиологические эксперименты, построение образа произвольного объекта у человека, включая его категориальное распознавание, осуществляется, в среднем, примерно за 100-180 мсек. За это время мозг должен осуществить колоссальное множество операций с каждой единицей сенсорной информации. Причем эта обработка осуществляется обычно за один «вычислительный такт», в результате чего человек, как правило, сразу воспринимает некий объект, сцену или процесс как целостный и осмысленный образ. Таким же свойством – за один такт осуществлять экспоненциальное множество параллельных операций, обладают и квантовые компьютеры, превосходя мощность классических компьютеров в миллиарды и более раз. Что и является одним из доводов в пользу гипотезы о квантовой природе сознания [3,4].

Другой параллелью сознания и квантовых вычислений является тот факт, что процесс обучения для сознания, также как и процедура считывания результатов обработки информации для квантового компьютера, являются самым «узким местом». Так по оценкам разных авторов, пропускная способность человеческой психики составляет всего от 5 до 70 бит/сек и, в тоже время, человек способен успешно играть в шахматы с числом вариантов более Гугола [8]

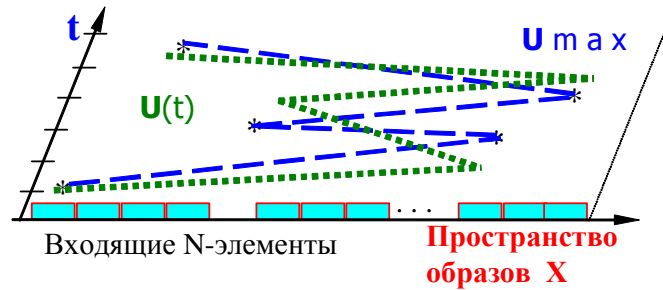
Моделирование на нейросемантических структурах некоторых свойств психики (автоструктуризация, автокластеризация [7,8]), а также выявленная корреляция функционирования нейросемантических структур со свойствами квантовых систем (редукция идентификации), предполагает более детальный анализ их корреляций с целью понимания и возможного моделирования квантовых вычислений.

2. Нейросемантическая среда

Рассмотрим архитектуру нейросемантической среды (НСС), состоящей из нейроподобных N-элементов. N-элемент представляют функциональное расширение понятия формального нейрона Мак Каллока-Питтса (от 1943 г.) [8], вводом в него относительно времени активации входов (см. рисунки 1а и 1б). N-элемент работает в векторном пространстве образов и уже в единственном числе может отражать причинно-следственные процессы реальных физических предметных областей.



а) N-элемент, отражающий причинно-следственные процессы предметных областей.



$$U(t) = F_1(P_1 * X_1(t_0) \oplus P_2 * X_2 \otimes T_2^*(t_2 - t_0) \oplus \dots \oplus P_k * X_k \otimes T_k^*(t_k - t_0))$$

- б) Сравнение пространственно-временных картин при первоначальной активации N-элемента с распознаваемой и вычисление их функционала сходства – $U(t)$.

Рис. 1.

Схемами на базе из N-элементов можно моделировать любые логические схемы, включающие «и», «или», но основное их предназначение, это структурированное хранение подпоследовательностей текстовых форм. Текстовая форма является универсальной для отображения любых форм представления информации. Из N-элементов можно образовать послойные структуры (см. рисунок 2), открывающие возможность иерархического построения памяти.

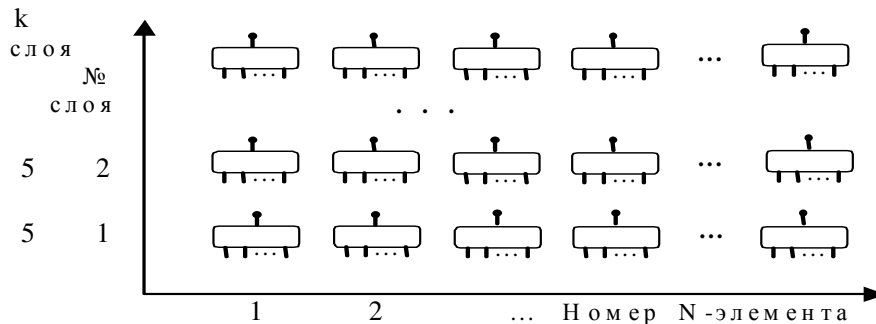


Рис. 2.

Объединив N-элементы в *многодольный иерархический граф*, удалось получить структуру аналогичную естественно-языковым. Первый слой (доля графа) N-элементов – терминальный, фактически отображает *алфавит A* предметной области, второй слой – «*псевдослоги*» и строится на пространственно-временных ссылках на предыдущий (терминальный) слой и отображает *информационное содержание N-элемента*. Слой «*псевдослов*» – ссылается на «*псевдослоги*» и т.д., до самого верхнего N-элемента, отображающего в себе через связи всю предметную область (ПО), см. рисунок 3.

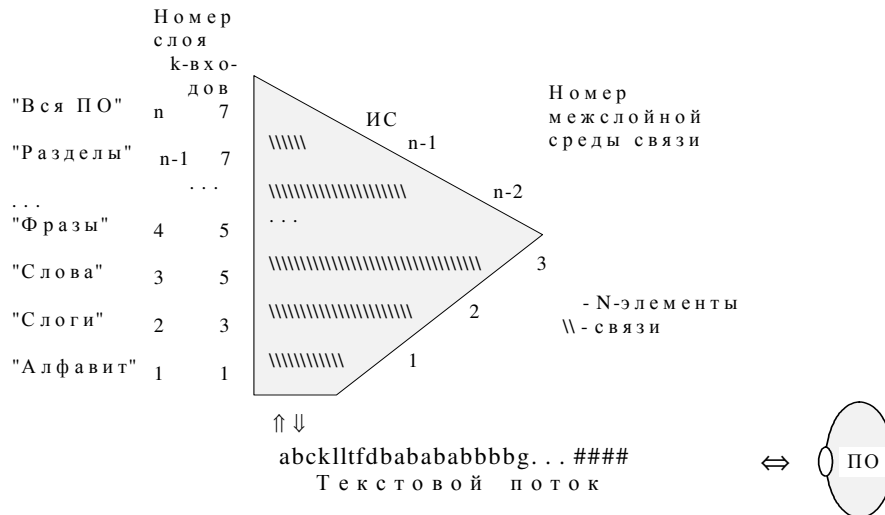


Рис. 3.

2.1. Обобщенный такт нейросемантической среды

Конструктивно N-элементы в слое НСС независимы и функционируют параллельно и ассоциативно. За один такт обрабатываются все активные N-элементы в слое, и за *один обобщенный такт* выполняется послонная ассоциативная обработка текущего символа входной информации по всей НСС. Причем, эксперименты показали, что число обрабатываемых параллельных процессов (активных N-элементов) обычно не превышает 100-200, независимо от общего количества N-элементов в слое. Соответственно, время решения любой задачи идентификации определяется только длиной ее символьной последовательности на входе НСС и длительностью обобщенного такта [7].

Задачи более сложного характера (например, логического типа), первоначально для своего решения требуют нескольких обобщенных тактов. Но алгоритмы НСС, как активной среды, достраивают ее дополнительными подструктурами из N-элементов (аналог обучения), сводя все последующие решения задач (тексты) этого класса к задаче простой ассоциативной идентификации (поиску в памяти) и, в пределе, доводя *число обобщенных тактов до единицы*. Это и есть теоретический предел временных затрат информационных систем на базе на базе нейросемантических структур: «задача – обращение к памяти НСС – ответ».

Характерно, что при данном распараллеливании задач минимизируется не только время, но минимизируются и ресурсы НСС (как суммарное количество задействованных N-элементов и их связей). По достижению этого ресурсного минимума достигается равенство теоретического и практического времени решения задачи. При этом *обобщенный такт НСС ресурсно минимален*. Это естественный путь эволюции оптимизации вычислительных процедур в информационных системах, включая и биологические, например, высших животных и человека.

3. Сравнительный анализ нейросемантических процессов и квантовых вычислений

Задача построения сверхмощных вычислительных устройств сверхактуальна и поэтому, если можно почерпнуть какие-либо методы и приемы из смежных дисциплин, то эту возможность необходимо исследовать. Наша задача будет заключаться в том, чтобы на нейросемантических структурах (НСС) продемонстрировать свойства квантовых вычислительных систем, как наиболее перспективных вычислительных устройств будущего, с целью понимания и возможного моделирования квантовых вычислительных устройств.

3.1. Бит, кубит и N-элемент

Нам хорошо известен классический бит, реализованный как макрофизический элемент компьютерной техники (триггер) с двумя состояниями: «да/нет».

Квантовый бит, или кубит (qubit) рассматривается как суперпозиция двух состояний: $|0\rangle$ и $|1\rangle$ (например, элементарная частица со спином $1/2$). Волновая функция Ψ кубита с условием нормировки записывается как:

$$\psi = a|0\rangle + b|1\rangle, \quad |a|^2 + |b|^2 = 1.$$

Состояние микрочастицы задает волновая функция ψ , являющаяся комплексной величиной. Она конечна, однозначна и непрерывна вместе со своей первой производной. Физический смысл имеет комплексное сопряжение волновой функции ψ^2 , описывающее плотность вероятности распределения частицы в пространстве.

N-элемент – макрофизическая система с тремя состояниями: «пассивное/полуактивное/ активное», см. рис. 1. Состояние N-элемента вычисляется одним из функционалов сходства НСС между пришедшим на N-элемент рецептивным пространственно-временным сигналом (функцией) и эталонной пространственно-временной функцией N-элемента, записанной в момент его формирования. Пространственно-временная функция N-элемента является комплексной величиной.

Таким образом, N-элемент функционально гораздо ближе к кубиту, чем к классическому биту.

3.2. Слой, иерархия слоев N-элементов и квантовый регистр

Квантовый компьютер – это система из n кубитов (квантовый регистр):

$$2 \text{ кубита: } \psi = a|00\rangle + b|01\rangle + c|10\rangle + d|11\rangle = \sum_{x=0}^3 A_x |x\rangle$$

$$n \text{ кубитов: } \psi = \sum_{x=0}^{2^n-1} A_x |x\rangle$$

Квантовому компьютеру доступны следующие операции:

1. Каждый кубит может быть подготовлен в некотором известном состоянии $|0\rangle$. Возможность избирательного воздействия на пару квантовых битов. (Возможно, потребуется несколько типов воздействия на одну и ту же пару, описываемых различными унитарными операторами).
2. Каждый кубит может быть измерен на базисе $\{|0\rangle, |1\rangle\}$.

3. По желанию к любому подмножеству кубитов может быть применен универсальный квантовый гейт (унитарные преобразования).
4. Кубиты не испытывают никаких иных воздействий (должны быть изолированы друг от друга и от окружающей среды).

Концепция квантового регистра для квантовой обработки информации основана на ансамбле спинов, находящемся в запутанном состоянии, которые рассматриваются как кубиты.

Упрощённая схема вычисления на квантовом компьютере выглядит так: берется система кубитов, на которой записывается начальное состояние. Затем состояние системы или её подсистем изменяется посредством базовых квантовых операций. В конце измеряется значение квантового регистра, и это результат работы компьютера. Фактически вычисления на квантовом компьютере осуществляются за один такт, и практически мгновенно, если не учитывать процесса записи начального состояния в квантовый регистр [9].

Слой в НСС формируются как система ассоциативно упорядоченных N -элементов (отсутствует дублирование образов), что можно считать аналогом запутанных состояний квантовых кубитов в квантовом компьютере.

Основной процесс, решаемый в НСС – это задача идентификации, приводящая к активации одного из N -элементов слоя. Т.к. N -элементы в слое вычислительно независимы, то их обработка может осуществляться параллельно. На практике, это означает – длительность «обобщенного такта», что на крупномасштабных задачах может расцениваться как – «мгновенно».

При обработке информации в слое N -элементов проявляются еще три аналогии с квантовыми вычислениями:

1. ассоциативность – запутанные состояния;
2. активация одного N -элемента в слое НСС – коллапс (редукция) волновой функции;
3. параллельность вычисления – практическая «мгновенность» вычисления.

Заключение

Разработка устройств квантовой обработки информации представляет собой новую и бурно развивающуюся область нанотехнологий. Принципиальных препятствий для реализации квантового компьютера нет. Однако для его практической реализации необходимо удовлетворить почти несовместимым требованиям: изолированность и одновременно избирательная чувствительность кубитов. Одним из решений устойчивости квантовых вычислений является гибридная система, сочетающая классические и квантовые принципы [9].

Среди других проблем реализации квантовых вычислений можно отметить, что для конкурентоспособности с современным суперкомпьютером необходим регистр с числом кубитов в $n > 10^3 - 10^5$. Современный же уровень технологий предлагает только $n = 2$. К тому же, уже при $n > 3$ возникают сомнения в общей работоспособности квантового регистра. Также можно отметить пока ограниченное число алгоритмов для квантовых вычислений [3].

Вообще, сложность задачи по созданию квантового компьютера, некоторые авторы оценивают, как решение проблемы термоядерного синтеза [3]. И здесь

нейросемантическая интерпретация некоторых свойств квантовых вычислений может быть очень полезна. К тому же, являясь макросистемой НСС, может стать основой гибридного квантового компьютера.

Список литературы

1. Нильсен М. Квантовые вычисления и квантовая информация: пер. с англ. / М. Нильсен, И. Чанг. – М.: Мир, 2006. – 824 с.
2. Квантовые вычисления: за и против. Под ред. В.А. Садовниченко. – Ижевск: Издательский дом «Удмуртский университет», 1999. – 212 с.
3. Менский М.Б. Квантовая механика, сознание и мост между двумя культурами// Вопросы философии №6, 2004;
4. Пенроуз Р. Новый ум короля. О компьютерах, мышлении и законах физики - М.: Едиториал УРСС, 2003. -384 с.
5. Цехмистро И.З. Поиски квантовой концепции физических оснований сознания. –Харьков: ХГУ, 1981. - 275с.
6. Холево А. «Квантовая информатика: прошлое, настоящее, будущее», В мире науки, №7, 2008г.
7. Бодякин В.И. Определение понятия «информация» и «знание» с позиций нейросемантики. М.: ИПУ РАН. 2006 http://www.mtas.ru/search_results.php?short_view=0&publication_id=3033
www.mtas.ru/Library/uploads/1168460706.pdf
8. Бодякин В.И. Куда идешь, человек? (Основы эволюциологии. Информационный подход). - М. СИНТЕГ, 1998, 332с. <http://www.ipu.ru/stran/bod/monograf.htm>
9. <http://ru.wikipedia.org/wiki/>