

structures with HTSC electrodes. - In: Proc. All-Union Conf. "Surface'89", Chernogolovka, 1989, p.48. 4. V.M.Koleshko, V.V.Barkalin. Strain effect in the  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  thin film based surface acoustic wave structures. - Thin Solid Films 298 (1997) 1-8. 5. Колешко В.М., Баркалин В.В., Полинкова Е.В. Элементная база микроэлектромеханических сенсорных систем на поверхностных акустических волнах// Машиностроение. - Мн., 2000, - Вып.16.- С.72-78.

УДК 621.3.049.77

В.М. Колешко, В.В. Ковалевский

## КОМПЬЮТЕР И МОЗГ

*Белорусский национальный технический университет*

*Минск, Беларусь*

В ходе эволюции мозг человека достиг высочайшей степени совершенства как чрезвычайно эффективная информационно-управляющая система с исключительной надежностью функционирования (рис. 1а). Поэтому естественны и закономерны предпринимаемые попытки использовать достижения современной техники и технологии для моделирования работы мозга и создания на этой основе принципиально новых систем обработки и хранения информации. Мозг может быть рассмотрен как адаптивная вычислительная среда (рис. 1б), в силу чего появляется необходимость описать этот орган в терминах электроники [1].



Рис. 1. Системы обработки информации

Однако применение таких компьютерных единиц измерения как *tips* и *мегафлоп* представляется не корректным, поэтому необходима иная единица оценки вычислительной способности мозга человека.

Одним из вариантов такого показателя является число синаптических операций в секунду. Несмотря на огромное количество нейронов (не менее  $10^{11}$ ), их тела занимают лишь очень небольшую часть объема мозга. Все остальное пространство занято нервными волокнами. Установлено, что более 90% всех нейронов (порядка  $2 \times 10^{10}$ ) отвечают за зрение, за вкус и обоняние по 4,5% и лишь небольшая часть (0,1% и 0,3%) за слух и осязание. Каждый нейрон коры головного мозга имеет до нескольких десятков тысяч связей, по которым приходят сигналы от других нейронов. Для определения количества синаптических операций в секунду необходимо знать число синапсов и приблизительную скорость производящихся операций. Так, рассчитано, что при скорости около 10 импульсов в секунду образуется  $10^{15}$  синаптических связей, т.е. производится  $10^{16}$  операций в секунду. Кроме того, т.к. распространение нервного импульса с использованием электрохимической технологии мозга не требует больших затрат энергии, то вместо измерения числа синаптических операций, можно измерить общее расстояние, которое все нервные импульсы, объединившись, могут пройти за секунду.

Второй метод состоит в расчете вычислительной способности сетчатки глаза и умножении полученного результата на отношение размера мозга к размеру сетчатки. Известно, что результирующий сигнал из сетчатки переносится оптическим нервом при помощи «ганглиевых» клеток, которые выполняют основные вычисления. Если мы предположим, что типичная вычислительная операция требует около 100 аналоговых сложений и выполняется примерно 100 раз в секунду, то суммарный результат каждой ганглиевой ячейки требует приблизительно  $10^4$  аналоговых суммирований в секунду. Количество нервных клеток в сетчатке —  $10^8$ , т.е. в тысячу раз меньше чем в мозге, поэтому, следуя этой логике, последний может произвести до  $10^{12}$ - $10^{14}$  операций в секунду.

Третий способ описания вычислительной способности мозга заключается в измерении общей энергии, потребляемой мозгом за секунду и энергии, затрачиваемой на каждую операцию. Общая потребляемая мозгом энергия составляет примерно 25 Ватт [2]. Ввиду того, что значительная доля этой энергии не будет использоваться для полезного вычисления, мы можем обосновано ограничить ее 10 Ваттами. При переносе нервного импульса миелинизированными аксонами внешняя сторона защитной оболочки находится под потенциалом 0 Вольт, в то время как внутренняя — примерно -60 мВ. Ионы  $\text{Na}^+$  больше сконцентрированы на

внешней поверхности чем на внутренней, и такой химический градиент концентрации приводит к общему напряжению примерно  $-110\text{мВ}$ . Когда нервный импульс переносится, то внутреннее напряжение быстро увеличивается из-за выброса ионов натрия (рис.2). Мембраны нервной клетки имеют емкость в  $1\text{мкФ/см}^2$ , т.е. емкость узла Ранвье в  $30\text{ мкм}^2$ , —  $3 \times 10^{-13}\text{Ф}$ . Межузловая область в 500 раз длиннее чем 2-х микронный узел, но из-за миелиновой оболочки ее емкость на квадратный микрон только в два раза больше чем у узла. Поэтому общая емкость одиночного узла и межузловое интервала примерно  $9 \times 10^{-13}\text{Ф}$ . Такой конденсатор разряжается и снова заряжается всякий раз, когда передается нервный импульс, рассеивая  $5 \times 10^{-15}\text{ Дж}$ . Десяти ваттовый мозг, следовательно, может совершать самое большее  $2 \times 10^{15}$  Ранвье-«прыжков» в секунду. Для того чтобы перевести Ранвье-«прыжки» в синаптические операции, необходимо знать среднее расстояние между синапсами. Приблизительно подсчитать его можно так: человек способен распознать какой-либо образ примерно за десятую долю секунды, что можно охватить сотней миллисекундных синаптических задержек. Одиночный сигнал, вероятно, проходит за это время 100 миллиметров (от глаза к задней области мозга), а это означает, что одна синаптическая операция приблизительно соответствует одному Ранвье-«прыжку».

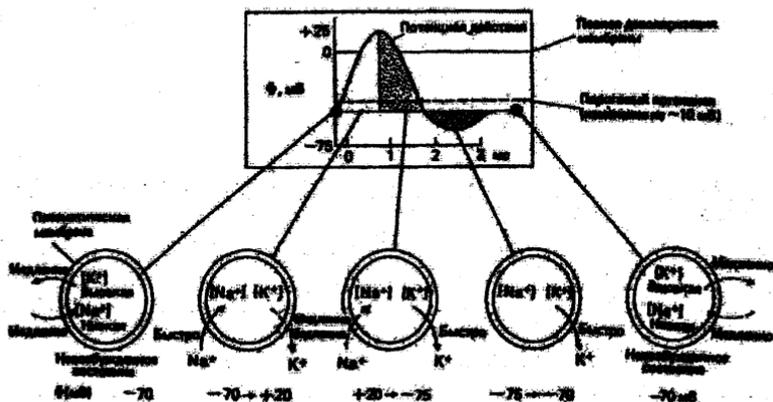


Рис. 2 Ионные токи через мембрану аксона при прохождении потенциала действия

Принимая во внимание все вышеизложенное, можно сказать, что суммарная вычислительная способность мозга ограничена многими факторами, включая возможность передавать нервные импульсы от одной области мозга в другую. Передача нервного импульса на расстояние в 1 миллиметр требует около  $5 \times 10^{15}$

Джоулей. Так как общая энергия, рассеиваемая мозгом составляет около 10 Ватт, то это означает, что нервные импульсы могут суммарно пройти не больше  $2 \cdot 10^{15}$  миллиметров в секунду. Подсчитывая расстояние между синапсами, мы можем, в свою очередь, оценить какое количество синаптических операций в секунду может совершить мозг. Такая оценка немногим отличается от расчета, основанного на умножении числа синапсов на усредненную частоту возбуждения. Но она примерно на два порядка больше величины, выведенной исходя из функциональных способностей сетчатки. Поэтому представляется резонным заключить, что мозг человека обладает вычислительной способностью от  $10^{13}$  до  $10^{16}$  операций в секунду.

При сравнении мозга с компьютером, а разума с программой, запущенной на нем, появляется необходимость ответить на вопрос: «Сколько мегабайт либо гигабайт содержит память человека?». Мозг высоко избыточен и до конца не понят: явный факт, — большая масса существующих синапсов не предполагает, что все они в действительности дают вклад в память. Поэтому рассмотрение мозга как "hardware" дает завышенную (порядка  $10^{20}$  бит) емкость памяти[3]. Лучше подтверждается экспериментами и более умеренна оценка, основанная на информационной теории [4]. Согласно ей человек запоминает приблизительно 2 бита в секунду визуальной, словесной, музыкальной и какой-либо иной информация. Из чего можно сделать вывод, что продолжаясь в течение жизни, такая частота запоминания воспроизведет свыше  $10^8$  бит или несколько сот мегабайт.

Сравнительная характеристика параметров мозга человека и современных кремниевых кристаллов приведена в таблице 1.

Таблица 1

**Сравнительная характеристика кремниевых кристаллов и мозга человека**

Наименование параметра	Кремниевый кристалл		Мозг
	2000 г.	2005г.	
Вычислительная способность , операций/с	$10^{12}$	$10^{14}$	до $10^{16}$
Энергия переключения, Дж	$10^{-15}$	$10^{-16}$	$5 \times 10^{-15}$
Линейный размер элемента, м	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-3}$
Число элементов, см <sup>3</sup>	до $10^{20}$		до $10^{12}$
Режим обработки информации	Параллельно- последовательный		Высокая степень параллелизма
Информационная емкость, бит	до $10^{13}$		до $10^{10}$

В недалеком будущем появится возможность создавать аппаратные средства с очувствлением, как человеческая система.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Колешко В.М. Разработка интеллектуальных машин, технологии и систем// Машиностроение.- Мн., 2000. - Вып. 16.- С.59-66.
2. The production and absorption of heat associated with electrical activity in nerve and electric organ by J. M. Ritchie and R. D. Keynes, Quarterly Review of Biophysics 18, 4 (1985), P. 451-476.
3. Von Neumann «The Computer and the Brain», Harvard University Press, 1994.
4. "How Much Do People Remember? Some Estimates of the Quantity of Learned Information in Long-term Memory", Cognitive Science 10, 477-493, 1986.

УДК 681.327.(0.88)

В.М. Колешко, М.А. Самошкин

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНО – ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ СЧИТЫВАНИИ ИНФОРМАЦИИ

*Белорусский национальный технический университет*

*Минск, Беларусь*

#### Введение

Перспективной формой представления видеоданных в автоматизированных системах обработки информации, в рамках которой целесообразно вести разработку методов кодирования, являются рекурсивные структуры и структуры на основе регулярной декомпозиции [1]. В связи с этим были предложены способы и программно-технические средства с автоматическим выбором шага, размеров и траектории движения считывающего луча. Это в 3-5 раз снижает объемы передачи, хранения и обработки видеоданных и увеличивает быстродействие системы [1].

#### 1. Модель формирования изображения.

Действие матрицы и процесс трансформации пространственных частот будем описывать с помощью следующей модели, в основу которой положено построение функции влияния [2]. Излучение коллимированного мононаправленного источника попадает на матрицу со стороны полупроводника  $n$ -типа, толщина  $n$ -слоя равна  $a$ . В фокальной матрице фотодетекторы расположены вплотную друг к другу, линейный размер фотодетектора составляет  $2T_0$ . Фототек детектора обусловлен диффузионным потоком дырок, генерированных в  $n$ -слое, через его границу  $z = 0$  и темпом генерации носителей заряда в обедненной области. Сигнал чувствительных элементов (ЧЭ) матрицы представляет собой функцию с основанием  $2T_0$  и