

ОСНОВНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ОСОЗНАНИЯ СЕНСОРНЫХ СИГНАЛОВ В НЕЙРОНОПОДОБНЫХ МОДЕЛЯХ: ПРОБЛЕМЫ НА ПУТИ К «НЕЙРОМОРФНОМУ» ИНТЕЛЛЕКТУ

В.Г. Яхно

Рассмотрены универсальные модели нейроноподобного типа, из которых конструируются системы преобразования и распознавания информационных сигналов в соответствии с заранее определенными целями. Модули разных уровней в модельной системе ориентированы на выполнение таких функциональных операций, которые характерны для живых систем. Приведенный набор базовых моделей и наиболее очевидные динамические режимы их функционирования могут адекватно описать известные экспериментальные данные об особенностях восприятия и реагирования живых систем на разнообразные сенсорные сигналы. Модели с биологически правдоподобной архитектурой используются для создания технических устройств (симуляторов), которые позволяют воспроизвести основные закономерности поведения живых систем.

Ключевые слова: Нейроноподобные модули, сознательное–бессознательное, оценка времени в «эпизодической памяти», динамика принятия решений, интуиция, когнитивные фильтры.

Введение

Необходимость формализованного описания механизмов обработки информации в мозгу человека и животных не вызывает сомнений. Сейчас активно проводятся разработки, ориентированные на имитацию динамических процессов управления в живых системах [1–21]. Какие элементы и в какой архитектуре взаимосвязей должны работать, чтобы такие симуляторы живых систем позволяли выполнять операции восприятия и осознания сенсорных сигналов с высокой точностью, а также осуществлять возможность накопления знаний об окружающей среде не хуже, чем это делают их аналоги в живой природе? На этом пути известны следующие проблемы:

- а) разработка базовых компьютерных и математических моделей с биологически правдоподобной архитектурой;
- б) исследование и классификация основных динамических режимов базовых моделей, проверка соответствия данным экспериментов;
- в) разработка версий симуляторов живых систем в заданных областях применения.

При решении выделенных проблем особо следует отметить важную роль выбора адекватной архитектуры используемых моделей, то есть обязательный учет в модельной схеме таких взаимодействий между элементами системы, которые позволят воспроизвести функциональные возможности, присущие живым системам. Из множества функциональных механизмов, реально действующих и обеспечивающих все необходимое разнообразие в поведении живых систем, представляются наиболее важными для изучения, моделирования и понимания следующие:

- В.1. Механизмы и варианты архитектуры обработки большого потока сенсорных данных, обеспечивающие возможность быстрого реагирования на фрагменты тех сенсорных данных, которые уже известны системе по ее прошлому опыту.
- В.2. Механизмы, особенности архитектуры преобразования и сопоставления внешних и внутренних сенсорных данных, позволяющие настроить, обучить систему на любой новый сенсорный сигнал, чтобы уметь эффективно распознавать его в дальнейшем.
- В.3. Механизмы внутренней иерархии сенсорных данных, позволяющие оптимизировать представление системы о внешнем мире и эффективно его использовать в дальнейшем функционировании.

Для этого используются широко известные к настоящему времени данные об архитектуре и функциональных операциях в управляющих нейронных сетях живых систем и соответствующих им базовых моделях. В ряде российских работ такие модели называются «нейроподобными», поскольку в них отражены и особенности архитектуры связей и характерная динамика обработки сигналов [1–4]. В тоже время в зарубежных исследованиях используют термин «нейроморфные модели» [6–8], что подразумевает аналогию в морфологической структуре взаимосвязей. Для надежной и устойчивой работы таких многоуровневых иерархических систем, важно чтобы при их конструировании использовался как можно меньший набор функциональных модулей (желательно универсальных) обеспечивающий, тем не менее, весь спектр необходимых операций для таких систем «нейроподобного», или «нейроморфного», интеллекта.

Цель данной работы состоит в рассмотрении основных базовых модулей, которые необходимо использовать при конструировании симуляционных систем, ориентированных на описание известного для живых систем набора функциональных операций (см. п. В.1.–В.3.). Показано, что выбранный набор функциональных моделей-модулей позволяет вводить определения и адекватно описывать многие экспериментальные данные о динамических режимах поведения нейроподобных систем. Например, определить и описать различные режимы осознанного и бессознательного восприятия сигналов, рассмотреть возможные механизмы восприятия времени, режимов «когнитивной слепоты» и ряда других известных для живых систем процессов реагирования.

1. Основные переменные

Рассмотрение проводится в рамках предположения, что все необходимые функциональные операции выполняются с помощью различного вида систем распознавания. Входные, выходные, а также межмодульные сенсорные сигналы представлены в виде изображений – таблиц чисел. Качество работы системы оценивается по точности принятых решений в соответствии с заданной целевой функцией, по набору

и динамике используемых системой внутренних «образов», а также времени выполнения операций. Используемые для конструирования нейроноподобные модули представляют собой универсальные модели, в которых преобразование и распознавание информационных сигналов происходит в соответствии с заданным набором требуемых функциональных операций.

«Модули 1-го уровня», представленные наборами однородных нейроноподобных систем, описывают режимы быстрого (параллельного) кодирования информационных сигналов (изображений), что соответствует выполнению функциональных операций, отмеченных в п. В.1. Обычно для таких процессов используются характерные нелинейные моды в распределенных сетях из активных (нейроноподобных) элементов. Динамические процессы преобразуют входные сигналы в наборы упрощенных изображений, которые в дальнейшем пересчитываются в наборы признаков для искомым объектов. Значимые признаки объектов отбираются в процедуре обучения (используется выборка примеров). Варианты реализаций модулей этого уровня приведены, например, в работах [1–5].

2. Простейшие когнитивные системы

Элементарные адаптивные распознающие системы с возможностями коррекции полученных ими ранее данных и знаний описываются «модулями 2-го уровня» (рис. 1) [4,13,15]. Распознающие модули такого типа ориентированы на выполнение функциональных операций, отмеченных в п. В.2. С их помощью можно формализовать описание различных режимов сознательного, бессознательного, интуитивного восприятия сигналов, предложить варианты механизмов восприятия времени о прошлых событиях и ряд других процессов, нечетко определенных в биофизике, медицине, лингвистике, философии и т.д. [22–31]. Для описания функциональных состояний «модуля 2-го уровня» используется, как минимум, следующий набор переменных:

- I_n – входной сенсорный сигнал (изображение), поступающий на обработку в распознающую систему;
- $Code_n$ – наборы векторов кодового описания входного сигнала;
- $Filter(I_n)$ – наборы фильтрующих масок, обеспечивающих наиболее точное распознавание входного сенсорного сигнала (изображения);
- Int_n – изображение, интерпретирующее входной информационный сигнал, которое генерируется распознающей системой из кодового описания входного изображения и соответствующих им фильтрующих масок;
- $A_n(En_n)$ – формализованное представление знаний в системе, включающих используемые идеи, методы, модели и алгоритмы для всех блоков в модуле (например, $A_{code}(En_n)$ – алгоритмы кодирования входного изображения в величинах $Code_n$ или $A_{decode}(En_n)$ – декодирования, когда из векторов $Code_n$ получают Int_n – изображение-интерпретацию);
- $Delta_n(Code_n)$ – вектор (или изображение) для величин ошибок (обычно используют термин «невязка»), которые определяют мотивационный сигнал и получены из сравнения наборов кодов входного изображения и кодовых описаний для предварительно ожидаемого системой изображения;
- D_n – решения, принятые распознающей системой;
- R_n – оценки уверенности, статистической достоверности принятого решения;

- *LogFiles* – кодовое описание состояний модуля (например, такты времени, индексы используемых алгоритмов, решения, оценки уверенности и т.д.);
- I_{n+1} – сигнал на выходе распознающего модуля, состоящий из набора величин $D_n, R_n, A_n(E_{n_n}), Int_n$;
- E_{n_n} – необходимые ресурсы для обеспечения активного состояния распознающего модуля при работе тех или иных алгоритмов; в самом простом случае этот параметр может описывать только одну величину – потребляемые энергетические ресурсы, требуемые для работы конкретного алгоритма.

После выполнения такта операций распознавания в модуле формируются выходные величины $I_{n+1}(Int_n, D_n, A_n(E_{n_n}), R_n)$ и $E_{n_{n+1}}$, которые передаются для взаимодействия с другими модулями в иерархической системе. Величина $E_{n_{n+1}}$ характеризует уровень созданных или оставшихся ресурсов модуля, которые определяются особенностями работы исполнительных механизмов, запускаемых на основе решения модуля D_n, R_n .

Основная отличительная особенность таких модулей (их архитектура показана на рис. 1) связана с возможностью создания в них внутренних имитационных представлений («внутренних представлений» или «внутренних имитаций») входного сигнала. С их помощью реализуется вычисление дополнительных признаков информационного сигнала, появляется возможность выполнения операций для оптимизации принимаемых решений в последующий период, когда входной сигнал уже отсутствует, а также возможность обмена «имитациями» входных сигналов между взаимодействующими «модулями 2-го уровня». Также модули описывают простейшие психологические режимы реагирования распознающей системы. «Модули 2-го уровня» могут строиться из «модулей 1-го уровня». Возможность совместного функционирования подсистемы кодирования и дополнительной подсистемы «внутренней имитации», восстановление ожидаемого входного сенсорного сигнала (опережающего отражения действительности) и циклические (или рекурсивные) процессы позволяют обеспечить выбор наиболее подходящей фильтрующей маски на входное изображение, а также подобрать наиболее точно работающий алгоритм кодирования «информационного объекта». Фильтрующие маски позволяют убрать из входного изоб-

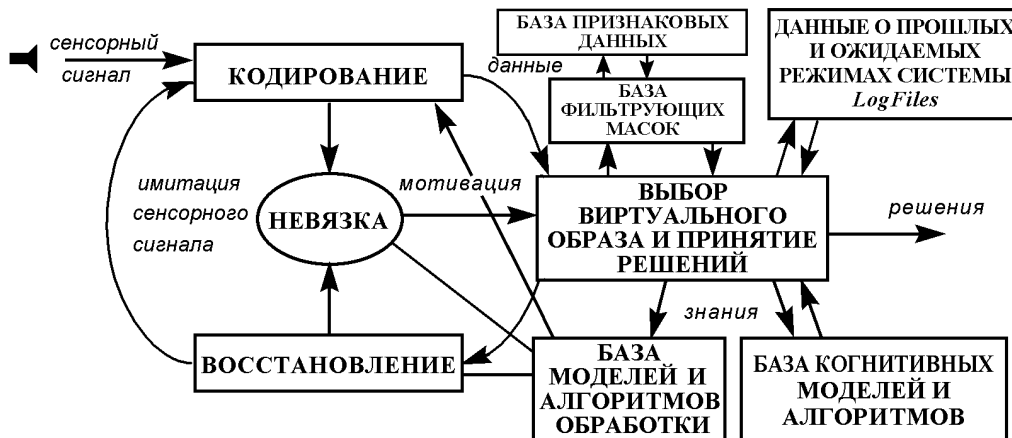


Рис. 1. Модель простейшей распознающей системы, архитектура которой позволяет имитировать (осознавать) входной сигнал (варианты этой схемы обсуждались в работах [4,13,15]). Динамические режимы состояния модели управляются целевыми функциями в блоке «Выбор виртуального образа и принятие решений» на основе сигнала из блока «Данные о прошлых и ожидаемых режимах системы»

ражения мешающие «шумовые» фрагменты и, тем самым, оставить на изображении в основном фрагменты, относящиеся к «информационному объекту». Наиболее точно работающий алгоритм кодирования исследуемого «информационного объекта» выбирается в результате циклического динамического режима кодирования – восстановления, ориентированного на минимизацию величины невязки, вычисленной при сравнении ожидаемого системой сигнала с фактическим на ее входе (см. рис. 1). Такой процесс оптимизации (циклы настройки) и повышения точности работы распознающей системы, связанный с выбором адекватных алгоритма кодирования и фильтрующей маски, можно определить как *элементарный процесс осознания* образа входного информационного сигнала.

Важно обратить внимание, что такая распознающая система «осознает» именно ту свою внутреннюю интерпретацию Int_n , которая лучше всего соответствует входному сенсорному сигналу. Такое определение процесса «осознания» позволяет снять встречающиеся элементы многозначности и путаницы при использовании термина «сознание». Только не следует забывать, что обычно эксперименты проводят с реальными иерархическими системами. Поэтому полное соответствие вводимых определений для «модуля 2-го уровня» описаниям и результатам работ [22–31] возможно лишь при рассмотрении всех необходимых для этого переменных в иерархической архитектуре. Об этих переменных пойдет речь в разделе 3 этой статьи.

Бессознательная обработка входного сигнала соответствует случаям отсутствия циклов, когда решение принимается без дополнительных проверок и используется наиболее оптимальный (точный) режим работы, который уже был найден и проверен в предыдущем опыте работы модуля. Важной интегральной характеристикой распознающего модуля является зависимость величины «мотивирующего» сигнала (по которому принимается решение) от величины невязки, вычисленной при сравнении ожидаемого и фактического сигнала на входе системы (рис. 2). Если величина полученной невязки оказывается меньше значения первого порога H_1 , то система принимает «бессознательное» решение. Таким образом, режимы бессознательной обработки и принятия решений опираются на позитивный предыдущий опыт функционирования распознающей системы, когда используются все необходимые данные для точного распознавания объектов.

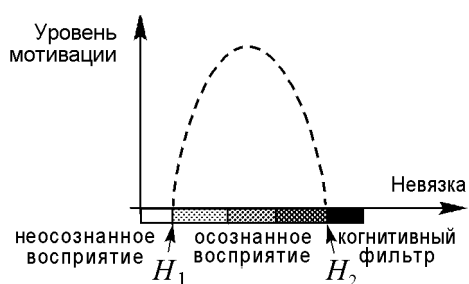


Рис. 2. Выбор режима распознающей системы в зависимости от величины невязки. Только в диапазоне значений между H_1 и H_2 величина мотивации определяет выбор режима оптимизации в наборе используемых алгоритмов классификации входного сигнала («осознанное» восприятие)

При величинах невязки больше второго порога H_2 система не воспринимает входной сигнал. В этом режиме работает «когнитивный фильтр». Он блокирует входной сигнал, а распознающий модуль принимает «бессознательное» решение об отсутствии такого входного сигнала. Система не замечает входной сенсорный сигнал, например, для экономии ее ресурсов. Работа «когнитивных фильтров» проявляется в широко распространенных случаях «когнитивной слепоты» живых систем на определенные наборы входных сигналов. Под названием «когнитивная слепота» объединяется множество

феноменов восприятия. Общим для этих феноменов является следующее: все они демонстрируют, что живые системы видят на самом деле меньше, чем им кажется, что они видят. Значения порогов H_1 и H_2 зависят от предыдущего опыта, целевых функций и характера взаимодействия с другими распознающими модулями в полной иерархической системе.

Величина невязки в диапазоне порогов между H_1 и H_2 приводит к запуску операций настройки системы с использованием «внутренней имитации» ожидаемого или предполагаемого входного сигнала, циклических процессов сравнения с входным сенсорным сигналом и выбором наиболее оптимального решения. Определение такого режима как *элементарного режима «осознания»* входного образа сигнала в модельной системе соответствует всем известным автору экспериментальным данным. Величину мотивации в этом случае можно использовать в выборе наиболее эффективной, на основе предыдущего опыта, оптимизационной процедуры. Циклическая обработка, в первую очередь, ориентирована на компактное описание образа в пространстве признаков, формирование фильтрующих масок на шумовые области входного изображения и вычисление дополнительных признаков сходимости рекурсивной процедуры настройки. В блоке «Выбор виртуального образа и принятие решений» вычисляются также и интегральные оценки, определяющие уровень «достоверности», надежности принятого решения. Эти оценки связаны с описанием одной из компонент «эмоций» в системе. Определяющую роль в процессе настроек, «осознания» распознаваемого образа, играет используемый набор моделей, обеспечивающий наиболее точную классификацию исследуемого образа. Важно также, чтобы время $T_{\text{созн}}$, требуемое на выполнение операций «осознания», было меньше, чем требуется обстановкой, в которой работает система, для реакции на входной сигнал. Нарушение упомянутого ограничения приведет к запуску дополнительных «контролирующих» модулей из иерархической архитектуры, например, модуля оценки «стресса и шока» (см. раздел 3). Поскольку при бессознательной обработке работает только алгоритм кодирования сигнала, то время такой бессознательной реакции $T_{\text{бессозн}}$, естественно, меньше $T_{\text{созн}}$. Бессознательные режимы, в первую очередь, формируются для распознавания объектов, на которые система уже была хорошо обучена в предыдущем опыте. При этом невязка между ожидаемой имитацией и реальным входным изображением объекта меньше первого заданного порога H_1 , а циклическая обработка, ориентированная на настройку алгоритмов на входное изображение и связанные с ним фильтрующие маски, уже не требуется. Интегральные оценки, «эмоции», не вычисляются и, следовательно, «осознание» сенсорного сигнала отсутствует. В рамках модельной архитектуры, изображенной на рис. 1, могут быть рассмотрены разные варианты бессознательных режимов, связанные с работой блока, сохраняющего «Данные о прошлых и ожидаемых режимах системы».

В этой подсистеме формируется индексное описание состояний всего «модуля 2-го уровня» в прошлом и планируемых операций в ожидаемый период времени (рис. 3). Фактически, эта подсистема выполняет операции, аналогичные эпизодической памяти в живой системе,

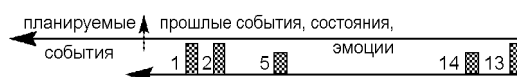


Рис. 3. Пример схемы кодирования состояний модуля в блоке «Данные о прошлых и ожидаемых режимах системы» – аналог «эпизодической памяти» в живых системах. Цифрами пронумерованы используемые алгоритмы, а высота столбиков отражает величины невязок, которые определяют мотивационный сигнал и характеризуют уверенность в принятом решении

и позволяет обеспечивать автономное функционирование в рамках заданных сценариев. Например, обращение к этому виду памяти за информацией о прошлых событиях позволяет реализовать сценарий минимизации ошибок принятия решений на основе имеющегося у нее опыта. Однако естественно предполагать существование, как минимум, двух этапов в работе системы: а) выполнение целевого задания; б) анализ результатов выполнения целевого задания.

На этапе анализа уже полученных результатов система имеет возможность возвращаться к результатам прошлых событий и оптимизировать процедуры анализа, классификации и принятия решений. Для выбора событий, которым требуется оптимизация, используются величины невязок, записанные в блоке «Данные о прошлых и ожидаемых режимах системы». На рис. 3 они продемонстрированы высотой столбиков на оси прошлых событий. На этапе анализа точности выполнения прошлых действий в блоке «Данные о прошлых и ожидаемых режимах системы» может осуществляться выбор событий по которым требуется дополнительная коррекция. Для этого используется некоторый заданный порог $H_{эп}$ – порог в «эпизодической памяти». При этом подсистема «Выбор виртуального образа и принятия решений» может включать необходимые процедуры оптимизации алгоритмов распознавания для состояний, у которых невязка больше $H_{эп}$. Таким образом, проводится «дообучение» системы. Фактически, через такую процедуру анализа система может реализовать один из сценариев формирования целевой функции – «стимул жизни», заключающийся в увеличении точности работы алгоритмов системы на основе анализа случаев недостаточно точного принятия решений в прецедентах прошлого опыта. Как видно, использование архитектуры «модулей 2-го уровня» позволяет рассмотреть широкий набор динамических процессов, связанных с «сознательными» или «бессознательными» режимами работы. Кроме того, по характеристикам планируемых (ожидаемых) событий в блоке «Данные о прошлых и ожидаемых режимах системы» можно определять показатели ответственности, уровень «активной жизненной позиции» распознающего модуля. На рис. 3 приведен пример пассивного, нечего не предсказывающего, можно сказать, «безответственного» модуля.

Важно отметить, что время $T_{эп}$, определяющее шаги (временные интервалы) между событиями, которые анализируются в «эпизодической памяти», уже не будет соответствовать реальным интервалам времени в прошлом. Например, если на рис. 3 лишь события, использовавшие алгоритмы 1, 2 и 13 превысили порог $H_{эп}$, то оценки интервалов «внутреннего времени» $T_{эп}$ между событиями 1–2 и 2–13, будут одинаковыми (то есть $T_{эп}[1(-)2] = T_{эп}[2(-)13]$). Следовательно, «внутреннее время» прошлых событий на рис. 3 будет оцениваться как состоящее из следующих времен: $T_{созн}[1] + T_{эп}[1(-)2] + T_{созн}[2] + T_{эп}[2(-)13]$. Эти характерные времена с определяющими их совместную работу процессами, по-видимому, и будут составлять тот единый механизм, который определяет осознание «внутреннего времени» происходящих событий в системах с рассматриваемой архитектурой.

Кроме того, дополнительные признаки-индексы в подсистеме «Данные о прошлых и ожидаемых режимах системы» могут быть использованы другими распознающими «модулями 2-го уровня» для формирования «второй сигнальной системы» – языка описания входных и внутренних сенсорных сигналов. Фактически, эти дополнительные «модули 2-го уровня» обеспечивают выполнение операций, связанных с логической обработкой входных информационных сигналов (см., например, [9, 10]).

Использование распознающих систем с архитектурой «модулей 2-го уровня» позволяет также предложить определение, в котором выделен функциональный признак отличия интуитивных решений от бессознательных в полном соответствии с известными психофизическими данными. Определим, что основной признак интуитивных процессов связан с возможностью правильного принятия решения в условиях полного отсутствия у системы предыдущего опыта решения задачи (распознавания объекта). Система впервые решает задачу, и после некоторого промежутка времени отсутствия решения «неожиданно» находится алгоритм, позволяющий решить рассматриваемую задачу. В «бессознательных» режимах, наоборот, для обработки сигналов используются уже существующие в системе данные о распознаваемом объекте. Они были получены системой ранее в предыдущем опыте ее работы. Система уже хорошо обучена на распознавание объекта и без дополнительной оптимизации (то есть «бессознательно») находит правильный ответ. В механизме интуитивного решения, как видно из схемы на рис. 1, обязательно должен существовать канал передачи новых данных, новых «знаний», в распознающий модуль. Для этого необходимо взаимодействие с другими распознающими модулями. Причем сам факт передачи в модуль новых данных, новых «знаний», не фиксируется в блоке «Данные о прошлых и ожидаемых режимах системы». Таким образом, на первой фазе процесса распознающий модуль не может найти решение и в нем формируется большая невязка между желаемым и реальным сигналом. При этом мотивационный сигнал запускает переменную «эмоции», что приводит к «ощущению стресса». На второй фазе модуль получает алгоритм решения извне и при очередном сканировании проблем в блоке «Данные о прошлых и ожидаемых режимах системы» «неожиданно» (важный признак интуитивного решения) находит решение проблемы, невязка уменьшается ниже заданного порога принятия решения, напряжение от «ощущения стресса» в модуле снимается. Рассмотрение возможных вариантов реализации таких процессов и обсуждение методик их экспериментальной регистрации выходит за рамки данной статьи. Заметим только, что, с приведенной здесь точки зрения, описание понятия «интуиции» в ряде работ (например, [9,10]), скорее следует отнести к «бессознательно-ассоциативным» режимам принятия решений.

Итак, рассмотренные модели позволяют ввести определения и формализовать описание процессов, которые определяют выполнение когнитивных операций. К ним относятся те, которые направлены на изменение объема и качества работы «знаний» системы, а также объема данных в подсистемах «База признаковых данных» и связанных с ними «Базой фильтрующих масок», «Базой моделей и алгоритмов обработки», «Базой когнитивных моделей и алгоритмов», и в подсистеме «База данных о прошлых и ожидаемых режимах системы». Те когнитивные операции, которые приводят к увеличению точности принятия решений, можно считать положительными, а к повышению ошибочных решений – деструктивными.

Кроме того, сопоставление архитектуры и возможных динамических режимов работы «модулей 2-го уровня» с известными автору данными о поведении живых систем, позволяет постулировать утверждение: *определяющий признак живой системы заключается в возможности внутренней интерпретации распознающей системой входного сигнала и использовании этой интерпретации для оптимизации текущего решения на основе прошлого опыта.* При этом оптимизация текущего решения реализуется в тех динамических процессах, которые аналогичны сознательному, бессознательному или интуитивному принятию решений, оценкам времени в «эпизо-

дической памяти», внутренней динамике выбора целевых функций, использованию когнитивных фильтров и других процессов, свойственных живому. Для более подробного обоснования сформулированного утверждения требуются дополнительные обсуждения.

Проблемы ближайшего будущего при создании симуляторов живых систем связаны с реализацией задач в следующих весьма объемных областях исследований и разработок:

- разработка аналитических методов и компьютерных моделей для исследования динамических режимов работы «модулей 2-го уровня»;
- изучение и классификация основных динамических режимов при работе с «модулями 2-го уровня» согласно данным соответствующих экспериментов [26, 27] (включающих «бессознательные» реакции, «сознательную» настройку, уходы в состояние блокировки входного сигнала «когнитивными фильтрами», разные комбинации с переключениями между такими состояниями и т.п.);
- разработка демонстрационных программ для выделения набора заранее заданных объектов [11], формирование описания «сцен» на изображениях, формирования «целевых функций» системы на основе прошлого опыта ее работы и т.д.;
- разработка версий симуляторов для наиболее важных прикладных операций, воспроизводящих способности живых систем (см., например, [11–14]).

Понятно, что в каждом из перечисленных пунктов содержится широкий спектр задач с детализацией в зависимости от характера приложений.

Все этапы приведенного здесь формализованного описания соответствуют известному набору экспериментальных данных и снимают элементы многозначности и путаницы при использовании их в медицине, лингвистике, философии и т.д. [22–31].

3. Иерархические когнитивные системы

Следующий шаг, соответствующий требованиям биологической правдоподобности базовых моделей, связан с необходимостью рассмотрения модулей с иерархической архитектурой [9,10,12–15] из простейших «когнитивных систем». Этот уровень модельного описания получил название «модули 3-го уровня». Их архитектура состоит из иерархии взаимодействующих элементарных распознающих «модулей 2-го уровня». Тогда описание входных сигналов (изображений) по какому-либо выбранному сенсорному каналу должно проводиться на различных понятийных уровнях L (на каждом уровне могут работать несколько однотипных «модулей 2-го уровня»).

Такие модели позволяют описывать более сложные когнитивные процессы, происходящие на высших уровнях управления поведением живых систем (см. п. В.3 на стр. 131). Для описания состояний и анализа процессов обработки сенсорных сигналов в таких системах необходимо оперировать уже с иерархическими наборами образов. Используя теорию графов*, в такой иерархической архитектуре полное модельное описание состояний распознающего «модуля 3-го уровня» должно основываться на рассмотрении переменных, включающих описание на всех L понятийных уровнях:

*См., например, <http://book.itep.ru/10/grap1021.htm>.

- граф величин мотивации $\Delta_{L_n}(Code_{L_n})$;
- графы загруженных алгоритмов $A_{L_n}(En_{L_n})$ и фильтрующих масок $Filter_{L_n}(I_{L_n})$, характеризующие процесс внимания;
- графы процессов сознательной или бессознательной обработки, определяемые наборами соответствующих алгоритмов $A_{code}(En_n)$, $A_{decode}(En_n)$ и временами $T_{L_{consci}}$, $T_{L_{unconsci}}$ их срабатывания;
- графы D_{L_n} для принятых решений.

Для модельного описания автономных свойств живых систем (способность ориентироваться, в основном, на внутренние информационные и энергетические ресурсы) необходимо использовать распознающие модули, которые могут формировать интегральные модельные представления о внешней ситуации и о возможных состояниях всей иерархической системы (модуль самоосознания системы). Эти модули собирают, обрабатывают и принимают решение по набору самых необходимых показателей, которые в выбранной конкретной ситуации характеризуют интегральное состояние иерархической системы. Этот процесс контроля модулей верхних уровней над состоянием и функционированием модулей нижних уровней можно определить как понятие, которое в психологии связывают с функционированием того «нечто», что ассоциируется с «Я» – ЕГО всей автономно выделенной живой системы. В модуле «Я» предполагается одновременная работа распознающих систем, связанных с алгоритмами описания следующего набора сценариев поведения: «учитель», «взрослый», «ребенок» [15]. К ним, как видно из экспериментов, следует добавить систему для распознавания, предсказания оценки уровня «безопасности–опасности» текущего состояния системы при выполнении заданного набора операций.

Как показывает анализ психофизических данных, объем потока информационных сигналов к блоку «Я», по-видимому, определяется той ситуацией, в которой работает живая система, и осознавать она может только те сигналы из поступающего в него интегрального потока, которые пропустит фильтр на входе модуля «Я». Именно поэтому в интегральной иерархической системе оптимизационные процессы анализа прошлых ошибочных решений могут восприниматься в блоке «Я» как в «сознательном», так и в «бессознательном» режимах. При этом, в каждом из ниже лежащих модулей анализ прошлых ошибочных решений из «эпизодической» памяти происходит в «сознательном» режиме.

Для более реалистичной интерпретации экспериментальных наблюдений и данных на основе модельных представлений необходимы их дальнейшие уточнения. Они связаны с формированием следующего уровня иерархии из взаимодействующих «модулей 3-го уровня». Данные экспериментов указывают, что в живых аналогах осуществляется совместное функционирование, как минимум, четырех однотипно устроенных модулей (см., например, [13]):

- а) информационный модуль – формирование моделей и принятие решений по сигналам от различных информационных каналов (в живых системах к известным сенсорным каналам, например, относятся: зрительная система, слуховая система, кожная и вкусовая системы, система обоняния, интерорецепция, вестибулярная система);
- б) мышечный модуль – управление функциональным состоянием исполнительных механизмов;
- в) эмоциональный модуль – вычисление интегральных оценок для состояний или выполняемых операций модулей (шкалы «комфорт-дискомфорт», «сила-слабость» и т.п.);
- г) вегетативный модуль – управление уровнями энергетического обеспечения.

Было показано, за счет взаимодействия определенных элементов «эмоционального» и «вегетативного» модулей выполняется очень важная для живых систем функция реагирования, связанная с процессами «стресса и шока» [17,18]. Поэтому в разрабатываемом симуляторе живых систем необходимо специально выделять такой модуль и изучать его роль в управлении поведением и принятием решений.

Автономное функционирование таких многомодульных систем определяется целевым сценарием, направленным на снижение ошибок между внутренними предсказаниями, ожидаемыми величинами сигналов и реальным потоком входных сенсорных сигналов. Эти ошибки определяют величины в графе мотиваций и соответственно влияют на уровень «тревожности» в эмоциональном модуле.

Многомодульные системы могут быть настроены на выполнение операций с образами и ассоциативным принятием решений («правополушарные» функции), с детальным описанием внутренней конструкции образов («левополушарные» функции), либо на совместную работу «лево- и правополушарных» систем.

Количественная оценка «интеллекта» таких многомодульных распознающих систем определяется числом используемых алгоритмов для выполнения заданной операции и точностью ее выполнения в заданной области обрабатываемых данных.

При конструировании устройств, симулирующих потребности и поведение человека в соответствии с данными практических психологов (см., например, [29–31]), следует, как минимум, включать группы распознающих модулей, приведенные в таблице.

Реализация распознающих систем, ориентированных на анализ и обработку данных об известных ситуациях и сценариях поведения, перечисленные в таблице, позволит формализовать описание индивидуальной динамики состояний людей, их действий, а также повысить точность прогноза результатов их взаимодействия. Это необходимо для того, чтобы люди, в первую очередь, научились понимать самих себя, видеть механизмы формирования их мотиваций и оценивать гармоничность работы имеющихся у них распознающих модулей (хотя бы тех, которые приведены в демонстрационном перечне – второй столбец в таблице).

Круг проблем, связанный с исследованием возможных режимов функционирования «модулей 3-го уровня», весьма широк, и его конкретизация определяется планируемыми областями применения разрабатываемых симуляторов. Приведем некоторые из них.

- Исследование динамики взаимодействия многих агентов (в виде «модулей 2-го уровня») при различном объеме их «знания», опыта работы, вида целевых функций и других характеристик. Результаты ориентированы на оценку уровня возможной эффективности коллективной работы в социальных группах, характеристик «когнитивной слепоты» агентов и возможных последствий их взаимодействия.
- Разработка основных распознающих систем в «модулях 3-го уровня» для описания психологического портрета человека. Это позволит сделать реальным проект «цифрового двойника человека». Результат ориентирован на возможность формализации данных в психологических исследованиях, а также на проведение индивидуальной медицинской диагностики человека.
- Проблемы, связанные с разработками и применением адаптивных, «интеллектуальных» систем.

Таблица

Типы модулей	Области действий распознающих модулей [29–31]	Соответствующие группы людей с разными жизненными интересами [29–31]
I. Набор распознающих систем, определяющих состояние и поведение индивидуального устройства (человека).	I.a. Действия индивида в экстремальных ситуациях. I.б. Действия индивида в обычных жизненных ситуациях.	I.a. Наемники, киллеры, профессиональные преступники, оперативные работники спецслужб, пожарные, верхолазы и т.д. Сопереживающие болельщики футбола, боев без правил, гонок и пр. острых зрелищ и т.д. I.б. Посетители курортов, пляжей, домов отдыха, выставок, баров, дискотек, вечеринок, презентаций, концертов популярных артистов.
II. Набор распознающих систем, определяющих поведение устройства во взаимоотношениях с себе подобными (человек – общество).	II.a. Властные действия индивида в отношении к себе подобным, ответственность за других. II.б. Восторженное, лирическое, милосердное или романтическое восприятие мира.	II.a. Политики и общественные деятели, администраторы, руководители предприятий, домашние деспоты и т.д. (люди, стремящиеся любой ценой ощутить власть). II.б. Посетители фестивалей, где можно попеть, послушать песни бардов, встретить восход солнца, почитать стихи, послушать романтического проповедника и т.д. (люди, часто не понимающие реалий нашей жизни, плохо адаптированные к ней).
III. Набор распознающих систем, определяющих понимание устройством его взаимоотношений с внешним миром (человек – внешний мир).	III.a. Созидание нового, творчество. III.б. Духовное развитие и познание мира. III.в. Выполнение специальных ритуалов, трактуемых как общение с Богом.	III.a. Ученые, исследователи, художники, поэты, писатели, музыканты, скульпторы и т.д. (созидатели чего-то нового). III.б. Люди, заботящиеся о своем внутреннем развитии и познании Истины, мистики, экстрасенсы, эзотерики, шаманы, предсказатели, гадалки, маги и т.д. (духовные искатели). III.в. Верующие разных религиозных традиций.

Выводы

Приведенный набор базовых модулей и перечень наиболее очевидных динамических режимов их функционирования показывает, что известные экспериментальные данные об особенностях восприятия разнообразных сенсорных сигналов и реагирования на них живых систем могут быть адекватно описаны с помощью предложенного формализованного подхода. Архитектура модулей определяет структуру алгоритмов управления возможными техническими устройствами, симулирующими поведение их живых аналогов. Режимы осознания входного сигнала используются для настройки и повышения точности принятия решений распознающими модулями на различных уровнях обработки. Неосознанные процессы позволяют быстро классифицировать информационный сигнал и реализовать автоматические действия

в соответствии с ранее полученным опытом. Иерархическая архитектура распознающих модулей позволяет настроить всю модельную систему на использование ее опыта в прошлом для оптимальных решений в текущий момент, делает ее устойчивой к разнообразию внешних воздействий. Изучение возможных динамических режимов и их классификация для приведенных базовых модулей сейчас относится к одной из актуальных задач в области разработок симуляторов живых систем. Объем планируемых работ, конечно же, очень большой. Однако, существующие уже сейчас версии модельных описаний и разработки элементов таких систем [9–21] вселяют оптимизм. Нужен разумный и заинтересованный заказчик. Имеется реальная основа для конструирования разных версий симуляторов живых систем, с учетом их индивидуальных настроек.

Работа выполнена при поддержке Программ Президиума РАН «Фундаментальные науки в медицине», «Фундаментальные проблемы нелинейной динамики» и гранта РФФИ 11-07-12027-офи-м-2011.

Библиографический список

1. *Мастеров А.В., Рабинович М.И., Толков В.Н., Яхно В.Г.* Исследование режимов взаимодействия автоволн и авгоструктур в нейроноподобных средах. Коллективная динамика возбуждений и структурообразование в биологических тканях / Горький: ИПФ АН СССР, 1988. С. 89.
2. *Bellustin N.S., Kuznetsov S.O., Nuidel I.V., Yakhno V.G.* Neural networks with close nonlocal coupling for analysing composite image // *Neurocomputing*. 1991. Vol. 3. P. 231.
3. *Yakhno V.G., Bellustin N., Krasil'nikova I., Kuznetsov S., Nuidel I., Panfilov A., Perminov A., Shadrin A., Shevyrev A.* Research system of decision making by composite image fragments using neuron-like algorithms // *Radiophysics & Quantum Electronics*. 1994. Vol. 37. P. 625.
4. *Яхно В.Г.* Модели нейроноподобных систем. Динамические режимы преобразования информации // *Нелинейные волны – 2002* / Отв. ред. А.В. Гапонов-Грехов, В.И. Некоркин. Нижний Новгород: ИПФ РАН, 2003. С. 90.
5. *Xiao-Jing Wang.* Neurophysiological and computational principles of cortical rhythms in cognition // *Physiol. Rev.* 2010. Vol. 90, № 3. P. 1195.
6. An overview of neuromorphic systems. <http://www.neuromorphicblog.com/?p=28>
7. Fopofolu Folowosele Neuromorphic Systems: Silicon neurons and neural arrays for emulating the nervous system // *Neurdon*. 2010. August, 12. <http://www.neurdon.com/2010/08/12/>
8. *Leslie S. Smith.* Neuromorphic systems: Past, present and future// http://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=neuromorphic%20system&source=web&cd=4&ved=0CDcQFjAD&url=http%3A%2F%2Fciteseerx.ist.psu.edu%2Fviewdoc%2Fdownload%3Fdoi%3D10.1.1.187.6804%26rep%3Drep1%26type%3Dpdf&ei=vKLHTo_ZNorDswbNoo3-Bg&usg=AFQjCNFZQHM7iBmD5EG8vPapNyOOL69cTQ&cad=rjt

9. Чернавский Д.С., Карп В.П., Никитин А.П., Чернавская О.Д. Схема конструкции из нейропроцессоров, способной реализовать основные функции мышления и научного творчества // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2011. Т. 19, № 6. С. 21.
10. Чернавская О.Д., Чернавский Д.С., Карп В.П., Никитин А.П. О роли понятий «образ» и «символ» в моделировании процесса мышления средствами нейрокомпьютинга // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2011. Т. 19, № 6. С. 5.
11. Тельных А.А. Математические модели нейроноподобных сред для разработки систем обнаружения и распознавания объектов заданных классов. Дис... канд. физ.-мат. наук / М.: МФТИ, 2009. 125 с.
12. Жданов А.А. Автономный искусственный интеллект. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2008. 359 с.
13. Яхно В.Г., Полевая С.А., Парин С.Б. Базовая архитектура системы, описывающей нейробиологические механизмы осознания сенсорных сигналов // Когнитивные исследования / Под ред. Ю.И. Александрова, В.Д. Соловьева. М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2010. Вып. 4. С. 273.
14. Станкевич Л.А. Моделирование мышления и когнитивные многоагентные системы нейробиологические системы // XI Всесоюзная конференция «Нейроинформатика – 2009»: Сб. науч. тр. М.: МИФИ, 2009. Ч. 2. С. 208.
15. Яхно В.Г. Динамика нейроноподобных моделей и процессы «сознания» // VIII Всероссийская науч.-тех. конф. «Нейроинформатика – 2006»: Лекции по нейроинформатике. М.: МИФИ, 2006. С. 88.
16. Эрик Берн. Игры, в которые играют люди. Психология человеческих отношений. Люди, которые играют в игры. Психология человеческой судьбы / Пер. с англ. Общ. ред. М.С. Мацковского; Послес. Л.Г. Ионина и М.С. Мацковского. СПб.: Лениздат, 1992. 400 с.
17. Парин С.Б., Яхно В.Г., Цверов А.В., Полевая С.А. Психофизиологические и нейрохимические механизмы стресса и шока: Эксперимент и модель // Вестник Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского. Нижний Новгород: Изд-во ННГУ, 2007. № 4. С. 190.
18. Парин С.Б. Роль эндогенной опиоидной системы в формировании экстремальных состояний. Дис... д-ра б. наук / М., 2011. 491 с.
19. Самсонович А.В. Метакогнитивные архитектуры как новая парадигма в моделировании мозга и мышления // XIII Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика–2011»: Лекции по нейроинформатике. М.: НИ-ЯУ МИФИ, 2010. 130 с.
20. Сайт стратегического общественного движения «Россия 2045».
<http://www.2045.ru/>
21. Кабаков Б.Л. А mouse – виртуальная мышь-анимат, программа-симулятор.
<http://www.animatlab.ru>
22. Величковский Б.М. Когнитивная наука. Основы психологии познания. М.: «Смысл», 2006. В 2-х томах.
23. Иваницкий Г.Р. XXI век: Что такое жизнь с точки зрения физики // УФН. Т. 180, № 4. Р. 337.

24. *Реутов В.П., Шехтер А.Н.* Как в XX веке физики, химики и биологи отвечали на вопрос: Что есть жизнь? // УФН. 2010. Т. 180, № 4. Р. 393.
25. *Рабинович М.И., Мюезинолу М.К.* Нелинейная динамика мозга: Эмоции и интеллектуальная деятельность // УФН. 2010. Т. 180, № 4. Р. 371.
26. *Полевая С.А.* Интегративные принципы кодирования и распознавания сенсорной информации. Особенности осознания световых и звуковых сигналов в стрессовой ситуации // Вестник НГУ. 2008. Т. 2, вып. 2. С.106.
27. *Полевая С.А., Парин С.Б., Стромкова Е.Г.* Психофизическое картирование функциональных состояний человека // Экспериментальная психология в России: Традиции и перспективы / Под ред. В.А. Барабанщикова. М.: Изд-во «Инст. психологии РАН», 2010. С. 534.
28. *Дилтс Р.* Фокусы языка. Изменение убеждений с помощью НЛП. СПб.: Питер, 2002. 320 с.
29. *Маслоу А.* Мотивация и личность. 3-е изд. / Пер. с англ. СПб.: Питер, 2008. 352 с.
30. *Раджниш Б.Ш.* Ошо – психология эзотерического. М., 2004. 160.
31. *Свияш А.* Проект «Человечество»: Успех или неудача? Размышления о людях и их странном поведении. М.: АСТ: Астрель, 2006. 286 с.

*Институт прикладной физики РАН
Нижний Новгород*

Поступила в редакцию 8.12.2011

DYNAMIC MODES OF THE SENSOR SIGNAL CONSCIOUSNESS IN NEURON-LIKE MODELS: WAYS TO THE «NEUROMORPHIC» INTELLECT AND PROBLEMS

V.G. Yakhno

Universal models of neuron-like type, from which the systems of transformation and identification of information signals are constructed in accordance with pre-determined goals are considered. The models of different levels in a model system are aimed at performing functional operations characteristic of live systems. The presented set of base models and the most obvious dynamic modes of their operation can adequately describe the features of conscious perception and response of live systems to various sensor signals. The models with biologically inspired architecture are used for the creation of technical devices (simulators) which permit one to reproduce the main features of the behavior of live systems.

Keywords: Neuron-like modules, consciousness–unconsciousness, time estimation in episodic memory, making decision dynamics, intuition, cognitive filters.

Авторские сведения Яхно В.Г. см. на стр. 129.