

А.В. Шевченко

ГИПОТЕЗА СОЗНАНИЯ ИЛИ НЕЙРО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Настоящая статья относится к проблематике искусственного интеллекта (Artificial Life) и посвящена вопросам исследования естественных и синтеза искусственных интеллектуальных систем. В статье на простых примерах анализируется специфика функционирования биологических информационных систем, таких как человек и животные, позволяющая выявить возможные закономерности механизма формирования присущего живым существам сознания, эксплицитным проявлением которого является мышление. Также применительно к функционированию этих систем рассматривается естественнонаучный аспект содержания фундаментальных понятий природы информации – семантики и знаний. Опираясь на методологию синергетики, нейронных сетей, традиционного искусственного интеллекта и используя системный подход, излагаются основные концепции и подходы к созданию принципиально иных «разумных» информационных систем нового типа.

Нет необходимости лишней раз подчёркивать всю важность *своевременного* появления новых информационных технологий и систем. Сегодня мы настолько быстро и глубоко проникаем в недра и тайны мироздания, что неадекватно растущие потребности в сфере сбора, хранения, обработки и использования информации быстро приходят в несоответствие с технологическими возможностями. Широкий спектр и масштаб научных исследований приводит к появлению комплекса научно-технических и прикладных задач огромной размерности, решение которых наталкивается на определённые технические трудности. Преодоление «проклятия размерности», повышение скорости и распараллеливание обработки информации становится задачей первостепенной важности. Гетерогенность обрабатываемых данных и специфичность задач обуславливают необходимость создания новых, мощных и принципиально иных вычислительных архитектур и алгоритмов.

Появление новых информационных технологий, воплощающих в себе эти качества, в дальнейшем невозможно без понимания того, как функционируют «наиоптимальнейшие» биологические информационные системы, такие как человек и животные. Исследование физиологии живых организмов привело к появлению одной из таких архитектур и соответствующей научной дисциплины – *искусственных нейронных сетей*, базирующихся на принципах функционирования систем естественного происхождения, коими являются мозг и нервная система живых существ. Вероятно, в недалёком будущем благодаря своей красоте и вычислительной мощности именно это научное направление будет определять стратегию развития информационных технологий и станет основой для создания во истину *искусственного* интеллекта.

Сегодня же искусственные нейронные сети весьма эффективно применяются для решения лишь узкого круга специальных задач. К сожалению, на нынешнем этапе своего развития они имеют ряд серьёзных технологических ограничений. Будем надеяться, что в скором времени последние будут частично или полностью устранены.

Следуя по крутому и извилистому пути от отдельных экспериментов к созданию полномасштабных информационных систем, построенных по этим технологиям, прежде всего, придётся найти ответы на ряд фундаментальных, наполовину философских вопросов, которые ставит сегодня перед нами реальность. Как то:

Что есть *информация*, и какова её природа?

Что есть семантика информации или *смысл*?

Что такое *знания* и как их добывать?

Что такое *сознание* и как работает мозг живых существ?

Что такое *интеллект*?

Что ж, это не мало. И при всём многообразии выбора альтернативы нет. Попробуем во всём разобраться.

Ответ на первый вопрос можно найти в блестящей работе [1] двух бельгийских авторов Григория Николиса и Ильи Пригожина. Последний – учёный с мировым именем и дважды лауреат Нобелевской премии. Его работы хорошо известны широкой научной общественности.

Изучая поведение сложных систем и процессы нелинейной динамики, таких, как эволюция, самоорганизация и т.д., авторы приходят к выводу, что появление *информации* в мире сложного сопряжено с двумя фундаментальными условиями. Это резкое нарушение пространственной симметрии, непрерывно отсеивающее другие возможные варианты интерпретации и элемент непредсказуемости (случайности), связанный с раскрытием содержания. Нарушение симметрии является проявлением *внутренней*

дифференциации между различными частями системы или между системой и её окружением, что и оказывается предпосылкой появления информации. Случайность же лежит в самой *основе* динамики идеально детерминистических систем с большим числом переменных. Сосуществование случайности и упорядоченности приводит к понятию *информации*. В конечном счете, именно отбор вариантов исхода позволяет детектировать, интерпретировать и передавать «сообщение», спрятанное в нелинейной и неравновесной динамике системы. Отбор позволяет декодировать информацию и тем самым допускает переход сложного с одного уровня на другой. Наиболее четкий пример отбора представляет собой случай, когда бифуркация¹ с нарушением симметрии происходит в виде одного единственного, неповторимого события. Наделяя систему свойством множественности уникальных решений, бифуркация потенциально способна создавать информацию. Именно она является источником инноваций и диверсификации в системе, благодаря которым в ней появляются новые решения, характеризующиеся нарушением симметрии.

Оставим в стороне явление бифуркации, так как оно ближе к физике возникновения асимметрии пространства. А это, скорее, относится не к смысловому содержанию, а к теории сигналов (вариантам исхода) или теории информации по Шеннону [2]. Сосредоточим внимание на самом нарушении симметрии и попробуем уяснить значение вышесказанного на примерах уже ставших классикой и приведенных в этой же работе, но подойдем к ним с других позиций.

Представим себе слой *однородной* жидкости (например, воды) между двумя горизонтальными параллельными плоскостями, латеральные размеры которых значительно превосходят толщину слоя. Однородность среды в этом случае означает идентичность любых произвольно взятых отдельных объемов её пространства. Помещенный в такой слой миниатюрный наблюдатель, рассуждающий относительно окружающей среды, не сможет определить, в каком именно объеме пространства воды он сейчас находится. Все объемы пространства, которые можно выделить в этой среде, будут для него между собой не различимы, и ему будет *безразлично* занимаемое им положение. Иными словами – нет внутренних возможностей, которые позволили бы ему ощутить понятие пространства. Вдобавок ко всему, однородность ощущений (проще говоря, отсутствие их динамики) делает для него тождественными и все моменты времени. Поэтому и о нём он не сможет получить представление. При длительном плавании на подводной лодке с моряками–подводниками происходит, примерно, то же самое.

При равномерном нагревании снизу всей поверхности, приводящем к появлению определённой разности температур нижней и верхней граней, из-за тепловой конвекции происходит расслоение жидкости на горячие и холодные слои. Не важен сам механизм этого явления. Важно то, что при этом среда (жидкость) приобретёт определённую структуру, состоящую из восходящих и нисходящих конвекционных потоков. В ней появятся, так называемые, бенаровские ячейки.

Этот простой эксперимент, впервые реализованный Бенаром, можно проделать и в домашних условиях, медленно нагревая на плоской чугунной сковородке слой воды в 6 – 8 мм. Через некоторое время в жидкости проявятся шестигранные конвекционные ячейки, очень похожие на пчелиные соты.

Теперь для наблюдателя окружающий мир совершенно изменился! Отсчитывая количество восходящих и нисходящих потоков, он может точно определять, в каком месте пространства он находится. А, наблюдая скорость своего перемещения относительно этих потоков, ощущать время. Пространство потеряло свою однородность (симметрию), стало *анизотропным* и приобрело определённую структуру. Структурирование пространства позволило наблюдателю получить новые ощущения реальности и, следовательно, возможность получать какую-то информацию. Появился *носитель* информации.

Проведём простую аналогию с записью информации на магнитный диск. Изначально диск не содержит никакой информации. Все участки его поверхности идентичны – симметричны. Намагничивая в определенной последовательности и определённым образом соответствующие участки магнитной поверхности, мы придаём ей определённую доменную структуру и, следовательно, можем записать, а потом и считать какую-то информацию. Намагниченная таким образом поверхность стала носителем информации. Но стоит поместить диск в сильное постоянное или переменное магнитное поле, он тут же окажется однородно или хаотично намагниченным и потеряет это свойство, а вместе с ним и записанную нами информацию.

Приняв во внимание массу других примеров и экспериментов, обобщая вышесказанное в необходимой плоскости, приходим к первому фундаментальному наблюдению природы информации:

Нарушение характеристик пространственно-временной симметрии материи ведёт к появлению носителя информации или информация выражается в нарушении симметрии пространственно-временного континуума.

¹ Явление, наблюдающееся в открытых динамических системах вследствие потери устойчивости стационарного состояния в условиях нелинейности и внешних ограничений. Бифуркация наделяет систему способностью иметь множество ветвей решений при переходе через критическое значение управляющего параметра.

Что же может нести нам нарушение симметрии или информация? Как выкристаллизовать из неё смысл? За ответом на интересующий нас вопрос обратимся к примерам из биологии.

Как и все живые существа, на протяжении всей жизни мы ежесекундно воспринимаем из окружающей среды какую-то информацию. Запоминаем, обдумываем, используем и обмениваемся ею. Являемся ли мы с формальной точки зрения своеобразными информационными системами? Безусловно. Мы живые, «ходячие» информационные системы во плоти. Остаётся разобраться в собственной природе и, следовательно, прийти к пониманию того, как работают такие системы.

Возьмём для начала идеальное геометрическое тело – шар из совершенно однородного материала. Как определить где у него правая, а где левая сторона? Да никак – нет там ни правой, ни левой стороны. Иными словами, геометрия шара не способна собой нести информацию о понятиях правой и левой стороны. Можно ещё по-другому сформулировать – нужны ли для осознания такой геометрической фигуры как шар эти понятия? Очевидно, нет.

Шар всё же может иметь и правую и левую стороны, но это будет уже относительно только позиции наблюдателя. А что тогда сказать о правой и левой сторонах шара наблюдателю, стоящему по другую его сторону. Относительно себя или относительно относительного?

В случае с человеческим телом всё выглядит по-другому. Наше тело в пространстве ассиметрично и может однозначно разделять эти понятия и, более того, понятия “вправо” – “влево”, “вперёд” – “назад” имеют для нас определённое смысловое значение по отношению к *другим* понятиям. Если нам говорят идти вперёд, а потом повернуть направо, то обычно не возникает проблем с ориентацией на местности. Для нас эти понятия – своеобразная смысловая система координат, заметьте, попарно-противоположных и взаимно перпендикулярных по смыслу относительно нашего тела. “Идти вперёд” – означает двигаться в этой системе в определенном направлении, причем привычным и естественным для нас способом.

Тело тихоокеанского краба тоже имеет правую и левую стороны. Потенциально наделим ракообразных невероятными интеллектуальными способностями. Что для него тогда означает “двигаться вперед”? Это куда? Вперёд – вправо или вперёд – влево? Смысловая координатная система *движений* в этом случае оказывается у него повернутой на 90° по отношению к смысловой координатной системе *ориентации* в пространстве. А понятия вперёд – назад в ней в принципе перестают существовать. Остаётся только двигаться вправо или влево. Если продолжать подобную аналогию с этими членистоногими, то у речного рака, эта система вообще оказывается развёрнутой на 180°, правда, двигаться вперёд – назад понятия сохраняются, а вот вправо – влево исчезают. Сможем ли мы понять друг друга? Гипотетически, конечно.

Следовательно, чтобы производить однозначный обмен *примитивными* или *интуитивно понятными* сигналами, необходимо, чтобы наши представления или *элементарные* смысловые системы координат не только не различались по качеству, но совпадали и по количеству и, самое главное, имели одинаковую ориентацию относительно друг друга.

Обратим внимание на то, как мы обычно мыслим. Этот процесс носит название *артикуляции* и напоминает собой своеобразное чтение «про себя». Мы, как бы, прочитываем свою мысль и используем для этого свой родной язык. Правда, у некоторых людей это явление слабо выражено, что приводит в итоге к более эффективному и быстрому мышлению. А так как мы «читаем» свои мысли и используем для этого язык, посредством которого также и общаемся между собой, то смысл *синтезируется* через систему грамматики и словаря, однозначно задающих наш национальный язык. Но мы можем понимать друг друга и без слов. Животные вообще не владеют развитыми языковыми системами, но тоже общаются между собой и понимают друг друга. Что же для нас и для них в общем случае задаёт этот молчаливый язык?

Не ошибусь, если скажу, что изначально – это наша физиология или природа. То, как мы устроены: форма тела, спецификация органов, спектр ощущений, рефлексy, инстинкты – одним словом наш *генотип*. Генотип однозначно определяет своеобразную видовую грамматику, задающую свой видовой гоот-язык с его синтаксисом и семантикой, понятной всем особям данного вида. Через гены от родителей мы получаем этот дар – владеть этим языком, свою изначальную смысловую систему *ощущений* и координат. С первых минут своей жизни относительно неё мы строим свои представления об окружающем мире и, впоследствии, ориентируемся в нём. Очевидно, большая часть животного мира от таких систем не уходит, но вот человек пошел дальше и развил способность абстрактного мышления.

Появившись на свет, мы обладаем лишь конечным числом чувств, а способов их выражения ещё меньше. Чего явно не хватает для выражения всех эмоций по отношению ко всему многообразию среды. Появляются *транзитные* способы или системы выражения своих эмоций – *символы* или сочетания. Поначалу это осмысленные жесты, потом речь и, наконец, письменность. Живя и развиваясь в различных условиях окружающей среды, мы приобретаем свой *фенотип*, а вместе с ним и различия в своих символьных системах.

Появляется контекст – зависимость наших представлений или ощущений от конкретики. Чем меньше этой конкретики, тем ближе наши символы. Поясним это на примерах.

Если взять двух представителей различных этнических групп, чья культура и быт на протяжении многих веков развивались и формировались порознь на разных континентах и в разных условиях, то вполне резонно ожидать значительного или даже полного различия в их традиционных средствах общения – языке и письменности. И, как следствие этого, невозможность общения с помощью этих символических систем. Но на практике, после нескольких безуспешных попыток общения с помощью привычных каждому средств, они всё же находят способ обмениваться информацией, *интуитивно* опустившись на более низкий уровень – язык жестов. Где, как оказывается, представления каждого из них друг о друге и об окружающем мире частично или полностью совпадают! Ведь они оба являются представителями одного вида, оба передвигаются на двух ногах, имеют две руки, оба одинаково нуждаются в пище и одинаково употребляют её, у них одинаковые инстинкты и физиологические рефлексы. Следовательно, у них есть та общая сущность или природность, относительно которой они могут друг другу *однозначно* выражать свои эмоции и побуждения. И ближе всего к отражению этой сущности у человека оказывается язык жестов и мимика. Скорее всего, диапазон языка жестов, понятных им обоим, будет небольшим и по выразительности ограниченным, но главное – он даст им основу для понимания друг друга в дальнейшем.

У других видов в отношениях между особями этим элементарным языком может оказаться язык запахов или покровной окраски.

Возьмём представителей двух *разных* видов. Мне довелось на протяжении примерно двух лет наблюдать за живущей у меня дома семейкой лабораторных белых мышек. Коллективное поведение этого вида мелких грызунов иногда ставило меня в тупик. То, что я раньше считал присущим в основном более высокоорганизованным видам, в частности человеку, было хорошо узнаваемо и в поведении мышей: чувства, эмоции, мотивация были такими же, как у человека, только проявлялись они на свой «мышинный» манер.

Мыши по своей природе очень любопытны и стараются обследовать всё доступное им пространство. Если мышь физически не могла попасть на расположенный вблизи предмет, то при моём появлении она своей мышинной жестикуляцией или поведением старалась дать мне понять своё стремление попасть туда. Я понимал и трактовал его как просьбу помочь. Я подставлял ладонь. Мышь, забравшись на неё, перебиралась туда, куда ей было нужно. Разве что, только «спасибо» при этом не говорила.

Это означает, что между столь различными видами, стоящими на совершенно разных ветвях генеалогического дерева эволюции, может происходить *однозначный обмен информацией*, т.е. некоторые представления грызуна и человека относительно выражения своих побуждений и поведения в пространстве совпадают!

Трудно не догадаться, что хочет домашний кот, стоящий носом к косяку закрытой двери. Особенно если он произносит «мяу». Думаю, каждый, кто держал в доме домашнее животное, сталкивался с его «интеллектуальным» поведением. Некоторые домашние питомцы, видя поведение человека, ассоциировали открытие двери с нажатием на дверную ручку и, в отсутствие своих хозяев, безуспешно пытались это проделать. А если они адекватно воспринимают нас и себя в пространстве, значит, у нас есть нечто общее. Где-то переключаются наши символические системы или пересекаются наши генотипы.

Это вполне укладывается с современными представлениями в биологии об эволюции и генеалогическом дереве. Разделяя одно и то же пространство и время, живые существа эволюционировали по одним и тем же законам биосферы этой планеты. И лишь случай и разнообразие проявлений среды обитания обусловили появление такого многообразия их видов.

Следовательно, всё живое где-то в чём-то одинаково, и выходит, что взаимопонимание прямопропорционально зависит от степени схожести наших символических систем или, если вникнуть глубже, генотипов, относительно которых строятся эти системы. А что, если используя своё интеллектуальное превосходство над остальным животным миром, изучив гено- и фенотип животного (специфику его ощущений), и аппроксимировав свои представления на его уровень, получить возможность общения с ним и, следовательно, возможность получать от него какую-то информацию. Какова перспектива!

Перенесёмся теперь в область криптографических систем. На вход такой системы подается логически построенный и осмысливаемый текст на естественном для человека языке. Он подвергается шифрованию по специальному алгоритму при помощи некоторого набора символов (ключа) и преобразуется на выходе системы в цепочку символов, выстроенных определённым образом. Обратное преобразование легко выполняется при помощи этого же ключа. В результате, выходной документ становится нечитабельным для всех, кто не владеет этим ключом, и они не могут извлечь из него значащую информацию. Для группы лиц, владеющих криптографическим ключом, последний становится той *общей отправной точкой*, относительно которой между членами этой группы может происходить обмен смысловой информацией. Каждое зашифрованное

сообщение кем-либо из группы будет понятным всем её членам, а для всех остальных оставаться абстрактным набором символов. Информацией, но ничего незначащей.

Более наглядный пример – это наши естественные национальные языки. Не зная языка другой национальности, невозможно общаться с его носителями. И наоборот, владея целой *системой понятий*, т.е. словарём и грамматикой этого языка, мы становимся полноправными участниками информационного обмена.

Анализируя множество других примеров обмена информацией того или иного рода из различных сфер жизни, областей науки и техники, во всех случаях постоянно сталкиваемся с относительностью в раскрытии смыслового содержания. Похоже, смысл информации становится осязаемым только относительно некоторой системы, способной его разворачивать.

А что, если в материальном мире вообще нет *абсолютного* понятия того, что есть семантика или смысл информации? Ведь объективно существует только материя той или иной природы и закономерности проявления её свойств. Иными словами – мир *бессмыслен*! Он такой, какой есть и не более того. Это мы через призму своего восприятия наделяем его смысловым содержанием, причём, каждый – своим. Следовательно, смысл информации всегда *субъективен*.

Приходим ко второму фундаментальному наблюдению природы информации:

Смысл или семантика информации всегда абсолютно относительно системы, накапливающей её.

Т.е. смысл рождается только с появлением системы, способной его интерпретировать. А значение *смысла* информации для системы, в конечном итоге, определяется относительно её природы, тоже системы, но уже физической. Чтобы система имела возможность интерпретировать информацию она должна, помимо органов чувств, обладать ещё и способностью как-то в себе её сохранять, т.е. *памятью*. В противном случае воспринятая сенсорами информация, проходя сквозь систему, ни с чем бы не коррелировала и была бы абсолютно прозрачной для неё. Иными словами – не было бы возможности производить необходимый отбор.

Ведь мы же не ощущаем и не распространяем, к примеру, ультразвук или радиоволны. У нас нет специальных органов чувств, дающих нам представление о распространении ультразвука или радиоволны в пространстве. А таковые существуют в природе, но информации нам не несут. Это стало возможным лишь с изобретением другой транзитной системы – радио.

То, что может вызывать отклик одной системы, может оставаться абсолютно прозрачным для другой.

Герман Хакен в своей работе [3] вводит понятие *относительной значимости* сигналов (квантов информации), как способности вызывать отклик системы или изменение её состояния.

В биологии на элементарном уровне механизмом определения этой значимости становится степень корреляции сигналов нервной системы со своим «отображением» в генотипе. К примеру, если мы закроем глаза, а в этот момент нас кто-то погладит по спине, то мы не будем видеть и понимать кто, зачем и почему, но однозначно определим, что нас хотят приласкать. Ощущение «приятного», сформированное нервной системой, совпадёт с тем представлением ласки, которое несёт в себе генотип. Это то мы и поймём и адекватноотреагируем. Аппроксимируем это на все наши чувства.

Вспомним о вариантах исхода, дающих многообразие сочетаний. Из сочетания элементарных ощущений складываются их последовательности – символы, а из последовательности символов – их системы. Из систем символов – другие символы и т.д. А взаимодействие всего этого и рождает *смысл* в нашей интерпретации. Теперь понятно, по какому пути должна пройти корреляция, чтобы выкристаллизовать из информации смысл! Она как бы скользит по основаниям символьных систем, синтезируя смысл. И этот смысл упирается в специфику ощущений. Это огромная и сложная пирамида символьных систем, в основании которой находится наша природа.

Генотип каждого вида представляет собой своеобразную уникальную *формальную систему* со своим алфавитом, формулами, аксиомами и теоремами. Физическим воплощением этой формальной системы является строение организма и специфика его функционирования.

Поэтому я не разделяю оптимизма некоторых авторов относительно того, что компьютеры или ещё какие технические системы смогут в будущем обладать такими же чувствами и эмоциями, как и человек. Имитировать – возможно, но ощущать – никогда! Для этого они должны будут обладать точно такой же физиологией, что и мы. Правда, это не делает их сколь-нибудь ущербными в этом плане. Обладая своим специфическим набором сенсоров и подобием «искусственного генотипа», они, наверное, смогут ощущать то, что никогда не доведётся пережить нам.

Теперь представим себе абсолютно пустую комнату. Это – некоторое однородное симметричное пространство, объективно существующее вне зависимости лично от нас. Зайдём во внутрь. Пространство сразу поменяло свою структуру и стало неоднородным – теперь внутри себя оно содержит нас. Сами собой мы уже

порождаем информацию! Своим присутствием (телом) мы воздействуем на пространство, а в ответ его осязаем, т.е. видим, слышим и т.д. Иными словами: воздействуя – ощущаем. Мы и пространство (среда) составляем замкнутый *контур*, в котором по отношению друг к другу находимся в обратной связи. Все изменения в пространстве мы ощущаем и как-то реагируем. А значит – можем и влиять друг на друга. Очевидно, что контур, звеньями которого являются элементы с нелинейными характеристиками, образует *нелинейную* систему, а изменчивость среды предопределяет её динамичность, причем, среда здесь – *ведущая*.

Из курса теории автоматического управления известно, что процессы, происходящие в подобных нелинейных динамических системах с обратными связями, описываются дифференциальными уравнениями. Следовательно, эти системы автоматически попадают в область интересов такой науки как *синергетика* [4], изучающей свойства явлений самоорганизации в динамических системах. А нервная система и мозг живых существ являются именно такими системами.

Попытаемся образно понять, как мы функционируем.

От природы человек наделен определённым спектром способностей что-либо ощущать – это зрение, слух, обоняние, вкусовые качества, тактильные ощущения различного рода и, конечно же, присущее нам мышление. Каждому типу ощущения соответствуют специальные органы чувств (сенсоры), сформировавшиеся в длительном процессе эволюции у всех видов живых существ. Каждый орган чувств имеет своё назначение и обладает своей определённой функциональной характеристикой, определяемой спецификой строения и скоростью протекания биохимических процессов в тканях. Конечная скорость химических процессов приводит к появлению определённого интервала времени в последовательности между «соседними» ощущениями. Иными словами – «сознательная жизнь» для нас протекает *дискретно*, а её темп задаётся совокупной постоянной времени процессов в организме.

Находясь в конкретный момент времени в конкретной точке пространства, мы испытываем совершенно *уникальный* набор своих ощущений или *вектор* ощущений. Обладая памятью, мы способны запоминать свои ощущения и их последовательности. Вернувшись в ту же точку через некоторое время, повторно испытаем похожие ощущения, но не идентичные изначальным. Понятно, прошло время, изменилось состояние физиологических процессов в организме, мы стали другими – постарели. Могли измениться за это время и какие-либо характеристики пространства. В этом случае можно говорить только о степени схожести ощущений, т.е. о *корреляции* их векторов.

В целом управляет жизнедеятельностью организма центральная нервная система (ЦНС), осуществляющая взаимосвязь между всеми органами и превращающая всё это в единый слаженный биологический механизм. ЦНС это структура из специальных биологических тканей, состоящих из сплетения особого вида клеток – *нейронов*. Память в такой сети реализуется накоплением концентраций соответствующих химических веществ в пространстве межсинаптических связей нейронов. В настоящее время физиология и биохимия таких тканей достаточно хорошо изучена. Построена формальная математическая модель составляющих этой ткани и созданы её технические аналоги, носящие название *искусственных нейронных сетей*.

ЦНС, сенсоры, моторные органы и внешняя среда образуют *сложный* замкнутый контур, состоящий из петель отдельных контуров по каждому виду ощущений и многочисленных рефлекторных дуг [5]. Подобная система, как и почти любая другая, всегда стремится прийти в асимптотически устойчивое состояние, характеризующееся минимумом потенциальной энергии. Следовательно, каждый её контур носит характер цепи *отрицательной* обратной связи. Так как общим звеном для всех контуров является сама ЦНС (нейронная сеть), то любое изменение в каком-либо отдельно взятом контуре вызывает автоматическое изменение состояния некоторых других, что в свою очередь приводит к непрерывной цепи дальнейшего изменения состояния всего комплекса. Мгновенное состояние всей системы можно охарактеризовать вектором *текущих* ощущений, а вектор, относительно которого происходит «перенастройка» системы по соответствующему контуру, считать в нём *целевым*.

Пусть мы пришли к мысли о необходимости переместиться в пространстве из пункта **A** в пункт **B**, где уже бывали ранее. У нас есть вполне определённые ассоциации, связанные с пребыванием там и мы помним путь. Возникает побуждение. Центральная нервная система образует в этой задаче замкнутый контур: вектор текущих ощущений – вектор желаемых. Мы видим, слышим, чувствуем, что находимся сейчас не в пункте **B**. Наши текущие ощущения (вектор *A*) и ассоциативные ощущения пребывания в пункте **B** (вектор *B*) не совпадают. ЦНС начинает вырабатывать управляющие сигналы нашим моторным органам, и мы приходим в движение. Поскольку, мы уже бывали в пункте **B** и помним в комплексе всю динамику своих ощущений от изменения ландшафта, запахов, звуков, изображения по пути, то ЦНС, сравнивая на каждом шагу наши текущие ощущения и целевые, будет динамически формировать программу управляющих сигналов по когда-то ассоциативно усвоенной закономерности. И так до тех пор, пока не придём в пункт **B**. Попав туда, достигаем своей цели. Контур текущие – желаемые ощущения будет уравновешен и потеряет свою актуальность. Если к

тому моменту не возникнет новых побуждений, то мы так и останемся стоять на месте. Может случиться, что мы не попадём в пункт **В**. Где-то по дороге, исходя из каких-то других «соображений», возникнет другая более приоритетная задача. Первый контур будет разорван доминирующим новым, прежняя задача «снята» и мы отправляемся по совершенно другой программе.

Работа подобных систем будет ещё больше понятна тем, кто хоть раз пытался научиться вождению автомобиля. Достаточно вспомнить свои первые опыты вождения. Как с визгом трогались с места, лихо тормозили, а двигатель глох через каждые три метра. Сев первый раз за руль автомобиля, мы образовали замкнутый контур посредством наших органов чувств, центральной нервной системы, исполнительных органов и находящийся по отношению к нам в цепи внешней обратной связи такой довольно сложной системы, как автомобиль плюс окружающее пространство. Не имея ни малейшего понятия о том, как управлять автомобилем мы, разумеется, не могли бы сразу же воспроизводить адекватное управляющее воздействие на автомобиль и достичь поставленной перед собой цели – перемещения в пространстве. Незнание необходимой управляющей закономерности и приводило нашу вновь образовавшуюся систему человек – машина к столь специфичным эффектам. Лишь преследуя определённую цель и чувствуя реакцию машины на наше поведение (ощущая инерцию, слушая шум двигателя, видя своё перемещение по отношению к окружающим предметам), после нескольких итераций привыкаем к этому «куску железа». Усвоив необходимую функциональную зависимость воздействие – реакция, мы приобрели знание, как управлять автомобилем, образовав с ним единую, хорошо слаженную систему. Сев за руль в другой раз, нам не придется учиться заново, память подскажет что делать.

В общем *основой* нашего разумного поведения является способность чувствовать и запоминать, причем память хранит не образы объектов, а функциональные зависимости изменения ощущений во времени. А ведь объекты мы *именно* ощущаем. Время мы «меряем» совокупной динамикой своих ощущений. Так появляется относительное *биологическое время*, индивидуальное для каждого вида. Каждое живое существо *ощущает* все изменения в пространстве и реагирует на них. Воздействуя сенсорами на пространство, оно посредством их постоянно извлекает информацию о состоянии окружающей среды вокруг себя. Аналогичным образом организм получает информацию и о своём собственном состоянии. На основании всей совокупности этой информации живым существом «принимаются» жизненно-важные решения и формируется поведенческий акт.

Выдающийся нейрофизиолог академик П. К. Анохин в результате своих многолетних исследований пришел к важнейшему выводу и доказал, что любая живая система, а тем более высокоорганизованная, обладает свойством *формировать* свои потребности в получении конкретного результата или *самой себе* ставить цель уже в самом начале формирования поведенческого акта [7, 8], т.е. поведенческий акт *рекурсивно* задаётся побуждением или целевым вектором:

У животного имеются естественные природные потребности. Его нервная система, реагируя на физическое состояние биохимических процессов организма в данный момент, формирует реакцию или побуждение – целевой вектор, скажем – вектор голода. Делает его активным или доминирующим в соответствующем контуре ЦНС и животное *ощущает* голод. С этим вектором оказывается ассоциативно связанной целая цепочка векторов ощущений или унаследованная с генотипом, или усвоенная в раннем возрасте на примере родителя, или приобретенная им по жизни на собственном опыте: опознать пищу (жертву) – догнать – поймать – съесть. Эта цепочка, в свою очередь, также состоит из других целевых векторов – своеобразных микроинструкций и т.д. Одиночно, группами, поочередно или параллельно весь этот комплекс целевых векторов становится активным в соответствующей системе контуров, замыкая существующие цепи обратных связей с внешней средой, а дальше дело автоматике – по полной программе отработать своё.

Неправда ли, чем-то это отдалённо напоминает работу машины Тьюринга? Только здесь лента – это окружающая среда, считывающая головка – сенсоры, а внутренний алфавит – пространство состояний системы, динамически формируемое в зависимости от скорости изменения состояния самой ленты (информационный процессор с переменной системой команд). Подобный процессор, как и машина Тьюринга, не даёт представления об объеме и степени сложности обрабатываемого кода, т.е. об уровне организации поведения, но, как и последняя является основой построения всех процессоров, может представлять механизм его осуществления.

В техническом плане реализовать этот механизм возможно с помощью систем *рекуррентных* нейронных сетей, и лучше всего для этой цели подходят различной конфигурации сети Хэмминга, Хопфилда и АРТ [9, 10, 11]. В математической модели нейронной сети память реализуется посредством набора определённых значений весовых коэффициентов матрицы синаптических весов. При образовании комплекса замкнутых контуров через систему внешней среды нейронная сеть становится способной извлекать из неё её характеристики, спецификация которых определяется спектром сенсоров. Этот процесс носит название *интерполяции* и суть его буквально в следующем.

Пусть дана в пространстве некоторая произвольная функция $f(x)$. Подав на входы необученной сети последовательность значений аргумента x , априорно получим произвольный отклик этой сети. Вычисляя ошибку (разность между откликом сети и значением $f(x)$), можно итеративным обучением скорректировать поведение нейронной сети таким образом, что на каждое значение x сеть будет воспроизводить значение $f(x)$. Сеть приобретёт память о закономерности $f(x)$.

Это и делает каждый раз центральная нервная система. В процессе осуществления поведенческого акта ЦНС, как нелинейная динамическая система, итеративно выполняя параметрическую оптимизацию по контуру отрицательной обратной связи, стремится уравновесить выход со входом и минимизировать разность между «желаемым» и «ощущаемым», приводя тем самым контур в энергетически выгодное состояние. При этом в системе сохраняется *история* – память о пути, по которому происходило уравнивание.

Уравнивание происходит посредством корректировки значений синаптических весов матрицы, несущей в себе n -мерное векторное пространство переменных состояний («ощущений») системы. В процессе итерационного обучения или корректировки весов это пространство приобретает некоторую структуру или *пространственную неоднородность*, которая однозначно соответствует функциональной закономерности проявления свойств цепи обратной связи. Происходит *отображение* свойств внешней части цепи во внутреннее пространство состояний системы в форме нарушения симметрии последнего, т.е. в системе возникнет *информация!* Понятно, что априорно пространство состояний должно быть *изотропным* (однородным), а матрица значений синаптических весов заполнена одинаковыми значениями или в худшем случае хаотично.

После разрыва и исчезновения контура обратной связи система в тривиальном случае навсегда сохраняет память о нём. Но достаточно будет снова восстановить этот контур, ввести в него целевой вектор, нарушив этим баланс, и система автоматически и в точности отработает сохранённую закономерность, пытаясь «прийти» к глобальному минимуму по уже известному пути.

В этом случае можно говорить, что система наделена знаниями относительно внешней среды, т.е.:

Понятие знания появляется в случае возникновения самодостаточной системы, являющейся частью материального мира и способной осуществлять отображение объективной реальности в виде информации во внутреннем пространстве состояний путём изменения качественных и/или количественных характеристик последнего. Внутренняя информационная структура системы, сформированная таким образом, и есть знания.

Чтобы экстрагировать знания из чего-либо, необходимо каким-то образом контактировать с этим, а именно: иметь *средство контакта* и находиться в *обратной связи*.

Познание закономерностей объективного мира позволяет выявлять связи между его свойствами или объектами. Сформированное таким образом отображение окажется *контекстно-зависимым* по отношению к целевому вектору, относительно которого происходило уравнивание системы по этому контуру. Множество этих отображений и их взаимная контекстная зависимость образуют информационное пространство, заданное над полем отображений свойств объективного мира или *концептов* по Фреге, составляющих базис этого пространства. И речь тут уже идёт о необходимости *осмысленного* формирования пространства состояний, являющегося *носителем* информации в системе. Модель механизма динамического формирования контекстно-зависимых последовательностей или *групп* векторов, а следовательно и значений весовых коэффициентов матрицы, призвана дать нам *синергетика*.

Концептуально это может выглядеть *примерно* так.

Вернёмся к понятию *элементарные смысловые координатные системы* в примере с ракообразными и возьмём из него два термина: “вправо” и “вперёд”. Если не считать, что для нас они оба обозначают направления в пространстве, то, что их объединяет? Ничего. При нашей оговорке они не имеют никакого взаимного смысла. Это два ничем не связанных вербальных символа. А что они обозначают в действительности? Два понятия, «перпендикулярные» по смыслу относительно только нашего тела.

N -мерное векторное пространство образуется системой из n линейно независимых или взаимно-ортогональных векторов (*ортов*). Пусть два из них это наши термины. Поскольку в пространстве состояний сети их векторы перпендикулярны и не имеют взаимных проекций, то в смысловом поле они окажутся совершенно независимыми понятиями. Введём ещё один термин или вектор, обозначающий понятие “движение”. Причём так, чтобы все три вектора были ортогональны, т.е. *абстрактны*. Теперь вектор в этом пространстве, имеющий свои проекции на оси векторов “движение” и “вправо”, будет означать в смысловом поле абстрактное понятие “движение вправо”. А так как нейронная сеть представляет собой своеобразное «тело» системы, то относительно него выстраивается тривиальная смысловая система координат, в которой

понятия “движение”, “вправо”, “вперёд”, и, соответственно, “влево” и “назад” приобретают совершенно определённое значение.

Разовьём эту мысль глубже. Пусть три ортогональных вектора в пространстве обозначают три абстрактных понятия, таких как “чашка”, “кофе” и “содержать”. Линейной комбинацией строим вектор означающий понятие: “чашка”-“содержать”-“кофе” или “кофе”-“содержать”-“чашка” или “кофе”-“чашка”-“содержать” и т.д. Введём в это же пространство ещё одну элементарную смысловую систему координат, определяющую такие ортогональные понятия как “подлежащее”, “сказуемое” и “дополнение”. Развернём в пространстве координатные системы так, чтобы вектор теперь определял действительную синтаксическую конструкцию нашего естественного языка: “чашка-содержать-кофе”. Введя ещё несколько контекстно-координатных векторов или их систем и сориентировав их между собой определённым образом, можно обозначить и кто кого может “содержать”.

Получается контекстно-зависимая грамматика, только вместо символов и терминальных цепочек здесь векторы. Причём векторы, которые в одних координатах обозначают абстрактные понятия, в других могут нести совершенно конкретное значение и иметь соответствующие отображения на векторы других понятий. Величина этих отображений и будет задавать относительную значимость.

В нейронных сетях это означает некоторую «обратную» задачу векторной кластеризации или классификации. Образовывая в пространстве матрицы синаптических весов подпространства или элементарные координатные системы *символов* и ориентируя их соответствующим образом на определённые углы относительно друг друга, посредством взаимных проекций задаём их относительное смысловое значение в общем *смысловом поле* системы, производящей разложение синтаксических конструкций «векторного языка» в линейную комбинацию абстрактных векторов. И если при этом для полного синтеза всего объема языка не хватает n измерений – возьмём m .

Наконец, представим, что реально эти элементарные смысловые координатные системы могут образовываться не из одиночных векторов, а из целых групп и последовательностей векторов наших *ощущений*, взаимная ориентация которых формирует наше смысловое поле. Это поле есть не что иное, как смысловой неперiodический аттрактор², т.е. *фрактал*! А сама последовательность векторов ощущений является дискретным отображением Пуанкаре в фазовом пространстве состояний системы по соответствующему контуру обратной связи.

Подобные информационные структуры – биофракталы в зависимости от уровня детализации могут нести в себе и различную *степень* детализации поведения живого существа, быть огромными по длине, ветвящимися и формироваться динамически. В функциональных зависимостях ощущений фрагментно могут обнаруживаться корреляции отдельных участков, что даёт возможность редуцировать (сокращать) информационное пространство. Так из частных выделяется общее, и информационная структура приобретает иерархичность или древовидность, в конечном итоге, превращаясь в многомерную «фрактальную паутину». Свойства и качество этих структур напрямую зависят от уровня и сложности организации центральной нервной системы животного существа. Вероятно, качественная сторона структуры и определяет *интеллект* индивидуума, а физиология – способности к нему. В каком направлении по цепи этой структуры поведёт себя живое существо на пути к своей цели – предопределяют среда, память и, наверное, случай.

Конечно же, модель поведения «ходячей информационной системы» в примере с перемещением из **A** в **B** весьма примитивна, свойственна, в основном, невысокоорганизованным видам и особой ценности не представляет. Как быть с высокоинтеллектуальным поведением или, к примеру, с интуицией или присущим человеку столь хорошо развитым абстрактным мышлением?

А кто сказал, что мышление организуется не через, своего рода, шестое чувство? Мы осязаем, мы чувствуем мысль. Только обратные связи ЦНС в этом случае замыкаются не через окружающее пространство, а локально, внутри системы, заставляя её блуждать в лабиринте своего собственного информационного пространства состояний, извлекая закономерности из самой себя! (Data Mining?). Можно сказать, что мы «думу думаем».

В жизни мы не общаемся и не передаём информацию посредством векторов или весовых коэффициентов. Это просто неудобно. Для этого у нас есть свои транзитные вербальные и невербальные символичные системы, такие как жесты, речь и письменность. Хотя, кто знает, что нам век грядущий уготовит. Эти системы также имеют своё отображение в нашем общем смысловом поле. Выражая посредством *денотата* свои мысли, мы обмениваемся содержанием лишь небольшой части этого поля, которая остаётся *относительной* ко всему остальному. Так появляется *текст* информации и её *контекст*. Понятно, что для обмена и адекватного интерпретирования передаваемой информации смысловые аттракторы систем должны большей частью

² От английского – to attract (притягивать). Область фазового портрета пространства состояний системы, характеризующаяся свойством асимптотической устойчивости определённых решений.

совпадать, т.е. последние должны иметь или общую *природу* и/или общую транзитную систему, отображающую состояния одной системы в состоянии другой (переводчика).

Находясь в постоянном контакте с окружающей средой, своими сенсорами мы крепко вплетены в неё и в совокупности являем одно единое целое, а весь спектр наших ощущений, их динамика и сочетания синтезируют нам полную и ясную картину внешнего мира. С самого рождения и в процессе всей жизнедеятельности своими побуждениями мы замыкаем через свою ЦНС огромное количество обратных связей с внешней средой и извлекаем из окружающего пространства необходимые нам закономерности, тем самым, накапливая знания. Последние, в свою очередь, как побуждения используем для достижения своих целей или удовлетворения потребностей.

Убеждён, что жизнедеятельность организма и функционирование центральной нервной системы организуется наличием многочисленных петель обратных связей между отделами мозга, замыкаемых локально или посредством сенсорных и моторных органов через внешнюю среду. Часть из них статична, другая формируется динамически. Иначе бы как такая, столь медленнодействующая субстанция, как нервная ткань, могла бы «на лету» выполнять многопараметрическую оптимизацию и решать громадные системы дифференциальных уравнений с гигантским числом переменных и ограничений. Наличие *отрицательных* обратных связей в системе обеспечивает сходимость решений к асимптотически устойчивым аттракторам. Это быстрое и эффективное нахождение решения по каждому контуру отдельно, в общем стремящееся привести систему в состояние с минимальной потенциальной энергией. Огромное же количество векторов состояний в столь же огромном количестве контуров и их взаимная контекстная зависимость образуют бесконечные, ветвящиеся и циклически замкнутые последовательности этих состояний, т.е. непрерывный параллельный процесс.

А не *сознание* ли это? И что тогда такое матрица синаптических весов, несущая на себе всю информационную нагрузку? Не эквивалент ли это души, однозначно определяющий индивид с его гено- и фенотипом?

Если на эти вопросы дать положительные ответы, то на вопрос «Что есть мы?» уже отвечать, почему-то, не хочется.

Проблема синтеза «разумных» информационных систем некоторым образом упирается в фундаментальные понятия существования самой материи и образования во Вселенной галактик и планет. Возникновение и развитие жизни на планете является закономерным проявлением свойств этой материи. Благодаря наличию всего состава элементов таблицы Менделеева и гигантского миксера под боком – Солнца, появление флоры и фауны на Земле было предопределено. Условия и изменчивость среды, провели живое по всему пути эволюции – от самого зарождения жизни до настоящего времени. И этот процесс продолжается.

Процессы, происходящие в биосфере планеты, достаточно точно описываются с помощью систем дифференциальных уравнений. Поскольку на нынешнем этапе человек и представители остального животного мира являются конечными продуктами эволюции биосферы Земли, то они не составляют исключение. Если выйти за рамки идеалистического восприятия мира, то жизнедеятельность биологических организмов независимо от уровня организации в общем случае можно свести к комплексу процессов автоматического регулирования с адаптацией. Следовательно, их функционирование можно описать системой интегрально-дифференциальных уравнений, учитывающих всю предысторию существования организма [12]. А, имея четкую математическую модель, можно «по образу и подобию» строить новые технические нейро-информационные системы. Снабдив входы и выходы структурированной искусственной нейронной сети соответственно сенсорами и исполнительными устройствами, получим некоторое подобие «живого», т.е. самодостаточную систему искусственного происхождения, имеющую иную природу и способную самостоятельно накапливать знания и принимать решения.

Может сложиться обманчивое впечатление, что создание искусственного (в прямом смысле этого слова) интеллекта уже дело техники. Но ведь каждой точкой своего тела мы воздействуем на пространство и ощущаем что-либо. Это миллиарды сенсоров! А их сочетаний?! А 10^{11} нейронов головного мозга? А 10^{14} их коммуникаций? И какова теперь мощь машины познания!

Помимо масштаба систем и сложности технологии их воплощения есть ещё ряд других серьёзных и принципиальных вопросов, решение которых является задачей ближайшего будущего. Прежде всего, к ним относится проблема создания модели *формальной системы* и построения соответствующей *топологии* нейронной сети. Если в решении последней могут частично помочь исследования в области нейрофизиологии, то с первой дело обстоит сложнее. Для живых биологических организмов естественной формальной системой является генотип, информацию о котором несёт в себе сложная биохимическая структура – *геном*, полностью ещё не познанная.

Что делать в таком случае в технике? Где взять этот BIOS³, относительно которого система, «оживши», начнёт постигать реальность?

Можно попробовать взять за основу уже существующие уникальные наработки классификаций из области *онтологий*. Начиная с метауровней, развернуть всё в векторное смысловое пространство системы. Снабдить её сенсорами и моторными органами, связать всё между собой, включить и посмотреть, что получится. Или предоставить системе это всё связать. Остаётся ещё разобраться в самом геноме.

Очевидно, трудно будет за относительно короткий промежуток времени, даже такой, как жизнь нескольких поколений, в полупроводнике или ещё как-либо полностью воссоздать то, что природа создавала и шлифовала миллионы лет. А цена этого созидания? Да и нужно ли это. Если хотим создать нечто, очень похожее на нас, то, быть может, проще родить на свет нового человека?

А вот в науке и технике, ограничившись узким кругом специальных задач и сосредоточив свои усилия в определённых направлениях, *возможно и нужно* уже сейчас создавать столь необходимые «разумные» системы, в которых вычислительный процесс будет заменён пусть примитивным, но всё же уже мыслительным. А время само приблизит плоды стремлений к совершенству венца творения.

Подводя итог рассуждениям, сделаем некоторые обобщения и с этих позиций определим пути создания таких систем, которые, возможно, предопределят в будущем скорость появления уже развитых образцов. А именно:

- а) освоение технологии производства высоко интегрированных нейро-чипов различных видов;
- б) как более дешёвая альтернатива этому, развитие традиционных параллельных вычислительных архитектур, прежде всего, для решения *регулярных* задач [13];
- в) построение формальной системы («искусственного генотипа») – BIOSa;
- г) разработка широкого спектра специфических датчиков (сенсоров) и интерфейсов к ним;
- д) то же относится и к исполнительным устройствам;
- е) разработка внешнего транзитного интерфейса *человек – машина*;
- ж) и, наконец, стандартизация всего этого.

Так нашими «молитвами», на стыке нескольких научных направлений: искусственных нейронных сетей, нейрофизиологии, синергетики и традиционного искусственного интеллекта можно в недалёком будущем ожидать появления принципиально иных «разумных» информационных систем нового типа.

03.05.02

alex_shevchenko_ua@hotmail.com

Список литературы:

1. Г. Николис, И. Пригожин. **Познание сложного**. Введение: Пер. с англ. –М.: Мир. 1990. –344с., ил. (Gregoire Nicolis, Ilya Prigogine. EXPLORING COMPLEXITY. An introduction. W.H. Freeman and Company/New York)
2. К. Шеннон. **Работы по теории информации**. Пер. с англ. –М.: Ин-издат. 1963.
3. Г. Хакен. **Информация и самоорганизация**. Макроскопический подход к сложным системам: Пер. с англ. –М.: Мир. 1991. –240с., ил. (Hermann Haken. INFORMATION AND SELF-ORGANIZATION. A Macroscopic Approach to Complex System. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo)
4. Г. Хакен. **Синергетика**. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах: Пер. с англ. –М.: Мир. 1985. – 423с., ил. (Hermann Haken. ADVANCED SYNERGETICS. Instability Hierarchies of Self-Organizing Systems and Devices. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo 1983)
5. К. Прибрам. **Язык мозга**. Экспериментальные парадоксы и принципы нейропсихологии. Пер. с англ. –М.: Прогресс. 1975. –464с., ил. (Karl H.Pribram. LANGUAGES OF THE BRAIN. Experimental paradoxes and principles in neuropsychology. Prentice-hall, inc. Englewood cliffs, New Jersey)
6. В.Д. Цыганков. **Вселенная Хокинга и нейрокомпьютер**. Серия «Информатизация России в XXI веке». –М.: Синтег. 2000. 84с.
7. В.Д. Цыганков. **Нейрокомпьютер и мозг**. Учебное пособие. Серия «Информатизация России в XXI веке». –М.: Синтег. 2001. 248с.
8. П.К. Анохин. **Теория функциональной системы**. //ж-л. Успехи физиологических наук. Том.1. №1. 1970.
9. Ф. Уоссермен. **Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика**. –М.: Мир. 1992.
10. И.В. Заенцев. **Нейронные сети: основные модели**. Воронеж. Изд. ВГУ 1999.
11. Р. Каллан. **Основные концепции нейронных сетей**: Пер. с англ. –М.: Изд. дом «Вильямс», 2001. –288с., ил. (Robert Callan. THE ESSENCE OF NEURAL NETWORKS. Prentice Hall Europe. London New York Toronto Sydney Tokyo Singapore Madrid Mexico city Munich Paris)
12. Р. Беллман. **Процессы регулирования с адаптацией**. Пер. с англ. –М.: Наука. 1964. –360с., ил. (Richard Bellman. ADAPTIVE CONTROL PROCESSES: A guided tour. Princeton University press Princeton, New Jersey 1961)
13. М. Амамия, Ю. Танака. **Архитектуры ЭВМ и Искусственный Интеллект**. Том.5: Пер. с япн. –М.: Мир. 1993.
14. Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. **Базы знаний интеллектуальных систем**. Учебник: –СПб.: Питер, 2000. –384с., ил.
15. Е.Н. Соколов, Г.Г. Вейткявичус. **Нейроинтеллект**. От нейрона к нейрокомпьютеру. –М.: Наука. 1989.

³ Базовая система ввода-вывода (Base Input Output System) – хранимый в постоянной памяти вычислительной системы базовый программный модуль, выполняющий обслуживание аппаратных прерываний и осуществляющий при запуске автоматическое тестирование оборудования и инициализацию начальной загрузки операционной системы.