

УДК 004.25; 004.27: 004.382.2

Ю. С. ЯКОВЛЕВ

Институт кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины, Киев

НОВЫЕ ПАРАДИГМЫ ПОСТРОЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ

Аннотация. Предложен фрагмент схемы онтологии перехода к новым парадигмам построения компьютерных систем, в которой выявлена взаимосвязь новых парадигм линий развития архитектур, технологии создания элементной базы компьютерных систем и парадигм развития информационных технологий. Кратко рассмотрены основные направления развития архитектур ЭВМ и элементной базы, принципы работы которой основаны на различных физических процессах и явлениях в областях нанотехнологий.

Ключевые слова: онтология, вычислительная парадигма, нанотехнологии, архитектура компьютерных систем, элементная база.

Анотація. Запропоновано фрагмент схеми онтології переходу до нових парадигм побудови комп'ютерних систем, в якій виявлено взаємозв'язок нових парадигм ліній розвитку архітектури, технології створення елементної бази комп'ютерних систем і парадигми розвитку інформаційних технологій. Стисло розглянуті основні напрями розвитку архітектури ЕОМ і елементної бази, принципи роботи якої засновані на різних фізичних процесах і явищах в областях нанотехнологій.

Ключові слова: онтологія, обчислювальна парадигма, нанотехнології, архітектура комп'ютерних систем, елементна база.

The summary. The scheme fragment ontology transition to new paradigms of construction of computer systems, in which the interrelation of new paradigms of lines of development of architecture is revealed, is offered technology of creation of element base of computer systems and a paradigm of development of information technologies. The basic directions of development of architecture of the computer and the element base which principles of job are based on various physical processes and the phenomena in areas nanotechnology are is short considered.

Keywords: ontology, a computing paradigm, nanotechnology, architecture of computer systems, element base.

Введение

Определяющими факторами развития информационных технологий, являются социально-экономические потребности общества. На каждом этапе развития человеческого общества рост трудоемкости, сложности и количества задач, подлежащих решению с помощью средств вычислительной техники, как правило, опережают возможности имеющейся средств, что приводит к необходимости поиска новых архитектурно-структурных решений и новых парадигм организации вычислительного процесса. К таким задачам относятся задачи государственного стратегического значения, необходимость решения которых в текущий момент времени не вызывает сомнений.

Существенный вклад в развитие вычислительных средств обычно вносили технологические решения, при этом основополагающей характеристикой нового поколения вычислительных систем являлась элементная база, так как переход на новую элементную базу всегда способствовал улучшению показателей производительности и надежности вычислительных систем.

Актуальность

В настоящее время практически во всех средствах вычислительной техники используется твердотельная элементная база, выполненная в виде больших интегральных схем (БИС), технологический размер элементов при создании которых достиг порядка 0,1 мкм за счет использования современных технологических решений. Однако дальнейшая миниатюризация элементов ограничена физическим барьером. Проектная норма 0,05 – 0,1 мкм (50-100 нм) - это нижний предел твердотельной микроэлектроники, основанной на классических принципах синтеза схем, так как при меньших размерах начинают проявляться эффекты квантовой связи, в результате чего твердотельное устройство становится системой, действие которой основано на коллективных электронных процессах [1 – 3]. Современные полупроводниковые компьютеры скоро исчерпают свой потенциал, и даже при условии перехода к трехмерной архитектуре микросхем их быстроедействие будет ограничено (предполагается до значения 1015 операций в секунду). Независимо от указанных выше факторов, а также от уровня потребляемой мощности вычислительной техникой, выполненной на базе кремния, и достигнутого технологического предела уменьшения размеров элементов на кристалле БИС, кремниевая элементная база все еще может быть использована в течение нескольких лет. В предверии окончания кремниевой эпохи, весьма актуальной становится проблема поиска новых парадигм построения элементной базы, вычислительных средств и систем на её основе. В этом плане проводятся активные исследования в области нанотехнологий в следующих направлениях: молекулярная электроника; биохимические и органические элементы; квазимеханические элементы на основе нанотрубок; квантовые компьютеры, нейрокомпьютеры и др.

Цель

На основе анализа современного состояния и перспектив развития компьютерных систем, элементной базы и информационных технологий определить их взаимосвязь и стратегию перехода к новым вычислительным парадигмам, обеспечивающим существенное повышение производительности компьютерных систем за счет перехода от микротехнологий к нанотехнологиям при создании элементной базы и компьютерной системы в целом.

Постановка задач

1. Исследовать перспективы развития архитектур современных ЭВМ и компьютерных систем.
2. Исследовать особенности элементной базы, принципы работы которой основаны на
3. применении молекулярной электроники, биохимических и органических элементов,
4. квантовых процессов, нейросетей и др. Определить научно-технические проблемы, которые
5. необходимо решить при создании нанокomпьютеров на перспективной элементной базе.
6. Определить взаимосвязь между процессами поиска новых парадигм создания перспективной элементной базы и организации перспективных архитектур ЭВМ и систем, используя при этом онтологический подход.

Решение задачи

Нанотехнологии – это технологии, оперирующие величинами порядка нанометра. Это технологии манипуляции отдельными атомами и молекулами, в результате которых создаются структуры сложных спецификаций. Переход от “микро” к “нано” – это уже не количественный, а качественный переход, скачок от манипуляции веществом к манипуляции отдельными атомами.

На рис.1 представлен фрагмент схемы онтологии поиска новых парадигм для обеспечения требуемых характеристик ВТ, необходимых для решения пользовательской задачи. При этом символы “О”, “&”, вписанные в малые кружки, соответственно означают: “&” – реализация функции “И” между всеми объектами (событиями) в точке их соединения или переход одновременно ко всем объектам (событиям) в точке их разъединения; символ “О” обозначает функцию “ИЛИ” при переходе от общей линии в точке их разъединения одновременно к одному или нескольким объектам (событиям) или в точке соединения объектов – переход от одного или нескольких объектов к общей линии.

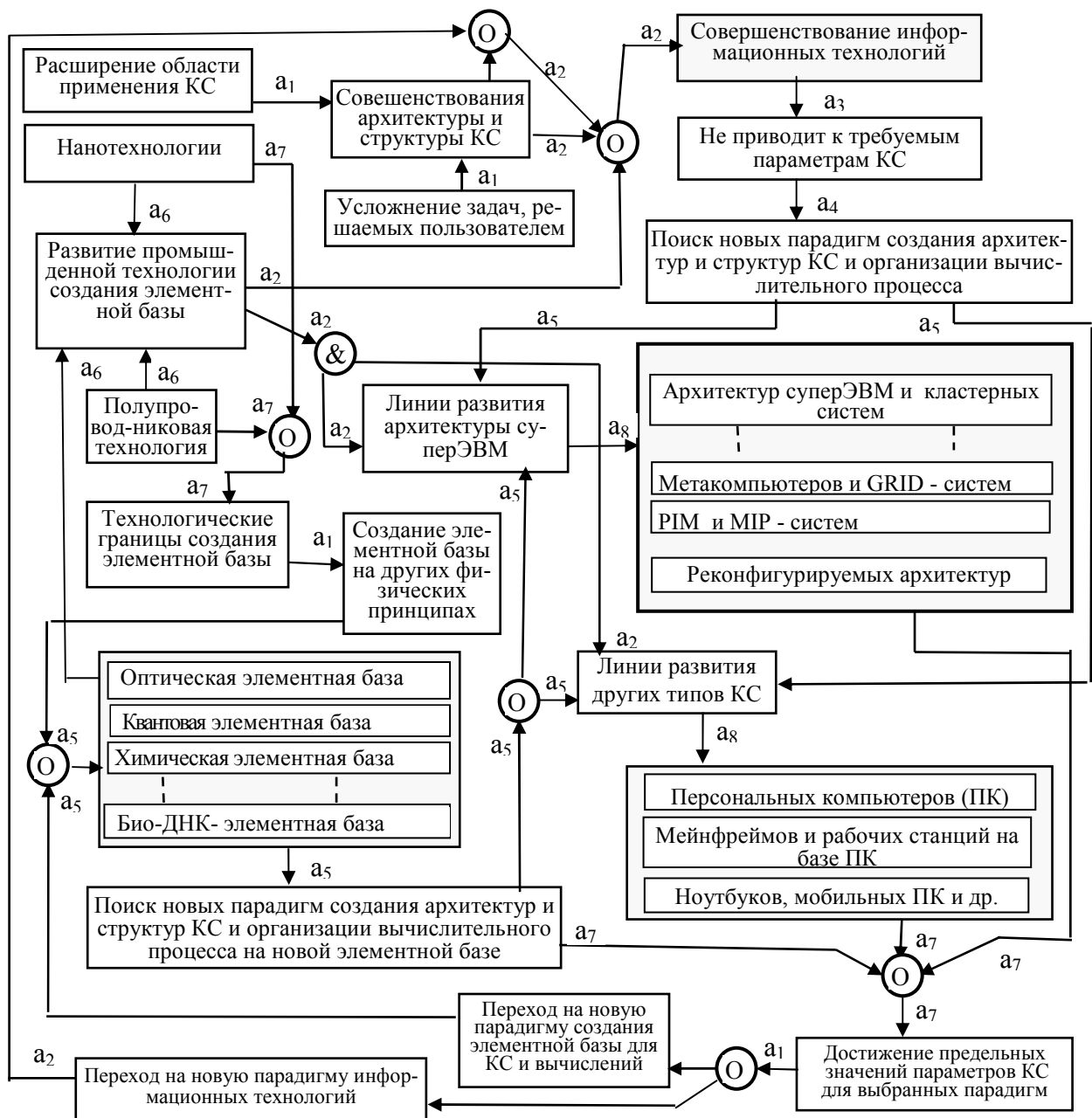
Если же при выбранной парадигме организации вычислительного процесса не удастся обеспечить требуемые для решения задачи характеристики ВТ, то переходят на поиск новой парадигмы создания элементной базы, отличающейся от полупроводниковой другими физическими принципами и явлениями. Речь идет об использовании особенностей оптических, квантовых, химических, биологических и других явлений, приспособляемых для организации вычислительных процессов.

Если для выбранной новой парадигмы создания элементной базы все научно-технические проблемы создания ВТ решены, то так же, как и в предыдущем случае, анализируют линии развития средств, выполненных уже на новой элементной базе, с целью определения соответствующей парадигмы архитектурно - структурной организации, которая могла бы обеспечить требуемые технические характеристики ВТ. Если и при этом выходят на предельные значения параметров ВТ, которые не удовлетворяют требованиям со стороны задач пользователя, то изменяют парадигму информационной технологии, и точно также проходят цикл анализа линий развития ВТ, но уже с учетом новой элементной базы, пока не будут обеспечены необходимые технические параметры.

Анализ архитектур различных классов показал, что основные перспективные научно-технические решения, как правило, апробируют при создании супер-ЭВМ и, спустя некоторое время, затем их переносят на другие классы ЭВМ и систем. Например, персональные компьютеры (ПК) в настоящее время имеют те же характеристики, что и супер-ЭВМ примерно 13 лет назад. С другой стороны, переход в область нанотехнологий позволяет не только повысить производительность супер-ЭВМ, но и существенно уменьшить её размеры, что как раз согласуется с тенденцией развития ПК. Поэтому, в данной работе мы остановимся на линии развития супер-ЭВМ и ПК, выделяя при этом особенности построения элементной базы, основанной на новой парадигме, которая и по назначению, и по своим особым свойствам как раз и соответствует линии развития этих классов машин. Что касается линий развития машин других классов (серверов, майнфреймов и др.), то они обычно строятся на базе ПК или супер-ЭВМ, и поэтому здесь не рассматриваются.

Линии развития ЭВ и систем. Можно выделить следующие основные линии их развития: кластерные системы; метакомпьютеры и GRID-системы; персональные ЭВМ, а также мобильные компьютеры типа ноутбуков и карманных персональных компьютеров; супер-ЭВМ, основанные на использовании новой машинной алгебры (например, алгебры матриц, рядов Фурье и др.); знание-ориентированные и онтологоуправляемые компьютерные системы; распределенные компьютерные системы типа “Процессор-в-памяти” (“Processor-in-Memory”(PIM-системы)), “Память-в-процессоре (“Memory-in-processor” (MIP - системы)); линии развития образного компьютера; искусственного интеллекта; реконфигурируемых компьютерных систем; линия развития специализированных средств обработки информации и др. [4]

Достигнутая степень интеграции позволяет строить параллельные системы, в которых число процессоров может достигать десятки и сотни тысяч. Отмечено, что в области повышения производительности вычислительных систем резерв технологических решений ограничивается одним порядком. Освоение же массового параллелизма и новых архитектурных решений содержит резерв повышения производительности на несколько порядков.



Обозначения: a_1 – определяет; a_2 – обеспечивает; a_3 – не приводит к требуемым результатам; a_4 – является причиной; a_5 – определяет объект поиска; a_6 – входит в состав; a_7 – достигает; a_8 – включает.

Рисунок 1 – Фрагмент схемы онтологии перехода к новым парадигмам при создании КС

Одним из факторов, влияющих на архитектуру высокопроизводительных вычислительных систем, является взаимозависимость архитектуры и алгоритмов решаемых задач. Такая взаимозависимость выступает стимулом для поиска алгоритмов, наилучшим образом соответствующих возможным формам параллелизма на уровне аппаратуры.

Одним из способов дальнейшего повышения производительности вычислительной системы является объединение суперкомпьютеров в кластеры при помощи оптоволоконных соединений.

Линия развития персональных компьютеров. Персональный компьютер (ПК) представляет собой наиболее развитый вид микропроцессорных систем. Применительно к ПК можно выделить следующие семейства, отличающиеся, в основном, назначением использования: офисные (настольные), рабочие станции, майнфреймы, серверы и мобильные (переносные) типа ноутбук, карманных ПК (КПК).

В среднем по уровню производительности сегодняшние профессиональные ПК практически соответствуют суперкомпьютерам 13-летней давности. Именно поэтому исследование рынка высокопроизводительных вычислений — хороший способ оценить направление развития массовых компьютеров будущего.

Сейчас происходит трансформация парадигмы компьютерных вычислений: раньше ее центром был компьютер, а теперь им становится человек, при этом вычисления становятся по-настоящему персональными. Пользователя сегодня окружают самые разные электронные устройства и приложения. Ему необходимо обеспечить доступ к нужным сервисам и приложениям везде, в любой момент времени и с любых устройств.

Существенные моменты новой компьютерной парадигмы - это вовлечение пользователей в работу с компьютером, делая ее простой и удобной; согласованная работа различных формфакторов и гарантированная защита всех устройств. Возрастает спрос на интернет-планшеты. Они меньше ноутбука, обеспечивают функции сотового телефона, Wi-Fi-доступ, имеют полноцветный сенсорный экран, а также обширный набор приложений и смогут удовлетворить потребности даже самого привередливого пользователя. Беспроводные домашние сети окажутся в выигрышном положении: для быстрого просмотра интернет-ресурсов, интернет-планшеты дома могут оказаться даже удобнее, чем телефон или компьютер.

Мнение других утверждает, что будущее ПК лежит, прежде всего, в расширении его коммуникационных возможностей. А поскольку они ассоциируются с беспроводной связью и мобильностью, то конечным результатом трансформаций настольного компьютера может стать и такое устройство, как «портативный мобильный коммуникатор», которое может комбинировать в себе бытовые электронные приборы: КПК и беспроводной телефон, видео-конференц-связь и аудио MP3-плеер, терминал для Интернет-доступа и электронной почты, цифровую камеру и др.

Сегодня карманные компьютеры именуется суперпортативными компьютерами или персональными электронными помощниками (Personal Digital Assistant, PDA). PDA имеют существенные положительные свойства, которые в будущем можно будет использовать. Среди них следует выделить [5]: наличие практически во всех современных карманных компьютерах цветного экрана; достаточно высокая для такого класса компьютеров производительность; приближение клавиатуры к оптимальному для быстрого ввода размеру, распознавание рукописного ввода, а также возможность рисовать на экране "электронными чернилами"; возможность поддержки доступа в локальную и глобальную сеть через сетевые карты Ethernet, что дает возможность использовать высокоскоростной доступ к информационной сети; поддержка некоторыми моделями карманных компьютеров универсального порта USB, что позволяет подключать к КПК многие периферийные устройства.

Прогнозируя обозримое будущее персональных компьютеров, невозможно обойти вниманием и тот многообещающий потенциал, что несут в себе биомолекулярные, квантовые и другие вычислители, построенные на новых физических принципах и явлениях.

Переход на новую парадигму создания элементной базы для перспективных компьютерных систем. Одновременно с совершенствованием полупроводниковой технологии, которая все же будет занимать доминирующее положение еще несколько десятков лет, выполняется комплекс научных исследований, инженерно-технических и технологических решений в области создания элементной базы, использующей (в отличие от полупроводников) другие физические среды, процессы и явления: оптические, квантовые, биологические, химические и др. Основные свойства таких компьютеров приведены в таблице 1 [1 – 3].

Молекулярная схемотехника и молекулярные компьютеры. Это устройство, в котором вместо кремниевых чипов, применяемых в современных компьютерах, работают молекулы и молекулярные ансамбли. На основе уникальных свойств органических молекул разработано множество вариантов схем для гипотетического молекулярного компьютера. В качестве триггеров удобнее всего использовать молекулы, которые обладают одинаковой молекулярной массой и составом, но различаются строением или расположением атомов в пространстве. Некоторые из них можно переводить из одной формы в другую путем внешнего воздействия, например, с помощью ультрафиолетового излучения либо с помощью света видимого диапазона. На основе такого триггера можно строить как устройства оперативной памяти, так и элементы, выполняющие логические функции.

Набор необходимых базовых элементов молекулярного компьютера можно объединить в единый вычислительный комплекс с помощью методов химического синтеза, химически соединяя "выходы" одних логических элементов с "входами" других. Теоретически можно соединить отдельные молекулярные компоненты "проводами", например, из так называемых углеродных нанотрубок – цилиндрических структур диаметром несколько нанометров – или из токопроводящих полимеров, называемых иногда «органическими металлами».

Таблица 1 – Основные свойства нанокomпьютеров

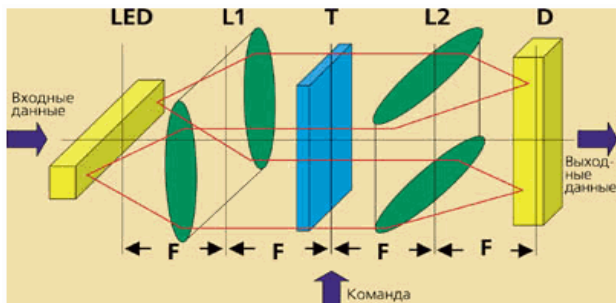
Тип компю-тера	Носитель информа-ции:	Основной принцип организации вычислительного процесса
Молекуляр-ные компью-теры	молекулы и молеку-лярные ансамбли	Это наноразмерная двухбитовая система, воспроизводящая на молекулярном уровне функцию триггера. Переключение моле-кулы из одного состояния в другое осуществляют с помощью электрического, магнитного полей, света, химических агентов и др.
Квантовые компьютеры	квантовые частицы, образующие кванто-вый бит – qubit (ку-бит),	Кубит имеет два базовых состояния – 0 или 1 и состояние суперпо-зиции. Кубиты формируют в полупроводниковых структурах, в органических веществах и др. Смена состояний – согласно зако-нам квантовой механики под действием электромагнитного поля.
Оптические компьютеры	оптическое излуче-ние на всех этапах обработки и переда-чи информации	Два состояния световой волны, отличающиеся амплитудой и (или) параметрами поляризации, соответствуют изменению интенсивно-сти луча света, прошедшего через вещество: увеличение интен-сивности падающего луча приводит к резкому возрастанию интен-сивности выходного луча; при уменьшении – интенсивность про-шедшего луча резко падает.
Нейроком-пьютеры	искусственные ней-роны (нейро-чипы) и нейро-ноподобные связи	Алгоритм решения задачи реализуют с помощью нейронных сетей, моделирование которых выполняют как программно на ЭВМ, так и программно-аппаратно на цифровых СБИС. Обладают свойствами параллельной обработки информации, способностью к обучению и высокой помехо - и отказоустойчивостью.
ДНК-компьютеры	нуклеотиды ДНК, выстраиваемые в строго определен-ной последователь-ности. Машинный код представляют с помощью различных состояний этих нук-леотидов	Информация, закодированная на ДНК, используется для выполнения молекулярных процессов при построении компьютеров. Особен-ностью схем являются масштабируемость и автономность само-стоятельной сборки процессов, связанных с наномасштабом моле-кул ДНК. Метод ДНК позволяет одновременно сгенерировать все возможные варианты решений с помощью известных биохимиче-ских реакций. Далее необходимо выделить молекулу-нить, в кото-рой закодирован нужный ответ.
Химические компьютеры	индивидуальные «клетки», состоящие из липидов, искус-ственно внедренных в органическую среду и способные пере-носить химические сигналы внутри мо-лекул.	Данные кодируются химическими свойствами веществ (концен-трация, цвет, кристаллическая структура и т. д.), а вычислитель-ные процессы протекают в виде химических реакций, в результа-те которых периодические изменяются параметры – концентрация, температура, цвет и другие, что позволяет клеткам «общаться» между собой и передавать информацию. Работает «химический компьютер» от электричества, но все изменения происходят вследствие химических процессов.

Квантовые компьютеры работают на основе квантовой логики. Свойство квантовых частиц одно-временно пребывать в разных состояниях, именуют квантовым параллелизмом, который и используется в квантовых вычислениях. Для квантовых компьютеров, как и для классических, были введены элемен-тарные логические операции: дизъюнкция, конъюнкция и квантовое отрицание, при помощи которых организована вся логика квантового компьютера.

Квантовые компьютеры могут быть созданы путем синтеза новых идей в математике, физике, ин-форматике и нанотехнологии.

Оптические компьютеры. Оптическая бистабильность - это одно из проявлений взаимодействия света с веществом в нелинейных системах с обратной связью, при котором определенной интенсивности и поляризации падающего на вещество излучения соответствуют два (аналог 0 и 1 в полупроводниковых системах) возможных стационарных состояния световой волны, прошедшей через вещество, отличающихся амплитудой и (или) параметрами поляризации. Набор полностью оптических логических уст-ройств для синтеза более сложных блоков оптических компьютеров реализуется на основе пассивных нелинейных резонаторов-интерферометров. В зависимости от начальных условий (начального положен-ния пика пропускания и начальной интенсивности оптического излучения) в пассивном нелинейном резонаторе, нелинейный процесс завершается установлением одного из двух устойчивых состояний про-пускания падающего излучения. А из нескольких нелинейных резонаторов можно собрать любой, более сложный логический элемент (триггер). Элементы памяти оптического компьютера представляют собой полупроводниковые нелинейные оптические интерферометры, в основном, созданными из арсенида галлия (GaAs). Минимальный размер оптического элемента памяти определяется минимально необходи-мым числом атомов, для которого устойчиво наблюдается оптическая бистабильность. Это число состав-ляет ~1000 атомов, что соответствует 1-10 нанометрам.

К настоящему времени уже созданы и оптимизированы отдельные составляющие оптических компьютеров – оптические процессоры, ячейки памяти, однако до полной сборки еще далеко. На рис.2 показан пример построения оптического функционального блока для реализации матричного преобразования входного вектора-строки в выходной вектор-столбец.



Обозначения на схеме : LED - линейка световых излучающих диодов; L1-цилиндрическая линза; T - оптический транспарант с записанной на нем матрицей пропускания $T(i, j)$; L2 – цилиндрическая линза, образующая которой параллельна столбцам матрицы транспаранта; D -линейный фотоприемник

Рисунок 2 – Упрощенная схема оптического функционального блока для реализации матричного преобразования входного вектора-строки в выходной вектор-столбец

В нейрокомпьютерах алгоритм решения задачи представлен логической сетью элементов - нейронов. На рис.3 представлен биологический нейрон, а на рис.4 – его модель. Нейроны имеют состояния 0, 1 и пороговую логику перехода из состояния в состояние. Каждый нейрон в сети определяет взвешенную сумму состояний всех других нейронов и сравнивает ее с порогом, чтобы определить свое собственное состояние.

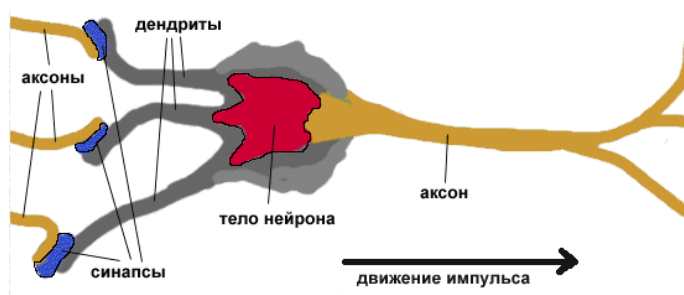


Рисунок 3 – Биологический нейрон

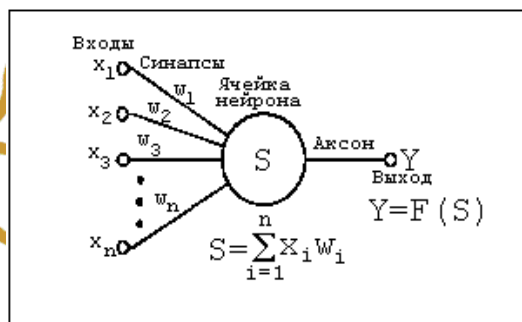


Рисунок 4 – Математическая модель нейрона

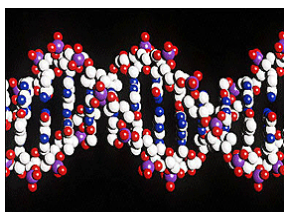


Рисунок 5 – Модель молекулы ДНК

Как следствие этого введены специфические связи между элементами. В отличие от классических КС нейрокомпьютеры реализуют алгоритмы решения задач, представленные в виде нейронных сетей. Такие сети функционально ориентированы на конкретный алгоритм решения конкретной задачи, поэтому для решения задач разного типа требуется нейронная сеть разной топологии. Нейрокомпьютеры можно строить на базе нейрочипов. Возможна эмуляция нейрокомпьютеров (моделирование) - как программно на ЭВМ, так и программно-аппаратно на цифровых супербольших интегральных схемах. Достоинства нейрокомпьютеров - параллельная обработка информации и способность к обучению *Био-ДНК-компьютеры* [1 - 3]. На рис.5 показана модель молекулы ДНК.

Ученым удалось реализовать логические вентили, выполняющие различные логические функции, в частности функцию исключающего ИЛИ. Ключевыми элементами выступали комплементарные нити ДНК – то есть нити определенных последовательностей, которые образуют друг с другом прочное соединение. Например, биологическая информация кодируется нуклеотидами аденином, тимином, цитозином и гуанином (А, Т, С, G), выстраиваемыми в строго определенной последовательности. Идея ДНК-компьютера заключается в представлении двоичного машинного кода как раз с помощью различных состояний этих нуклеотидов. Теоретически развитие этой работы может привести к созданию компьютера из ДНК, способного выполнять элементарные арифметические операции — сложение и вычитание. Исключительное свойство ДНК — способность одиночных цепей к «взаимоузнаванию». Привлекательное для компью-

терной области свойство ДНК – невероятная плотность хранимой информации и низкая потребляемая мощность, а значит перегрев биокомпьютерам не грозит. Некоторые из особенностей такой вычислительной схемы являются масштабируемость и автономность самостоятельной сборки процессов, связанных с нано-масштабом молекул ДНК. Метод ДНК позволяет сразу сгенерировать все возможные варианты решений с помощью известных биохимических реакций. Затем возможно отфильтровать именно ту молекулу-нить, в которой закодирован нужный ответ.

Химические компьютеры. Для создания химического компьютера потребуются 2 платформы. Первая – «индивидуальные клетки» – органические вычислительные системы, состоящие из липидов, способных переносить сигналы внутри молекул. Вторая платформа – внутриклеточный состав, который проводит химические реакции, протекающие в колебательном режиме. В результате этих реакций периодически изменяются параметры – концентрация, температура, цвет и другие, что позволяет клеткам «общаться» между собой и передавать определенную информацию. Работать «химический компьютер» будет от электричества, но все изменения будут происходить вследствие химических процессов.

Схемотехника и архитектура нанокomпьютеров. Примеры первых наиболее успешных экспериментов показали, что основу вычислительной среды будущего нанокomпьютера будет составлять регулярная, для начала – двумерная, матрица, образованная нанотранзисторами размером 2 – 10 нм. [6]. При этом молекулярно-кластерными методами можно будет создавать наиболее мелкие элементы схем, требующие высокого пространственного разрешения порядка 0,5 – 1 нм, недоступного для литографии.

Несмотря на то, что основные рабочие элементы разрабатываемых нанотранзисторов имеют некремниевую основу, уже имеется проработка технологии их изготовления с системной интеграцией на кремниевой подложке. В частности, базовый кремниевый кристалл может быть использован для создания интерфейсного обрамления наночипа в стандарте TTL. К тому времени, когда рынок электроники будет наполнен устройствами мезоэлектроники с разрешением 20–30 нм (примерно через десять лет), должны появиться первые экспериментальные образцы универсальных программируемых молекулярно-кластерных и спинтронных чипов с кремниевым интерфейсным TTL - обрамлением. Все это выглядит вполне реальным, так как базисные логические функции типа ИЛИ-НЕ на основе углеродных нанотрубок уже изготовлены и испытаны.

В свою очередь, на их основе можно будет создавать нанопроцессоры, наночипы памяти и полнофункциональные однокристалльные нанокomпьютеры. По своему разнообразию мир нанокomпьютеров будет необычайно широк [7 – 10]. Нанокomпьютеры минимального размера в несколько микрон смогут содержать сотни тысяч транзисторов. Однокристалльные нанокomпьютерные гиганты с размером кристалла порядка дюйма будут содержать уже триллионы транзисторов. Для обеспечения их работы на предельной частоте порядка 1000 ГГц понадобятся специальные меры по снижению ландауэровского тепловыделения.

Среди разрабатываемых в настоящее время нейроБИС выделяются модели фирмы Adaptive Solutions (США) и Hitachi (Япония). НейроБИС фирмы Adaptive Solutions, вероятно, станет одной из самых быстродействующих: объявленная скорость обработки составляет 1,2 млрд. соединений/с. (НС содержит 64 нейрона и 262144 синапса). НейроБИС фирмы Hitachi позволяет реализовать НС, содержащую до 576 нейронов. Эти нейроБИС, несомненно, станут основой новых нейрокомпьютеров и специализированных многопроцессорных изделий.

На сегодняшний день предложены варианты конструкции квантовых компьютеров на основе квантовых точек и сверхпроводящих переходов. Более того, есть заявления коммерческих организаций о создании реальных процессоров на базе кубитов, например, компьютер «Ogion». Он основан на микросхеме, содержащей 16 «кубитов».

Выполнение унитарных логических операций над элементами в квантовых компьютерах предполагается осуществлять с помощью соответствующих внешних воздействий, которыми управляют классические компьютеры.

Уже предложена новая архитектура будущего суперкомпьютера - гибридно-технологическая многопоточная архитектура (Hybrid Technology Multithreaded Architecture, НТМТ), в основе которой лежит использование нетрадиционных технологий ("гибридность") и расщепление параллельных процессов на более мелкие независимые фрагменты: потоки и нити ("многопоточность"). За новым петафлопсным суперкомпьютером закрепился термин "гиперкомпьютер" [11]. Важнейшей коммуникационной артерией гиперкомпьютера является широкополосная оптическая многоступенчатая пакетная сеть. Эта сеть, соединяет друг с другом все банки динамической и статической полупроводниковой памяти. Еще одна оптическая компонента гиперкомпьютера - голографическая память. Один кристалл голографической памяти будет вмещать 1 Гигабайт информации, которая может быть считана или записана в виде одномегабайтных страниц.

Основные проблемы создания нанокomпьютеров. Если выделить эти проблемы в качестве доминирующих по различным видам нанокomпьютеров, то получим следующую картину.

Если рассматривать оптическую связь между элементами, то в системе одна молекула - один фотон надежность переключения будет невелика из-за относительно малой вероятности перехода молекулы в возбужденное состояние. Кроме того, элемент должен однозначно переключаться в требуемое состояние и находиться в нем достаточно долго – до следующего воздействия. Для сравнительно простых молекул это требование, как правило, не выполняется: если переходом в возбужденное состояние можно управлять, то обратный переход может происходить спонтанно.

В квантовых компьютерах существуют проблемы, связанные с неоднозначностью интерпретации информации, поэтому заявления о создании квантовых компьютеров ставятся в научном сообществе под сомнение. Существующие квантовые системы еще не способны обеспечить надежные вычисления, так как они либо недостаточно управляемы, либо очень подвержены влиянию шумов. Существует также проблема ввода-вывода информации. Необходимость связи компьютера с внешним миром, а также отдельных его частей друг с другом может приводить к существенным потерям в скорости вычислений.

Основной проблемой, стоящей перед учеными, является синхронизация работы отдельных элементов оптического компьютера в единой системе, поскольку существующие элементы характеризуются различными параметрами рабочей волны светового излучения (интенсивность, длина волны), и уменьшение размера компьютера. Имеются и другие факторы, препятствующие оптической технологии построения компьютеров. Наиболее важными из них являются: каскадирование - интегрирование большого числа оптических вентилях.

Ошибка считывания и копирования информации на ДНК в 1000 раз превышает ошибку магнитных накопителей. Тем не менее, ученые смотрят на ДНК-компьютеры с большим оптимизмом, нежели на квантовые, ведь при производстве некоторых узкоспециализированных расчетов они будут незаменимы.

Объемная плотность транзисторов в разрабатываемых интегральных наносхемах предельно высока. В таких условиях вопросы энергетики перспективного нанокomпьютера оказываются чрезвычайно важными. Существует фундаментальное ограничение плотности упаковки логических элементов, связанное уже не с атомной структурой вещества, а с термодинамикой вычислительного процесса как такового. В настоящее время просматриваются различные пути решения проблемы перегрева процессора.

Следует упомянуть о радиационной опасности, грозящей нанокomпьютерам со стороны обычных материалов, используемых в электронике. Дело в том, что в числе незначительных примесей, всегда присутствующих даже в самых чистых материалах, есть радиоактивные элементы. Особую опасность представляют альфа-активные изотопы тория. Одна альфа-частица с типовой энергией 1 МэВ даже в условиях обычной микроэлектроники при попадании в кристалл способна освободить из связанного состояния миллионы электронов. С этим борются, применяя помехоустойчивое кодирование.

Наночастицы имеют одно свойство, которое очень мешает их использованию. Они могут образовывать агломераты, то есть, слипаться друг с другом. Эту проблему пытаются решить, например, используя вещества – дисперсанты.

Поиски альтернативных способов изготовления нанотранзисторов и сборки из них компьютеров составляют еще одно важное направление современных исследований в области нанотехнологий.

Проблема финансирования. Борьба с накладываемыми на вычислительный процесс фундаментальными ограничениями – дело чрезвычайно сложное и дорогостоящее, доступное лишь высокоразвитым странам в рамках крупных национальных программ.

Архитектурно-структурные методы повышения производительности КС. Технологические приемы, положенные в основу реализации любой парадигмы обеспечения высокой производительности КС, по различным причинам достигнут своего технологического предела. В настоящее время это особенно наглядно проявляется при создании полупроводниковых БИС, технологический предел для которых может быть достигнут в ближайшее время (10 – 15 лет) при размерах полупроводниковых элементов менее 0.1мкм. В этот период времени, вряд ли уже будут созданы полноценные суперЭВМ, выполненные в соответствии с другими парадигмами организации вычислительного процесса: квантовой, нейронной, химической и др. Анализ зарубежных источников показал, что такие компьютеры, появятся не менее, чем через 50 – 100 лет, хотя уже имеются определенные успехи в части создания отдельных узлов и блоков. Появившийся промежуток времени между технологическими пределами полупроводниковой техники и нанокomпьютерами, выполненными на другой физической основе, может быть заполнен компьютерными системами, выполненными на полупроводниковой элементной базе. При этом требуемое повышение производительности может быть реализовано новыми архитектурными решениями по всем указанным выше линиями их развития, для которых уже на настоящее время существуют определенные заделы. [12 – 14].

Архитектура для вычислений пространственной решетки отображает непосредственно на кристалле БИС, используемого в качестве узла больших систем, особенности алгоритмов моделирования, двумерной и трехмерной обработки изображения и представления, и других трудоемких задач обработки данных.

Архитектура КС типа “Memory-in-Processor” (“Память-в-процессоре”) или МІР-система, которая обеспечивает логическую и физическую интеграции памяти в функциональных блоках микропроцессора. МІР – системы и содержит блоки обработки с высокими функциональными возможностями (HLF – Higher Layer Function), каждый из которых связан со своим функциональным блоком и может работать на 128-битовых данных. МІР спроектирована на одном кристалле с “компилятором-на-кремнии”, генерирующим команды для модулей HLF.

Архитектура КС типа “Процессор-в-памяти” (“Processor-in-memory”) или РІМ-система, которая отличается от КС с классической архитектурой широкой полосой пропускания по каналам процессор-память, низкой потребляемой мощностью, невысокими габаритами и весом за счет размещения на одном кристалле большого количества банков памяти, присоединённых к ним средств обработки (до нескольких тысяч) и обеспечивающих считывание из этих банков памяти и одновременную обработку нескольких сот и даже тысяч операндов.

Архитектура типа “Циклоп” – архитектура для высокоэффективных параллельных компьютеров, которая основана на трех основных принципах: интеграция логики обработки и памяти на одной подложке кремния; использование массового параллелизма внутри чипа; ячеистый подход к построению больших систем. Большие системы с тысячами чипов могут быть построены, применяя чип Циклопа как стандартный узел распределенной КС.

Архитектура с реконфигурируемым информационным каналом использует методы реконфигурации архитектуры и динамического перераспределения ресурсов с помощью среды реконфигурации, например, программируемых логических схем (ПЛИС) и соответствующих средств их программирования пользователем.

Реконфигурируемая архитектура системы памяти использует блок коммутации информации, с помощью которого осуществляется настройка архитектуры БИС системы памяти на конкретный класс задач. Таким образом, множество устройств памяти имеет соответствующее множество связанных процессоров, и все они вместе размещены на одной БИС.

Архитектура типа “Импульс направлена на ускорение доступа к ячейкам памяти путем применения более совершенного контроллера памяти с расширенными функциональными возможностями, не требуя изменений в организации процессора, памяти типа КЭШ или типа DRAM. Импульс поддерживает предвыборку памяти, которая может скомпенсировать (скрыть) часть задержки доступа к DRAM, а также задержку переадресации адресной трансляции Импульса.

Архитектура псевдо интеллектуальной памяти (СПІМ) ориентирована на интенсивное использование данных, при решении рекурсивных и высокопараллельных задач, например, задач обработки графических изображений.

Процессорные ускорители (акселераторы) используются как правило в качестве приставки к процессору, существенно повышая его производительность при обработке графических изображений. Кроме того, они могут быть также самостоятельно использованы в качестве процессоров для построения высокопроизводительных компьютерных систем, ориентированных на выполнение задач, содержащих массовые операции, характерные для обработки и отображения графических объектов.

Другие разновидности архитектур различных линий развития.

В институте кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины разработаны новые типы архитектур компьютерных систем и устройств вычислительной техники, которые по сравнению с известными имеют более высокое быстродействие, широкие функциональные возможности, а также улучшенные значения некоторых других параметров, в частности, – коэффициента загрузки процессоров КС полезной (вычислительной) работой [15 – 20].

Выводы

1. Дальнейший прогресс компьютерной техники, бесспорно, возможен. Он будет двигаться в направлении миниатюризации ЭВМ с одновременным увеличением ее быстродействия. Возможности создания логических элементов микросхем путем манипулирования отдельными атомами, а также новые архитектурно-структурные решения продлят прогресс кремниевых чипов еще, по меньшей мере, на несколько десятилетий.

2. Компьютеры будущего будут основаны на применении главным образом широкого спектра научных дисциплин: молекулярной электроники, молекулярной биологии, робототехники, а также квантовой механики, органической химии и др. Поэтому нанокomпьютеры будут развиваться одновременно по нескольким направлениям, реализующим различные способы представления информации: на основе квантовой логики, классической логики, нейробиологии и др. При этом скорость компьютерных вычислений достигнет значения 10^{51} операций в секунду.

3. С переходом на уровень нанотехнологий станет возможным снижение минимально допустимых размеров компьютера до субклеточного уровня. Способы представления информации в

системах, созданных человеком, почти достигли физических пределов, установленных фундаментальными законами природы.

4. На данном этапе приоритет отдается направлению, в основе которого лежит применение электронных нанотранзисторов (в том числе одноэлектронных). В подобных транзисторах уже реализован квантовомеханический предел передачи информации, налагаемый физическими законами. Достигнут также и предельный уровень тепловыделения. Разработка разнообразных архитектурных вариантов нанокomпьютеров на этой основе ведется очень активно, и технологии будущего уже имеют вполне реальные очертания.

5. Известно, что уже существуют системы обработки информации, построенные на объединении оптических и нейронных компьютеров, - это так называемые нейроно-оптические компьютеры. Можно предположить, что объединение квантовых и нейроно-оптических компьютеров даст миру самую мощную гибридную вычислительную систему.

6. Для создания нано-компьютеров будут необходимы значительные экономические затраты, в несколько десятков раз превышающие затраты на производство современных "классических" полупроводниковых компьютеров.

7. Разнообразие существующих научных разработок в области микроэлектроники, а также обширность накопленных знаний в области других научных дисциплин позволяет надеяться на создание "полноценного суперкомпьютера" на основе нанотехнологий в сроки - примерно 100-150 лет.

Список литературы

1. Beyond silicon: new computing paradigms / Communications of the ACM . – September 2007. – Vol. 50, No. 9. – С. 30 - 41. – Режим доступа: <http://cis.csuohio.edu/~munakata/profess/pdf/907Table.pdf> . – Дата доступа: 15.11.11
2. Рыбалкина М. Нанотехнологии для всех. Большое в малом. Изд-во "Nanotechnology News Network". – 2005. – 444 С. – Режим доступа: http://nano.com.ua/Nanotehnolog_dlya_vseh.pdf. – Дата доступа: 12.12.11.
3. Нанотехнологии – Википедия, – Режим доступа: <http://en.wikipedia.org/wiki/Nanotechnology>. – Дата доступа: 19.12.11.
4. Яковлев Ю.С. Однокристалльные компьютерные системы высокой производительности. Особенности архитектурно-структурной организации и внутренних процессов: монография / Ю.С. Яковлев. – Винница: ВНТУ, 2009. – 294 с.
5. Прогноз тенденций развития сектора высоких технологий на 2010 год . – Режим доступа: http://www.infeconomy.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=74:2010-&catid=5:2010-02-06-10-09-02&Itemid=5). – Дата доступа: 15.11.11
6. Минкин В. И. Молекулярные компьютеры / Минкин В. И. . – Минкин В. И. http://wsyachina.narod.ru/technology/molecular_computer.html. – Дата доступа: 15.11.11
7. В европе создают "химический компьютер". –Режим доступа: <http://www.bezpeka.com/ru/news/2010/01/13/chemical-computer.html>. – Дата доступа: 15.11.11
8. Коняев А. Вычисления в колбе: прошлое, настоящее и будущее химических компьютеров / Коняев А.. –Режим доступа: <http://www.nanonewsnet.ru/articles/2011/vychisleniya-v-kolbe-proshloe-nastoyashchee-budushchee-khimicheskikh-kompyuterov>. – Дата доступа: 15.11.11
9. Химический компьютер будет действовать как клетки мозга . – Режим доступа: http://virtual-reality.at.ua/load/zheleznye_novosti/zheleznye_novosti/khimicheskij_kompjuter_budet_dejstvovat_kak_kletki_mozga/24-1-0-135. – Дата доступа: 15.11.11
10. Японцы создали уникальный нанокomпьютер. – Режим доступа: <http://news.studclub.poltava.ua/new/14061>. – Дата доступа: 15.11.11
11. Перспективы развития вычислительной техники. Квантовые вычисления. – Режим доступа: http://paralichka85.px6.ru/11future/glava11_3.htm. – Дата доступа: 15.11.11
12. Яковлев Ю.С. Об оптимизации архитектуры компьютерных систем на современной элементной базе / Ю.С. Яковлев // Управляющие системы и машины I. – 2007. – № 5. – С. 43 – 51.
13. Яковлев Ю.С. Об оптимизации архитектуры компьютерных систем на современной элементной базе / Ю.С. Яковлев // Управляющие системы и машины II. – 2007. – № 6. – С. 28 – 35.
14. Яковлев Ю.С. Оптимизация вычислительного процесса в компьютерных системах архитектурными методами . Праці міжнародної конференції «50 років Інституту кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України», Україна, Київ, 24 – 26 грудня 2008 року. – С. 182 – 189.
15. Пат. 57629 Україна, МПК (2006) G06F 15/16, G06F 13/42. Інтелектуальна розподілена система пам'яті з кільцевою шиною/ Палагін О. В., Яковлев Ю. С., Тихонов Б. М., Єлісєєва О. В.; Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України; заявл. 16.07.2010; опубл. 10.03.2011, Бюл. № 5/2011 . – 41с.

16. Яковлев Ю.С. Компьютерная система типа “Процессор-в-памяти” с модифицированной кольцевой шиной / Ю.С. Яковлев, Б.М. Тихонов, Е.В. Елисеева // Управляющие системы и машины . – 2011 . – № 3 . – С. 54-61, 88.
17. Яковлев Ю.С. Реконфигурируемые PIM-системы: методология построения, примеры моделей / Ю.С. Яковлев // Математичні машини і системи. – 2007. – № 2.– С. 27 – 42.
18. Пат. 6259 України, G06F13/00, G06F12/00. Система пам’яті з інтеграцією функцій зберігання та обробки інформації на одному кристалі / Сергієнко І.В., Кривонос Ю.Г., Палагін О.В. , Коваль В.М., Яковлев Ю.С., Тихонов Б.М. ; Інститут кібернетики Імені В.М.Глушкова НАН України. опубл. 15.04.2005, Бюл. № 4.– 24 с.
19. Яковлев Ю.С. Разработка и моделирование процессорного элемента операционной среды PIM-системы / Яковлев Ю.С, Тихонов Б.М. //Электронное моделирование. – 2009. – Т.31, № 2. – С.65 – 79.
20. Пат. №88666 України, G06F 7/38, G06F 7/52. Операційний пристрій PIM-системи / Яковлев Ю.С, Тихонов Б.М., Інститут кібернетики Імені В.М.Глушкова НАН України, Бюл. № 21. – 26 с.

Інформація про автора:

Яковлев Юрий Сергеевич – докт. техн. наук, зав. отделом Інститута кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України, проспект Академіка Глушкова 40, г. Київ, 03680, тел. 526-32-07, e-mail: jakus@bigmir.net.