

Нейрональные сети и искусственный мозг



Настоящий мозг похож на плотное желе. Нейроны, сосуды, заполненные ликвором желудочки, состоят из липидных мембран, белков и огромного количества воды. Вы можете щелкнуть по мозгу пальцем, разрезать его на микротоме, внедрить электроды, исследовать кровотоки. Кажется, что изучение мозга твердо закреплено за биологией и медициной, однако, другая точка зрения привлекла пристальное внимание математиков, физиков, инженеров и программистов. Они при своем описании и изучении мозга пишут формулы, создают компьютерные программы и даже устройства, имитирующие работу настоящих нейронов в мозге.

Настоящий мозг имеет высокие адаптационные способности. Он может понять незнакомую речь и позволить принимать неправильные решения. Функции мозга сохраняются на всю жизнь, несмотря на неизбежную гибель клеток, и даже при старении мозг все еще способен к изучению новых "трюков". Современные роботы способны отлично выполнять ограниченную работу, для которой они были созданы - например, сборке части автомашины, и конечно, не могут позволить себе ошибаться.

Настоящий мозг состоит из многочисленных нейрональных сетей. И конечно же, для работы нейронам нужна энергия, а сетям - пространство. В состав нашего мозга входят приблизительно 100 миллиардов нервных клеток, 3,2 миллиона километров "проводов", миллион-миллиарды синапсов, и все это помещено в объеме 1,5 литров, весит около 1,5 кг и потребляет 10Вт энергии. Силиконовый аналог мозга для работы в аналогичном режиме потребовал бы 10 мегаваттов - столько составляет потребление электричества одного города. И конечно же, при этом выделялось бы столько тепла, что силиконовый мозг расплавился бы! Так что нам еще предстоит выяснить, как же мозг так эффективно и экономично работает, и на основании тех же принципов создавать искусственный интеллект.

Твой мозг состоит из 100,000,000,000 клеток и 3,200,000 км проводов, 10×10^{14} синапсов, и все это помещено в объеме 1,5 литров, весит около 1,5 кг, и использует энергию, равную потреблению всего одной лампочки!



Построение мозга в силиконе

Энергетические затраты передачи сигналов от одного нейрона к другому, возможно, явились основными факторами при эволюции мозга. Около 50-80% потребления энергии в мозге приходится на потенциалы действия и синаптическую передачу. Остальное тратится на производство и поддержание. Это применимо как к мозгу пчелы, так и человека. Тем не менее, скорость проведения нервных импульсов (несколько метров в секунду) значительно уступает скорости компьютеров. Такая скорость проведения в процессорах сделала бы их работу невозможной. Биологический мозг сконструирован на параллельных сетях, и большинство нейронов связаны с тысячей других. Мозг в полной мере использует свою 3D структуру для компактной упаковки всех функциональных соединений. В отличие от натурального, даже скромное количество связей на силиконовой пластине ограничено только 2D структурой и размерами пластины. Тем не менее, современные высокоскоростные технологии позволяют передавать несколько сигналов от различных силиконовых нейронов через один провод. Таким образом, инженеры силиконовых нейронов пытаются превзойти соединения биологических нейронов.

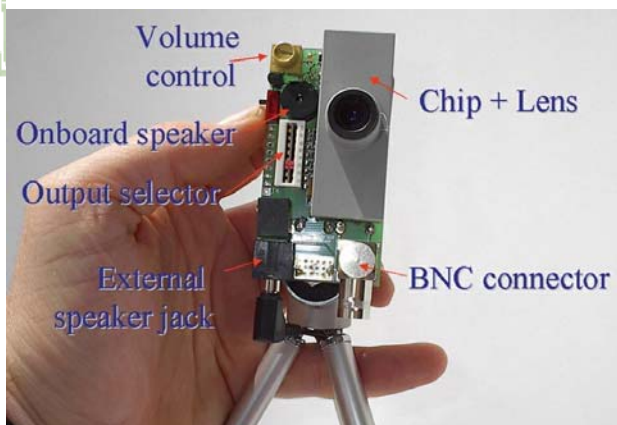
Для снижения энергетических затрат и увеличения скорости биоинженеры стали задумываться о применении аналогового, а не цифрового кодирования. Так, Carver Mead, один из 'гуру' Силиконовой долины в Калифорнии, придумал термин 'нейроморфическая инженерия' для разъяснения переноса нейробиологии в технологию. Вместо цифрового кодирования в 0 или 1, аналоговые сети кодируют изменением вольтажа, как и нейроны в подпороговом состоянии (Глава 3). Подсчеты при этом могут проводиться меньшим количеством действий, как это позволяет физика силиконовых приборов.

Аналоговые компьютеры легко производят примитивные подсчеты - прибавление, вычитание, экспоненты и интегралы, сложные процедуры для цифровых машин. Когда нейроны - биологические или силиконовые - производят подсчеты или принимают решения, они посылают сигналы к другим клеткам. Так как пиковые сигналы энергетически дорого обходятся, в результате эффективного кодирования увеличивается количество информации, уменьшается излишнее количество потребления энергии. Кроме того, использование минимального количества активных нейронов также способствует сбережению энергии. Этот процесс носит название "редкого" кодирования и создает основы другого важного принципа, заложенного в основе строительства искусственных нейрональных сетей.

Силиконовая сетчатка

Одним из простых искусственных копий биологических структур явилась силиконовая сетчатка, улавливающая свет и автоматически приспособляющаяся к условиям освещения. Она связана с двумя силиконовыми нейронами, которые, как нейроны в визуальной коре, улавливают информацию об углах и цветовых контрастах из изображения на сетчатке.

Нейроны такого прототипа называются **интегрирующие-и-запускающие нейроны** и очень часто используются в нейроморфической инженерии. Свое название они получили из-за того, что добавляют вольтаж подходящего к синапсу сигнала и запускают потенциал действия только при условии достижения пороговых величин. Сами силиконовые нейроны состоят из транзисторов, но для минимализации энергетических затрат они работают в подпороговом режиме. Именно так они действуют как клеточные мембраны настоящих нейронов. Дополнительные транзисторы предоставляют активные потоки, способные преодолеть вольтаж- и время-зависимые потоки настоящих ионных каналов. Такая маленькая визуальная система является прототипом больших искусственных систем, находящихся в стадии создания, но и она уже способна показать как будет развиваться наука. Эта система способна выполнить свое предназначение - анализировать направление линий - и нейрочеловек уже использует силиконовые зрительные системы для проверки оборудования или обучения студентов. И, наконец, самое важное в искусственных системах это то, что они работают в реальном мире, времени и используют небольшое количество энергии.



Линзы камеры установлены на передней панели силиконовой сетчатки.

Искусственные нейронные сети

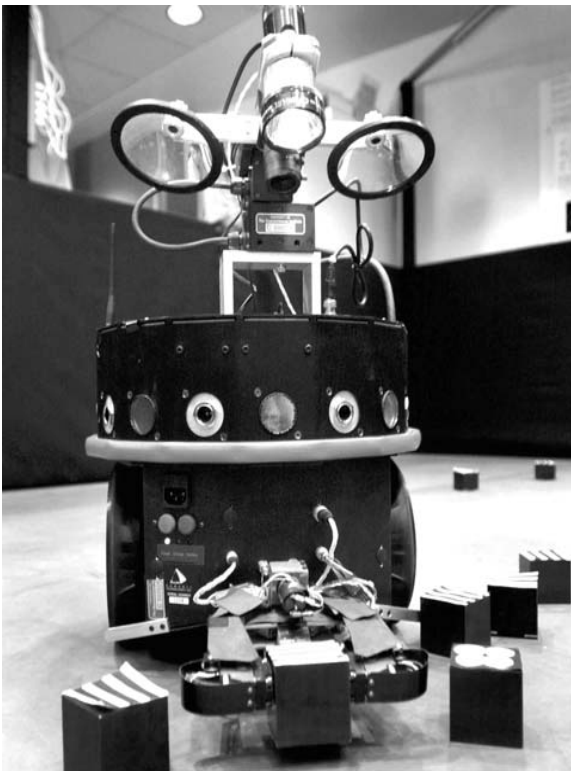
Искусственные нейронные сети (artificial neural networks, ANN) очень часто используются для изучения процессов обучения и памяти. Обычно они базируются на конвенциональном цифровом компьютере, состоят из нескольких простых процессоров, которые высоко интегрированы в сеть. Простой формой ANN является фид-форвард ассоциатор, который состоит из взаимосвязанных слоев для входящих и исходящих сигналов. Ассоциативная память закодирована при помощи модификации силы, связывающей слои таким образом, что новый входящий паттерн анализируется и сравнивается с имеющимся (см. Математический Пазл- ящик на следующей странице). Более комплексная сеть ANN составляет рекуррентную нейронную сеть, которая состоит из одного слоя, где каждая отдельная единица взаимосвязана и все единицы могут служить как проводники входящих, так и исходящих сигналов. Как бы это не звучало странно, но такой дизайн позволяет сети больше сохранять паттерны, чем буквально пару единиц информации. Декодирование аутоассоциативной сети приводит к обнаружению сохраненного паттерна. В сети, состоящей из 1000 единиц можно восстановить около 150 паттернов прежде, чем ошибки в восстановленных паттернах станут слишком большими.

Похожесть ANN и мозга лежит в основе процессов сохранения и обработки информации. 'Знание' о том, что сам процесс происходит в самой системе. Нет дополнительного места сохранения памяти (как процессор цифрового компьютера), для которого арифметический процессор и адреса ячеек памяти разъединены. Вместо этого они обладают адресно-содержимым хранилищем. В ANN информация сохраняется в плотности связей точно так, как синапсы меняют свою силу при обучении. Никакая ANN не запрограммирована для производства какой-либо процедуры. Каждый 'нейрон' внутри системы - тупой, и просто отвечает на входящие сигналы. И все же, они могут обучиться умным вещам. Правило обучения заключается в модификации силы межнейронных связей, как правило, при этом оцениваются входящий и исходящий сигнал, и сравниваются с желанным сигналом. Каждая "ошибка" в сравнении в дальнейшем используется для достижения более близкого к желанному исходящему сигналу. Таким образом сеть сводит неправильные сигналы к минимуму. Это на самом деле работает, только очень медленно.

Ошибки являются важной составляющей - система не может обучиться при безошибочном функционировании. Последнее является признаком переобученной системы: безошибочно работающая система перестает отвечать на стимулы и только при единственном типе стимуляции возможен ответ. Такие системы метафорно называются "бабушки" - по аналогии с мифическими "бабушкиными клетками" в головном мозге человека, которые должны безошибочно реагировать только на появление бабушки! В принципе, это не так применимо в реальном мире, так как обучение новому потребует создания отдельной сети. Но надо указать, что ANN способны генерализовать входящие паттерны, с которыми они никогда не встречались в процессе обучения. Они видят взаимоотношения, схватывают ассоциации и обнаруживают повторения в паттернах. И как настоящий мозг, они могут ошибаться! Они все еще способны восстановить сохраненный паттерн даже в том случае, если входящий паттерн неполон и нечет. Этот факт является важной особенностью как биологического мозга, так и искусственных нейронных сетей.

Парадокс современной компьютерной технологии

Парадоксом сегодняшнего дня является факт, что ANN можно симулировать математически на цифровом компьютере. Их применение в реальном мире ограничивается, так как симуляции требуют дополнительного времени, и таким образом, ANN неспособны оперировать в реальном времени. ANN идеальны для вождения автомобиля или управления самолетом, ведь они способны работать даже в условиях, когда какие-то единицы сети выходят из строя. Однако, экспертные системы, заложенные в детерминированное программное обеспечение атопилота, работают на цифровых компьютерах и всегда дублируются. Но если в самолете произойдет серьезный сбой, даже такая экспертная система не сможет овладеть ситуацией, и за штурвал должен сесть человек. Современные обучающие алгоритмы для ANN работают крайне медленно в неотложных ситуациях. И чем больше мы понимаем работу головного мозга, тем реальнее становятся наши возможности в создании искусственного интеллекта, сопоставимого с человеческим мозгом.



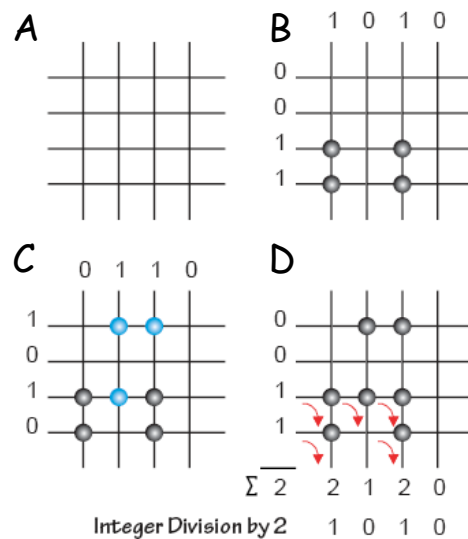
NOMAD - пока еще суетливый, на уже полный мыслей предшественник думающих машин. Его рост составляет 2 фута, тело цилиндрической формы, он имеет "глаза", "уши", "руки" и другие сенсоры для обеспечения навигации. NOMAD отличается от других машин тем, что он существует без закодированных инструкций или правил. Вместо этого он обладает компьютерным мозгом, состоящим из 10,000 "клеток" и более миллиона контактов для обеспечения прецепции и реакций. Он может овладеть новой ситуацией и учиться на ошибках, "пробовать на вкус" окружающий мир - окрашенные кубики. Полосатые кубы обладают электрорпроводимостью, что делает их "вкусными", окрашенные в горошек - не проводят электричества, что делает их невкусными. Путем собственных ошибок NOMAD научился искать вкусные полосатые кубики и избегать окрашенные в горошек.



Математический пазл-ящик

Содержимо-адресная память

Представьте себе перекрещивающиеся 4 вертикальных и горизонтальных провода в контактами в месте перекреста (рис. А). Это и есть матрикс памяти. Информация представлена в виде двоичных чисел (как 0011 или 1010), и синапсы включаются, когда 1 встречается с 1 (В, показано серым). Здесь сохраняется эта пара чисел. Матрица может сохранить другие числа над этой парой, как 1010 и 0110. Окончательный вариант матрицы должен иметь 7 переходников как на рисунке С. Если снова представить первое число - 0011 - окончательному варианту матрицы, ток будет вырабатываться в вертикальных проводах, где локализованы переключатели (D), и вы увидите электрический поток от проводов, в основе пропорциональный числу 2120. Это не число 0011, сохраненное в начале. Но если вы разделите 2120 на количество единиц (0+0+1+1 равно 2) с применением интеграционного разделителя, у вас получится 1010. Таким образом, матрица "запомнила" что 0011 идет вместе с 1010, несмотря на наличие дополнительной сохраненной информации над ней. Конечно, вы можете проверить эту работу со второй парой чисел.



Этот тип памяти имеет специальную локализацию - как в компьютере. Вся информация распределена по сети, сохранена в синапсах и может быть востребована в соответствии с содержанием. Проблема такой памяти заключается в том, что насыщение происходит слишком быстро, особенно когда там только 4 провода. Однако, при наличии 1000 пар проводов, матрикс может сохранить множество перекрещивающихся информационных сообщений.