

Системы штучного интеллекту

УДК 004.8

Ю.В. Паржин

Национальный технический университет "ХПИ", Харьков

МОДАЛЬНО-ВЕКТОРНАЯ ТЕОРИЯ ФОРМАЛЬНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В работе предложен формальный подход к построению интеллектуальных систем, способных решать задачи "сильного" интеллекта. Данные системы строятся из универсальных модулей, функционирующих по единому алгоритму без применения математических процедур преобразования информации. В основе построения и функционирования модулей лежит принцип формирования вектора значений (мод) определенных характеристик распознаваемого образа с его последующим имплицитивным отображением в точку (детектор) зоны вышестоящего уровня иерархии модулей. В работе дано описание структуры и функционирования модуля, а также основные определения предлагаемой теории.

Ключевые слова: искусственный интеллект, формальная система, распознавание образов, модально-векторная теория.

Введение

Актуальность. Принято считать, что интеллектуальные системы (ИС), которые могли бы рассматриваться как системы реализующие "сильный интеллект", являются слабо формальными системами, в отличие от сильных формальных систем, например, кибернетических систем. По мнению некоторых исследователей это связано со способностью ИС решать творческие или эвристические задачи, т.е. задачи, алгоритм решения которых системе априори не известен. Кроме того, ИС обрабатывают большие объемы качественной информации - слабо структурированной, слабо формализованной информации, т.е. информации, строгое количественное описание которой в рамках существующих математических моделей (формализмов) является проблематичным. Существующие слабо формальные системы или неформальные системы не являются универсальными системами и способны решать задачи узкой предметной области. В связи с этим, в математической информатике выделяют две парадигмы: информационную парадигму, лежащую в основе теории сильно формальных систем (кибернетических систем) и связанную со сбором и преобразованием информации о внешней предметной области, а также рефлексивную парадигму, лежащую в основе теории слабо формальных систем (ИС) и связанную со сбором и преобразованием информации, а точнее семантической информации, о поведении (рефлексии) самой системы [1].

Гипотеза Маунткласа [2] о том, что мозг или точнее неокортекс имеет модульное иерархическое строение, все модули имеют аналогичную структуру и выполняют, в принципе, один и тот же алгоритм преобразования информации, не связанный с вы-

полнением арифметических операций или их последовательности, нашла свое подтверждение во многих исследованиях современной нейробиологии, в частности, в результатах работ нобелевских лауреатов Хьюбела и Визеля [3] и одной из наиболее интересных работ по искусственному интеллекту (ИИ) последнего десятилетия Дж. Хокинса [4].

Каждый модуль любой системы восприятия либо моторной системы обрабатывает информацию, полученную, как правило, от множества нижестоящих по уровню иерархии модулей информационной системы (назовем этот информационный поток *основным или восходящим*), а также от определенных групп модулей, находящихся на более высоких уровнях иерархии (данный информационный поток назовем *нисходящим или управляющим*). Кроме того, существует взаимосвязь модулей одного уровня иерархии в пределах определенных зон (например, рецептивных полей) в виде горизонтальных связей. Очевидным результатом работы каждого модуля является свертка восходящего информационного потока до *множества* определенных реакций единичных нейронов – детекторов на выходе модуля. Этот факт, в частности, послужил основой создания концепции нейронных сетей на основе модели нейронного элемента (НЭ) Маккалока-Питтса. Первенство формулировки гипотезы о том, что данная реакция является как результатом, так и сутью процесса абстрагирования конкретной информационной последовательности в восходящем информационном потоке, возможно, принадлежит Дж. Хокинсу [4]. Автор положил в основу работы каждого модуля идею "память-предсказание", смысл которой заключается в сравнении текущей реакции модуля с "предсказанной" реакцией от вышестоящего модуля, полученной ранее при аналогичной ситуации. Таким образом, по идее

Хокинса, высшие модули иерархической системы либо не принимают участия в активном распознавании знакомых образов, процессов, ситуаций, либо пассивно отслеживают их, что позволяет параллельно решать другие интеллектуальные задачи. Данная работа, как и множество других работ по ИИ, к сожалению, представляет собой популярное изложение научных гипотез и не дает ответов на большинство практических вопросов разработки реальных систем. И хотя были предприняты попытки формализовать идеи Хокинса, например, в Hierarchical Temporal Memory (HTM) – нейронных сетях, построенных на основе байесовских процедур [5], нерешенными остаются множество вопросов, в частности, касающихся построения механизмов формирования "инвариантных репрезентаций" (в данном предложении в кавычках – терминология Дж. Хокинса) т.е. классификации, идентификации, ассоциативного распознавания; "разворачивания репрезентаций" по обратным связям; формирования и хранения "последовательности последовательностей"; обучения с учителем и без учителя, а также множество других практических аспектов. Вызывает сомнение и основной принцип "память-предсказание". Для чего организовывать обратный поток "предсказаний", если на каждом уровне иерархии хранятся последовательности "инвариантных (для данного уровня) репрезентаций"? Следовательно, новизну воспринимаемой информации либо ее отсутствие можно определить на любом уровне без привлечения вышестоящих модулей или подтверждения нижестоящих. Проблема "освобождения" вышестоящих модулей для параллельного решения других интеллектуальных задач, не связанных с распознаванием воспринимаемых образов, должна решаться в результате существования репрезентативной подсистемы (РС), организующей "сознательную" деятельность мозга и управляющей презентативной подсистемой (ПС), служащей для реализации процессов распознавания и запоминания [6]. Основная идея подхода "память-предсказание" лежит и в основе более простой адаптивно-резонансной теории построения нейронных сетей [7]. К сожалению, данная теория также не решает основные проблемы данного формализма.

В приводимых исследованиях, обосновывается новая парадигма, выдвинутая в работе [8], рассматривающая возможность построения ИС как сильно формальной системы, способной решать задачи "сильного интеллекта" [9]. Данные системы будем называть *формальными интеллектуальными системами* (ФИС). Общие подходы к построению ФИС рассмотрены в работах [6, 8, 10]. ФИС строятся из универсальных модулей, функционирующих по единому алгоритму обработки информации. В основе построения модуля лежит современное представление нейробиологии об интегративных механизмах, происходящих в неокортексе и, в частности, в

зрительной коре [11, 12]. Изложение подхода будет осуществлено в рамках ограничений, представленных в работе [10] без строгой привязки к цитоархитектонике рассматриваемых зон неокортекса.

Основные результаты исследований

Пусть восходящий информационный поток на входе модуля D представлен в виде множества $A = \{a\}$ возбужденных нейронов – детекторов элементов воспринимаемого образа реального мира, сформированных на предыдущем уровне иерархии системы в результате выполнения некоторой функции, суть которой состоит в осуществлении процесса абстрагирования. Предположим, что результатом обработки восходящего информационного потока модулем D являются возбужденные детекторы, образующие множество $B = \{b\}$. Назовем данные множества входящим (A) и выходящим (B) информационным полем модуля D. Следовательно, одним из предназначений данных полей, но очевидно далеко не единственным, является хранение абстракций – результатов обработки информации модулем или множеством модулей, определенного уровня иерархии системы.

Какие же функции по обработке информации должен выполнять модуль D? Для ответа на этот вопрос сформулируем требования к D и определим задачи решаемые D.

1. Одним из основных требований является *универсальность D*. В основе функционирования D лежит механизм обработки информации универсальный в том смысле, что любому уникальному подмножеству возбужденных детекторов поля A должен ставиться в соответствие уникальный возбужденный детектор поля B. Детектор является возбужденным, если на его вход поступает сигнал возбуждения e по восходящему либо нисходящему информационному потоку. При реализации функции отображения $\{a_1, \dots, a_j, \dots, a_k\} \rightarrow b_m$ достигается универсальность D, состоящая в том, что структура модуля и алгоритм его работы не зависят от источников, значений либо характеристик возбужденных детекторов поля A. Следовательно, данный модуль может быть использован на любых иерархических уровнях обработки информации. Уникальность подмножества поля A определяется установлением порядка (вектора) уникальных элементов – детекторов

$$\{a_1, \dots, a_j, \dots, a_k\}, \quad (1)$$

каждый из которых может возбуждаться в различные моменты времени в зависимости от структуры воспринимаемого образа.

В процессе установления порядка решающую роль играет выбор точек (элементов) начала (тн) и конца (тк) порядка. Для выбора данных точек на разных уровнях иерархии существуют определенные механизмы:

- на нижнем уровне детектирования структурных элементов образа – механизм фокусировки глаз и совершения саккад с помощью которого осуществляется процесс "захвата" контура изображения по критическим точкам [10];

- структурно (для неокортекса - генетически) заданный механизм определения критических точек (концов отрезков или кривых, вершин углов);

- основным механизмом установления порядка для большинства модулей является упорядочивание элементов по времени их возбуждения: первый возбужденный элемент захватывает лидирующую позицию в порядке (*t-конкуренция*);

- механизм установления порядка с помощью управляющего информационного потока задает тн-тк либо промежуточные элементы порядка для выбора альтернативных цепочек детекторов из локусов.

Механизм установления порядка должен быть тесно связан с механизмом изменения порядка – выбором альтернативных тн-тк. По сути это один итеративный процесс, в котором задействованы соседние по уровню иерархии модули, восходящие и нисходящие информационные потоки. Альтернативный выбор, например, может осуществляется в процессе классификации образов при сравнении сформированной цепочки с концептом [8] или в процессе проведения "мысленного эксперимента" для решения интеллектуальных задач (задач выбора и "предсказания").

С содержательной точки зрения каждый детектор формирует некоторое значение или пример определенной характеристики: пространственной, структурной, временной или их комбинаций. Классификация данных характеристик, переход от одних характеристик к другим в результате формирования детектора порядка рассмотрен в работе [8]. Отметим, что фиксируемые комплиментарные характеристики $Fix(y)$ как правило, заданы структурно (для неокортекса – генетически), например, направления ориентации отрезков, направления обхода контуров изображений, местоположение стимулов - структурных элементов изображения во внутренней системе координат ФИС и др. В общем случае, структурно заданные характеристики на каждом уровне обработки информации ПС ФИС являются *опорными* для *вариативных* характеристик $Var(x)$. Упорядочивание значений вариативных характеристик модулем D представляет собой установление линейного порядка на подмножестве возбужденных детекторов поля A. Упорядочивание опорных характеристик осуществляется в процессе формирования зон и подзон – структурно заданных подмножеств детекторов поля B. Если элементы в зоне (подзоне) строго упорядочены (структурно либо в процессе обучения), то данная зона (подзона) является *шкалой*.

Таким образом, модуль D должен иметь интегрирующую подструктуру, в которой на основе операции установления порядка происходит синтез детекторов структурных элементов более высокого уровня общности. Следуя [8], будем называть эту подструктуру *экраном* или *процессором*.

2. Следующим требованием к D является *адаптивность* - возможность расширения множества детекторов поля B в процессе обучения, т.е. данное поле должно содержать достаточно мощное множество неактивных нейронов (НЭ) "захватываемых" т.е. активизируемых модулем в процессе обучения.

3. Требование *обучаемости* модуля D с учителем и без него тесно связано со вторым требованием. Вопросы обучаемости модулей ПС ФИС при формировании концептов распознаваемых образов подробно рассмотрены в работе [8].

4. При выходе из строя детекторов полей A и B должна существовать возможность их *восстановления* - оперативной замены из резервного множества неактивных НЭ. Данный механизм должен быть аналогичным механизму обучения модуля.

5. Каким бы ни была мощность полей A и B, в результате накопления модулем D большого объема информации возникает проблема размерности данных полей и скорости выполнения поисковых операций существующих последовательностей детекторов. Для решения данной проблемы должен существовать *механизм сжатия (компрессии)* памяти детекторов полей и памяти распознанных (классифицированных) последовательностей.

6. Для реализации процессов перехода детекторов полей A и B в состояние актуального либо латентного возбуждения [8], должны осуществляться механизмы *управляемости* D вышестоящими по уровню иерархии модулями и *управления* D нижестоящими модулями. Управляющие воздействия (сигналы) должны распространяться по нисходящему информационному потоку.

Последовательность (1) возбужденных детекторов поля A, устанавливаемая процессором модуля D, представляет собой образ Q_i восходящего информационного потока. Данный образ обладает определенным уровнем абстрагирования, относительно воспринимаемого образа реального мира на входе ПС, соответствующим уровню иерархии модуля. Таким образом, модуль D постоянно решает основную задачу *классификации* Q_i , суть которой состоит в установлении зоны b ($b \in B$) отображения $Q_i \rightarrow b$ в результате сравнения с концептом класса распознавания $Conc(Q)$, сформированным в процессе обучения модуля [8]. Если цепочка $Conc(Q)$ входит в качестве подструктуры в порядок (1), то формируется отображение $Q_i \rightarrow b_m$ ($b_m \in b$), где точка отображения b_m – детектор в зоне b . В последнем случае модуль D решает задачу *идентификации* Q_i .

Если образ q_i входит в качестве подструктуры в цепочку $\text{Conc}(Q)$ ($q_i \in \text{Conc}(Q)$), то решается задача ассоциативного распознавания Q_i или ассоциативной идентификации Q_i ($q_i \in \text{Conc}(Q)$). В процессе ассоциативного распознавания задействуются концепты подобразов q_i сложного образа Q [8].

Второй основной задачей, решаемой D является запоминание входящего образа Q_i и установленной реакции отображения b_m .

Исходя из сформулированных требований и задач, построим структурную схему модуля D (рис. 1).

На данной структурной схеме сплошными линиями со стрелками указан восходящий информационный поток, пунктирными – нисходящий информационный поток. В полях A и B детекторы структурных элементов образа обозначены кружками. Поле V модуля D является полем A модуля $D+1$ более высокого уровня иерархии. Множество детекторов, принадлежащих одному классу распознавания, образуют зону, обозначенную пунктирным овалом. Возбуждение любого детектора поля приводит к возбуждению семантического определителя (СО) класса распознавания – детектора взаимосвязи с РС [10]. СО формируется в процессе обучения ФИС с учителем и может ставиться в соответствие как целой зоне (подзоне) детекторов, так и отдельному идентификационному детектору. Процессор модуля упорядочивает возбужденные детекторы поля A . Процесс построения порядка показан стрелкой. Первый возбужденный детектор поля (t -конкуренция) образует t_n , а последний – t_k в упорядоченной цепочке детекторов. На схеме t_n и t_k – заштрихованы. Сформированная цепочка Q_i параллельно сравнивается со всеми существующими концептами $\text{Conc } 1 - \text{Conc } N$. Концепты играют роль ключей фреймов – зон памяти цепочек, где каждая цепочка – пример соответствующего класса распознавания.

$$\text{Conc}(Q) \subseteq Q_i; \quad (2)$$

$$\text{Conc}(Q) \neq \text{Conc}(J). \quad (3)$$

Содержательно каждый концепт в процессе обучения упрощается и приобретает структуру простейшего редуцированного образа класса распознавания [6].

Если сравнение дало отрицательный результат, т.е. образ встречается впервые, то Q_i становится концептом нового класса распознавания с дальнейшей трансформацией в процессе обучения [8]. В данном случае срабатывает механизм адаптации модуля D к новым условиям (восприятию новой информации).

Если в структуре Q_i существует цепочка элементов, полностью совпавшая с одним из концептов, то образ Q_i сравнивается со всеми примерами данного класса

распознавания, хранящимися во фрейме. Если образ Q_i ранее был распознан (идентифицирован), то отображение $Q_i \rightarrow b_m$ уже существует и возбуждается детектор b_m в зоне b поля B .

Если образ Q_i распознан, но не идентифицирован (ранее не встречался в процессе функционирования ФИС либо не сохранился в памяти цепочек), то цепочка элементов, соответствующая данному образу занимает свободное поле во фрейме класса распознавания. На рис. 1 образ Q_i во фрейме занимает ("захватывает") поле, заштрихованное наклонными линиями (не заштрихованные поля – свободны). В данном случае не существует отображение $Q_i \rightarrow b_m$. Происходит процедура "захвата" свободного детектора b_m (НЭ) в зоне b , соответствующей данному классу распознавания и установление отображения $Q_i \rightarrow b_m$. Отметим, что новый пример (цепочка) может быть сохранен только во фрейме одного класса распознавания. Если изменения в структурах множества $\{Q_i\}$ имеют монотонный характер и могут быть упорядочены в памяти фрейма, то данный порядок сохраняется и на множестве детекторов $\{b_m\}$. Таким образом зона b приобретает свойство шкалы.

Если в структуре образа Q_i существуют цепочки, которые совпадают с несколькими концептами, то, соответственно, одновременно возбуждаются несколько детекторов, принадлежащих разным зонам поля B . Так, на рис. 2 одновременно возбуждены два детектора b_{1m} и b_{Nm} . Возникает проблема выбора. Данная проблема решается установлением различного уровня возбуждения детекторов.

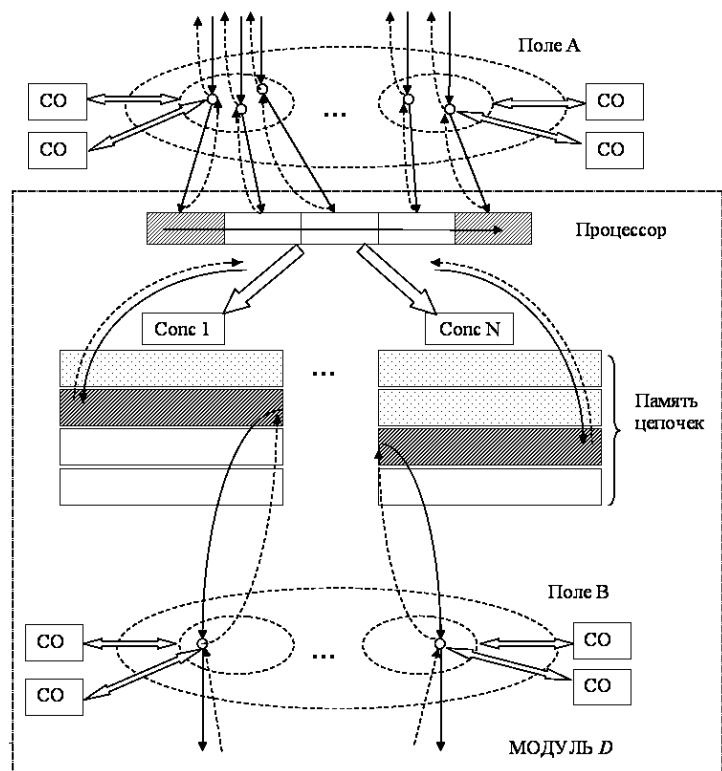


Рис. 1. Структурная схема универсального модуля D ФИС

В работе [8] определены три уровня возбуждения детекторов (состояния): *актуальный уровень* (актуальное состояние) – уровень наивысшего возбуждения, *латентный уровень* (состояние "предвыбора") и *уровень остаточного возбуждения* – уровень минимального возбуждения.

Актуальный уровень необходим для выбора детектора, участвующего в построении порядка (образа нового уровня абстрагирования). Таким образом, все детекторы, возбужденные модулем D либо получившие сигнал возбуждения по нисходящему информационному потоку от вышестоящих модулей имеют актуальный уровень возбуждения. Можно сказать, что детекторы в актуальном состоянии находятся на "вершине" обработки информации. На актуальном уровне детектор имеет несколько степеней возбуждения в зависимости от длины цепочки - количества элементов в сформированном порядке, совпадающей с концептом и, следовательно, от длины самого концепта. Чем длиннее данная цепочка, тем выше степень актуального возбуждения (*аконкуренция*). Обозначим детектор b_m , находящийся в состоянии актуального возбуждения как b_m^a , в состоянии латентного возбуждения – b_m^l , в состоянии остаточного возбуждения - b_m^r .

Если на детектор b_m^a , имеющий актуальный уровень возбуждения a , воздействует сигнал торможения h ($h \rightarrow b_m^a$) и $h > a$, то его уровень снижается до латентного уровня l ($a-h=l$). Если же $h < a$, то $a-h=a$, т.е. детектор остается в актуальном состоянии. Детекторы с латентным уровнем возбуждения, имеющие непосредственную вертикальную либо горизонтальную взаимосвязь с детектором, находящимся в актуальном состоянии, образуют его *локус*. Если детектор переходит в актуальное состояние, то все детекторы его локуса переходят в латентное состояние с помощью сигналов торможения h (для детектора, находящегося в актуальном состоянии), либо сигналов возбуждения e (для детекторов, находящихся в состоянии остаточного возбуждения). Таким образом, наличие детекторов локуса, находящихся в состоянии латентного возбуждения обеспечивает возможность их альтернативного выбора процессором модуля для построения порядка. Переход по детекторам локуса позволяет реализовать функцию "предсказания" или "мысленного эксперимента" в процессе принятия решения.

Таким образом, механизм формирования локусов детекторов и переходов по ним является механизмом *виртуального синтеза* упорядоченных структур, а сам процесс принятия решения можно рассматривать как процесс установления линейного порядка

реакций детекторов определенного уровня между тн-тк, заданными РС или другими системами ФИС, в результате последовательного перехода по локусам.

Если детектор, находящийся в латентном состоянии, не входит в локус (выходит из локуса), то его возбуждение снижается до остаточного уровня. Остаточный уровень возбуждения является основным фактором формирования памяти. На данном уровне также существует несколько степеней возбуждения. Степень остаточного возбуждения зависит от частоты возбуждения, периода возбуждения (времени экспозиции), времени прошедшего с момента последнего возбуждения и эмоциональной составляющей возбуждения. Однократно возбужденный детектор имеет минимальный уровень остаточного возбуждения. Если детектор определенное время повторно не возбуждается, то степень его остаточного возбуждения снижается вплоть до нулевой. Детектор с нулевой степенью остаточного возбуждения является свободным детектором и может быть "захвачен" новым образом Q_i . Так реализуется один из механизмов компрессии памяти - "забывание".

Теперь, возвращаясь к рис. 2, можно объяснить процесс торможения детектора b_{Nm} , находящегося в актуальном состоянии одновременно с детектором b_{lm} . Допустим, что длина $Conc1 > ConcN$ (случая, когда $Conc1$ эквивалентен $ConcN$ быть не может). Тогда, степень актуального возбуждения детектора b_{lm} выше, чем детектора b_{Nm} ($a_l > a_N$). Следовательно, и уровень сигнала торможения $h_l = a_l$, воздействующего на детектор b_{Nm}^a , выше, чем уровень сигнала торможения $h_N = a_N$, воздействующего на детектор b_{lm}^l . Тогда:

$$\begin{aligned} a_l - h_N &= a; & a_N - h_l &= l; \\ (h_l \rightarrow b_{Nm}^a) &= b_{Nm}^l; & (h_N \rightarrow b_{lm}^l) &= b_{lm}^a. \end{aligned} \quad (4)$$

В данном случае "захваченный" детектор b_{Nm} переходит в латентное состояние и сигналом торможения h переводит структуру образа Q_N в состоя-

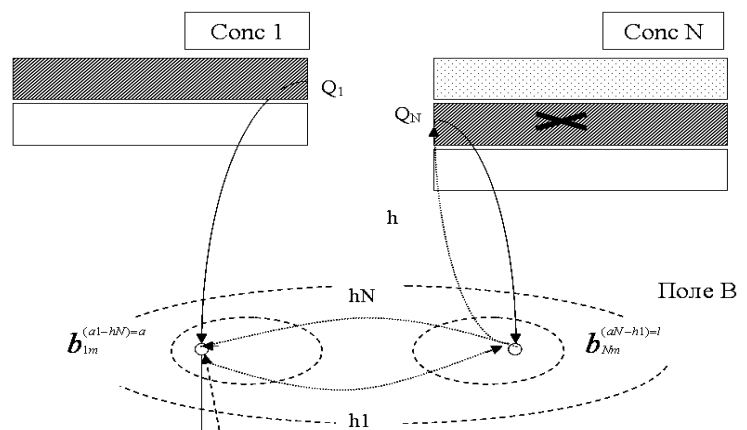


Рис. 2. Схема перехода детектора из актуального в латентное состояние

ние минимального остаточного возбуждения. Отсутствие выбора детектора b_{Nm} для последующей обработки (его переход в состояние минимального остаточного возбуждения на следующем шаге обработки) ведет к снижению уровня остаточного возбуждения НЭ структуры образа Q_N во фрейме $Conc N$ за временной отрезок Δt_{min} до нулевого уровня, т.е. к "забыванию" данного образа. Так прекращает свое существование установленное отображение $Q_N \rightarrow b_{Nm}$. Экспериментально установлено, что в неокортексе время подобного "забывания" составляет около 250 миллисекунд [13]. В то же время, детектор b_{1m} выбирается для последующей обработки, что ведет к более высокому уровню его остаточного возбуждения и более длительному запоминанию структуры образа Q_1 во фрейме $Conc 1$. Запомненный образ Q_1 может скорректировать $Conc 1$ (процедуры обучения с учителем и без учителя) [8].

Дадим более строгие основные определения излагаемой модально-векторной теории ФИС.

Определение 1. Под *образом* в ПС ФИС будем понимать внутреннее представление (презентацию) любого воспринимаемого оптической системой объекта, процесса либо групп объектов, процессов и их совокупностей (сцен, событий) для их последующего распознавания – классификации и идентификации.

Любой образ в ПС ФИС представляется в виде модальной группы.

Определение 2. Назовем *модальной группой* линейную структуру (вектор) нейронных элементов (детекторов) интегрирующей зоны (процессора) универсального модуля, состоящую из элементов – мод (рис. 3). На рис. 3 представлены: A_j – подзона поля A , a_{ij}^k – i -е детекторы подзоны A_j , возбужденные в различные моменты времени (где k – уровень актуального возбуждения), M_i – моды (например, структурные).

Определение 3. Назовем *модой* результат отображения реакции определенного детектора поля A модуля в элемент структуры модальной группы, определяющий значение соответствующей характеристики образа. Каждая мода имеет место в модальной группе, строго определенное структурно или в результате t - или a - конкуренции.

Таким образом, модальная группа является результатом отображения иерархической структуры сформированных в определенные моменты времени $pt_{вос}$ реакций детекторов распознавания (значений мод) в линейную структуру (n – количество мод) (рис. 3). Для образов "Контурного мира" (КМ) [10] моды бывают: *структурные*, последовательность которых отображает структуру образа, *пространственные*, ото-

бражающие местоположение структурного элемента образа в соответствующей системе координат, *количественные*, отображающие значение количественной характеристики (величины) структурного элемента, *трансформационные*, отображающий тип преобразования соответствующего структурного элемента (тип процесса). Количественные моды являются отображением элементов зон специальной структуры – *шкал*.

В основе формирования значений мод лежит принцип "сходство-различие". Сходство является основой формирования элементов абстрактных структур, а различие – основой разделения и взаимосвязи подобных абстрактных структур, т.е. основой синтеза сложных структур. Сходство связано с постоянством (Fix) определенной характеристики, воспринимаемой ФИС, при изменении других характеристик, т.е. с инвариантной характеристикой по отношению к определенной группе изменяемых или вариативных (Var) характеристик. Например, направление ориентации отрезка в контуре воспринимаемого изображения не зависит от его местоположения в поле восприятия, но зависит от местоположения элементов (точек), образующих данный отрезок. Подобная инвариантность является основой формирования структур-презентаций, инвариантных аффинным преобразованиям контура.

Нарушение сходства – различие структур по инвариантной характеристике ведет к образованию более сложных структур, связанных критическими точками – точками структурных переходов. Например, изменение ориентации отрезков в контуре изображения ведет к образованию углов – новых структурных элементов более высокого уровня абстрагирования.

Таким образом, "сходство-различие" лежит в основе процессов классификации и идентификации, образовании шкал. Различие также играет основную роль в распознавании процессов.

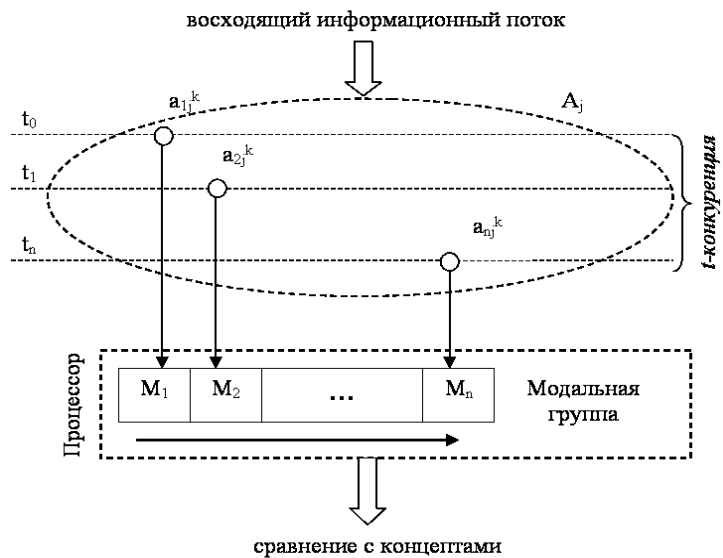


Рис. 3. Схема формирования мод и модальной группы

При бинарном рассмотрении, Var и Fix характеристики образуют комплиментарную (взаимодополняющую) пару отдельных характеристик, для первичных уровней обработки информации, или множеств характеристик, что характерно для высших уровней. При этом Fix выступает в роли опорной, инвариантной характеристики. Таким образом, любой процессор ФИС решает задачу определения инвариантной (опорной) Fix-характеристики и выстраивания порядка (вектора) по Var-характеристике. Следовательно, каждый модуль ФИС на уровне ПС связан с конкретным типом инвариантной характеристики и определяет в процессе функционирования ее значение. Данное значение имплицитивно ставится в соответствие вектору - последовательности элементов ранжированных по Var-характеристике и является инвариантным к другим типам последовательностей или последовательностей с другими значениями по Var-характеристике.

В иерархической структуре ФИС, значение инвариантной характеристики модуля D является элементом Var-характеристики модуля D+1.

Характеристики, определяемые системой восприятия и заданные аппаратно (генетически), являются *базовыми характеристиками* т.к. от них зависит построение всех презентативных и репрезентативных структур. Для образов КМ можно выделить один тип базовой характеристики – направление (вектор) развития структур или трансформаций. К данному типу базовой характеристики относятся: ориентация отрезков в поле восприятия (для определения векторов ориентации служит ориентационная система координат ОСК), направление обхода контура изображения, направление развития связанных подструктур, направление поворота отрезка, направление смещения отрезка (движение) и др.

Кроме базовых характеристик в процессе построения абстрактов принимают участие *фундаментальные характеристики*. Данные характеристики присутствуют на всех уровнях обработки информации, участвуют в формировании зон и определяют общую структуру и особенности построения модулей и всей системы ФИС. К фундаментальным характеристикам относятся: временные и пространственные характеристики. К временным характеристикам ФИС относятся различные временные промежутки, связанные с протеканием процессов восприятия образов (такт восприятия, время экспозиции), распознавания образов, построением темпоральной памяти (астрономическое время, например, часы, времена суток, дни и т.д.), процессами компрессии темпоральной памяти, возбуждением детекторов темпоральной памяти, связанных временными реперами и т.д. К пространственным характеристикам относятся характеристики, определяющие местоположение образа в различных системах коорди-

нат. Пространственные характеристики определяют ретиноптическую структуру ФИС, формируют презентативную пространственную модель мира в ЭСК. Фундаментальные и базовые характеристики могут выступать как в роли вариативных, так и в роли опорных характеристик в зависимости от типа формируемых абстрактов.

Особенностью базовых и фундаментальных характеристик является наличие значений размерности (шкал) данных характеристик, заданных структурно (генетически) либо формируемых в процессе обучения без учителя (для некоторых временных характеристик).

Производные характеристики формируются в процессе абстрагирования на основе комбинации базовых, фундаментальных характеристик, либо иных производных характеристик более низких уровней абстракции. Производные характеристики абстрактов не обладают самостоятельными значениями параметров, т.к. данные значения не заданы структурно (генетически), а формируются в процессе опыта (обучения). Параметры данных характеристик могут формироваться в результате отображения абстрактов на ранжированные в процессе обучения зоны - шкалы. Подобными параметрами являются, например, величины отрезков, углов и другие количественные либо качественные величины. В случае, если элементы интегрированной структуры (модальной группы), не могут быть ранжированы по значениям вариативной производной характеристики, применяются механизмы построения вектора структурных элементов (мод) - *t*- и *a*-конкуренции.

Определение 4. Под *тактом восприятия* $t_{\text{воч}}$ будем понимать элементарный промежуток времени, необходимый для возбуждения детектора структурного элемента образа объекта.

Актуальное распознавание структурного элемента образа определяется периодом $\Delta t = (t_0 - t_1)$ – временем от момента появления образа (t_0) на входе системы восприятия до момента возбуждения классификационного детектора структурного элемента образа (t_1). Данное время $\Delta t = t_{\text{воч}}$. Такт восприятия определяет период фиксации взгляда (фокуса) на структурной критической точке контура изображения до момента последующей саккады. Такты восприятия непосредственно связаны со временем экспозиции образа - фиксацией образа системой восприятия. Экспозиция образа может содержать несколько тактов восприятия.

При последовательном распознавании структурных элементов образа объекта, детекторы данных элементов будут возбуждаться последовательно в разные промежутки времени, прошедшие от момента фиксации фокуса системы оптического восприятия на "точке захвата" – критической структурной точке контура изображения. Данная временная последовательность является основой *t*-конкуренции.

Определение 5. Под *временем экспозиции объекта* $t_{\text{эксп}}$ будем понимать промежуток времени в течение которого объект находится в поле оптического восприятия и непрерывно распознается ФИС. При этом, $t_{\text{эксп}} \geq t_{\text{расп}}$ (где $t_{\text{расп}}$ – время распознавания образа, $t_{\text{расп}} > nt_{\text{вос}}$). Время экспозиции варьируется и связано с механизмом формирования реакции внимания - переключения и фиксации оптической системы восприятия ФСИТ на определенном объекте. От величины реакции внимания зависит величина остаточного возбуждения детекторов.

Определение 6. Под *нахождением объекта КМ в фокусе* оптической системы восприятия ФИС будем понимать такое состояние данной системы при котором объект полностью или частично находится в поле восприятия и центр ориентационной системы координат (ОСК) ФИС совмещен с "точкой захвата" – одной из критических структурных точек контура изображения.

Механизм фокусировки ФИС предназначен для разделения объектов в сцене и декомпозиции контура образа. В основе механизма фокусировки лежит модуль, интегрирующая зона которого обрабатывает последовательности мод - реакций детекторов, поступающие также из моторной системы, системы формирования реакции внимания, вестибулярной и других систем.

Определение 7. Под *полем восприятия* будем понимать общее рецептивное поле оптической системы восприятия ФИС, состоящее из пересекающихся рецептивных полей детекторов распознавания структурных элементов контура изображения. Структура поля восприятия формирует систему координат восприятия (СКВ) ФИС и служит для определения местоположения структурных элементов контура и в целом объекта распознавания в данной системе координат. СКВ является основой формирования ретиноптической организации ФИС.

Определение 8. Под *ретиноптической организацией (ретиноптией)* будем понимать проекцию пространственных координат СКВ в пространственные моды модальных групп различных процессоров. Пространственные моды сохраняются на всех уровнях обработки зрительных образов, во всех примерах и вариантах примеров образов, но отсутствуют в структуре концептов (концепты инвариантны относительно местоположения образов в системах координат).

Определение 9. *Шкалирование* – способ разделения образов, имеющих аналогичную структуру, т.е. принадлежащих одному классу распознавания. *Шкалой* будем называть зону, элементы которой строго упорядочены. Формирование порядка в не интегрирующей зоне в процессе обучения превращает ее в *шкалу* или *моноэкран* - экран, элементы которого (моды) однотипны.

Определение 10. Под *абстрагированием* будем понимать операцию имплицитивного биективного

отображения определенной модальной группы в уникальную точку b_{ij} – j -й детектор i -й классификационной зоны поля В соответствующего модуля и связанную с данным детектором реакцию. Реакцией детектора является его уникальный номер и уровень возбуждения либо сигнал торможения.

Содержательно, результатом операции абстрагирования является формирование структурного элемента образа – абстракта более высокого уровня общности относительно определенных свойств (характеристик).

Определение 11. Под *концептом распознавания (Conc)* будем понимать модальную группу с минимально необходимым для классификации образа количеством мод, полученную в результате обучения модуля "с учителем" либо "без учителя".

Концепт распознавания объекта КМ обладает свойством инвариантности относительно аффинных и деформационных преобразований контура изображения.

Таким образом, концепт содержит только необходимые признаки классификации образа, выделенные модулем из примеров образа в результате процедуры обучения (на основе опыта распознавания). В общем случае классификации объекта, концепт представляет собой простейший редуцированный образ объекта класса распознавания. Концепт является "ключом" классификации образа, определяет разделение (кластеризацию) фреймов распознавания модуля, задает конкретную классификационную зону (зону b_i) поля В модуля. Концепты в модулях ПС ФИС для рассматриваемого КМ формируются для всех распознаваемых типов образов: объектов, процессов, сцен и событий.

Определение 12. Под *процессом распознавания* во ФИС понимается процесс формирования модальных групп различных по уровню иерархии процессоров.

Определение 13. Под *результатом распознавания* образа Q_i в модуле D будем понимать формирование реакции актуального возбуждения соответствующего детектора зоны В данного модуля.

Определение 14. Под *классификацией образа* Q_i будем понимать процесс сравнения модальной группы M данного образа, моды которой сформированы j -м модулем, с концептами распознавания, сформированными $j+1$ -м модулем в процессе обучения. Образ Q_i классифицирован, т.е. принадлежит классу распознавания Q, если $\text{Conc}(Q) \subseteq MQ_i$.

Если концепт служит для классификации образа, то *пример* (Exam) служит для его идентификации. В модальной группе примера образа содержатся все моды, сформированные на предыдущем шаге процесса распознавания конкретного образа.

Определение 15. Под *идентификацией образа* Q_i будем понимать совпадение модальной группы M данного образа, сформированной модулем в теку-

щий момент времени, с ранее сформированной и запомненной модальной группой.

Таким образом, *операции установления порядка, сравнения и абстрагирования являются основными операциями*, выполняемыми каждым модулем.

Совпадение определенной последовательности мод является основой для выполнения операции абстрагирования, а различие – основой для формирования новой характеристики сравнения.

В зависимости от пространственного положения конкретного объекта в поле восприятия и значений его детектируемых характеристик, могут формироваться различные модальные группы для одного и того же примера объекта. Данные модальные группы будем называть *вариантами примера* (VExam).

Определение 16. Под *процессом* будем понимать трансформацию образа во времени. Трансформация выражается в изменении воспринимаемых (детектируемых) характеристик образа (элемента образа). Следовательно, процесс можно рассматривать как "сдвиг" свойств образа на временной шкале.

Таким образом, процесс представляет собой временную последовательность взаимосвязанных изменений характеристик элементов образа, образов, сцен или последовательности процессов на множестве сцен – событий, т.е. "сдвиг" свойств объекта или объектов распознавания на временной шкале.

Процессы, распознаваемые ФИС на модели КМ, можно классифицировать по сложности структуры распознавания на:

- процессы с элементарными образами (точки, отрезки, углы, подструктуры);
- процессы со сложными образами (концептами либо примерами образов);
- процессы, происходящие на множестве одновременно воспринимаемых сложных образов (на сцене);
- процессы, происходящие на множестве сцен в определенном временном интервале.

В зависимости от данных типов процессов их распознавание в ПС ФИС может происходить на уровне: структурного процессора элементов образа (СП) – на первом этапе обработки информации, процессора трансформации образов (трансформационного процессора ТП), экспозиционного процессора (ЭП), сценического процессора (СП), темпорального процессора (ТП).

По типу трансформации образов (типу трансформант) для образов КМ, процессы можно классифицировать на:

- процессы аффинного преобразования контура изображения (перемещение, поворот, гомотетия);
- процессы деформационного изменения контура изображения 1 и 2 рода [10];
- комбинированные трансформации;

- последовательности трансформаций.

Типы процессов определяются механизмами их распознавания. Данные механизмы представляют собой, в определенном смысле, процедуры обратные процедурам классификации образов на соответствующем уровне интегрирующих зон (процессоров). Это значит, что если на стадии классификации образа осуществлялось абстрагирование относительно их трансформационных изменений в результате выделения инвариантных признаков распознавания вплоть до построения концептов образов, то на стадии классификации процессов должно последовательно осуществляться абстрагирование относительно примеров и классов образов в результате выделения инвариантных признаков распознавания процессов вплоть до построения концептов процессов – трансформант (Trans).

Для распознавания процессов, минимальное время экспозиция образа должно состоять из двух тактов восприятия, необходимых для определения последовательности различий (трансформаций) в структуре непрерывно воспринимаемого и распознанного образа. То есть для классификации типа трансформации образа необходимо последовательное и непрерывное во времени распознавание как минимум двух примеров одного класса распознавания (цепочка последовательных образов из двух примеров). Но очевидно, что данная цепочка может иметь и большую длину, например, мы можем наблюдать перемещение образа, а, следовательно, и непрерывное последовательное его изменение в течение нескольких минут. Таким образом, ФИС осуществляет распознавание трансформации образа в течении всего периода экспозиции ($t_{\text{экл.}} = nt_{\text{вос.}}$). Характеристики трансформации отображаются в соответствующие трансформационные моды. Декомпозиция характеристик воспринимаемого образа на трансформационные и структурные осуществляется на уровне СП и в дальнейшем их обработка происходит параллельно. Синтез трансформационных и структурных характеристик осуществляется на уровне ЭП.

Определение 17. *Сценой или ситуацией* будем называть совокупность распознанных объектов и процессов одновременно находящихся в поле восприятия и отображаемых в уникальный детектор подзоны, являющейся элементом эгоцентрической системы координат (ЭСК).

В ПС ФИС каждая конкретная сцена (пример сцены) представляется модальной группой, состоящей из мод распознанных объектов и процессов в которых они участвуют во временном промежутке $t_{\text{экл.}}$.

Концепт сцены формируют статические объекты. Именно концепт сцены определяет подзону – элемент ЭСК, в детектор (точку) которой будет отображаться пример сцены. Сцена принадлежит дру-

тому классу распознавания, если в поле восприятия появляются новые статические объекты. Таким образом, с каждым элементом ЭСК может быть связано множество примеров концептуальной сцены. Если сцена не содержит статических объектов, например, для КМ в поле восприятия ФИС находятся только движущиеся объекты, то не могут быть сформированы концепты распознавания сцен или, вернее, фреймы концептов распознавания сцен будут состоять из единичных примеров сцен. Кроме того, отсутствие статических объектов не позволит создать презентацию устойчивой пространственной картины мира (КМ), что сделает невозможным отображение данных сцен в структуру ЭСК. Начало и конец вектора сцены (тн-тк) определяются последовательностью распознавания объектов сцены. Концепт сцены инвариантен последовательности распознавания объектов т.к. отображение статических объектов в структуру концепта определено ретино-топическим построением ФИС.

Определение 18. Назовем *эгоцентрической системой координат (ЭСК)* множество подзон отображения структур примеров сцен, определяемых концептами сцен. ЭСК образует внутреннюю пространственную систему координат ПС ФИС в которой местоположение центра координат может изменяться и соответствует точке нахождения самой ФИС в статической пространственной модели окружающего мира, образованной множеством точек (координат), являющихся отображением реакций детекторов распознавания сцен (пример на рис. 4).

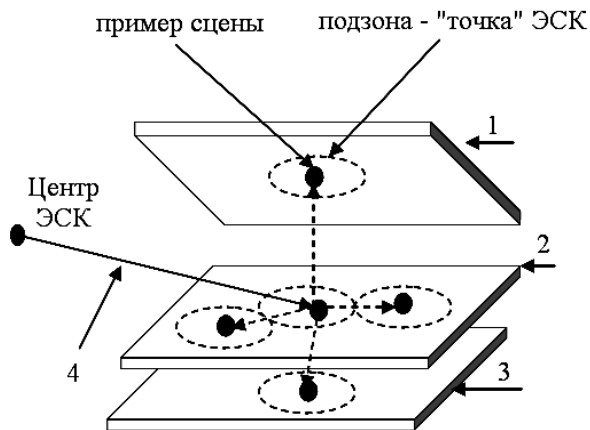


Рис.4. Структурная схема ЭСК:

- 1 – пространственная плоскость "вверху";
- 2 – актуальная пространственная плоскость;
- 3 – пространственная плоскость "внизу";
- 4 – взаимосвязь центра ЭСК с актуальной сценой

Центр координат ЭСК связан с формированием актуальной реакции детектора самоопределения (осознания собственного "Я"), являющейся результатом обработки последовательностей мод в интегрирующей зоне, получающей информацию из множества систем (подсистем) ФИС.

В простейшем случае, реальное или виртуальное (прогнозируемое) изменение положения центра координат ЭСК связано с актуальными либо латентными реакциями (модами) самой системы оптического распознавания (сценами, параметрами расстояний от оптической системы восприятия до объектов распознавания), с актуальными либо латентными реакциями моторной системы, влияющими на изменение местоположения центра координат, а также реакциями вестибулярной системы ориентации в пространстве и реакциями РС ФИС.

Функции ЭСК в мозге реализуются структурой гиппокампа [14].

Сцены (детекторы распознавания сцен) в ЭСК близлежащие к актуальной сцене (распознаваемой в данный момент времени) и доступные для распознавания в результате перемещения (поворота) центра координат ЭСК образуют *локус сцены* (рис. 4, связи локуса обозначены пунктирными стрелками). Очевидно, что для представления 3-х мерной пространственной модели окружающего мира в ЭСК ФИС, воспринимающей и распознающей любые объекты, а не только объекты КМ, ЭСК должна иметь более сложную, возможно сферическую структуру.

Наличие подобной структуры сцен и переход между ними по ЭСК объясняет, в частности, "синдром дверного проема" (доступ к электронному ресурсу: <http://tver.kp.ru/online/news/1023435/>).

Определение 19. Под *событием* будем понимать временную цепочку (вектор) примеров сцен, формирующих (возбуждающих) детекторы в элементах ЭСК (подзонах). Вектор сцен на уровне ТП отображается в детектор *зоны событий*. Зона событий имеет качественно-количественную структуру абсолютной временной шкалы. Данную зону назовем *темпоральной памятью (ТПП)* или *памятью событий*.

Особенности построения и функционирования всех процессоров ФСИ будут рассмотрены в последующих работах.

Выводы и направления дальнейших исследований

Таким образом, приведенные рассуждения позволяют обосновать модульно-иерархический принцип построения ФИС.

Представленный универсальный модуль *D* может использоваться на всех этапах обработки информации как в ПС ФИС, так и в РС ФИС.

К основным этапам обработки информации в ПС ФИС относятся:

1. Распознавание структурных элементов воспринимаемых образов (элементарных образов) и их трансформации (процессов с участием данных элементов).
2. Распознавание сложных образов и формирование их концептов.

3. Распознавание процессов – видов трансформации сложных образов (трансформант сложных образов) и формирование их концептов.

4. Распознавание элементов сцен (вектора образов за время $t_{\text{эскп}}$).

5. Распознавание сцен и формирование их концептов – подзон ЭСК.

6. Распознавание событий и формирование их концептов.

7. Формирование темпоральной памяти.

Процесс обработки информации на любом уровне, в любом модуле ФИС сводится к построению вектора мод с его последующим имплицативным отображением в детектор зоны вышестоящего уровня иерархии (абстракции).

Основным направлением дальнейших исследований является формализация теории и доказательство основных теорем: самоподобия ФИС, полноты и непротиворечивости презентаций, необходимого разнообразия презентаций, определения субъективного понятия "истина", определения общего механизма принятия решений ФИС

Список литературы

1. Чечкин А.В. Слабо формальные системы [Электронный ресурс] / А.В. Чечкин // Интеллектуальные системы. – М.: МГУ, 2007. – Т. 11, вып. 1-4. – С. 137-158. – Режим доступа: <http://www.intsys.msu.ru/magazine/archive/v11%281-4%29/chechkin-137-158.pdf>.
2. Эделмен Джералд Э. Разумный мозг / Э. Джералд, М. Верон. – М.: Мир, 1981. – 134 с.
3. Хьюбел Д. Глаз, мозг, зрение / Д. Хьюбел; пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 239 с.
4. Хокинс Дж. Об интеллекте / Дж. Хокинс, С. Блейкли; пер. с англ. – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2007. – 240 с.
5. Хокинс Дж. Временная Иерархическая Память [Электронный ресурс] / Дж. Хокинс, Дж. Дайлип. – Ре-

жим доступа: http://groups.google.com.ua/group/futurvector/browse_thread/thread/9a6bd73b71daff72?hl=ru.

6. Паржин Ю.В. О фундаментальном свойстве невыразимости репрезентативных формальных систем / Ю.В. Паржин // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2008. – Вип. 7 (74). – С. 142 – 147.

7. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика / Ф. Уоссермен; пер. с англ. – М.: Мир, 1992. – 118 с.

8. Паржин Ю.В. Основы теории формальных систем интеллектуального типа. Структурные нейронные сети / Ю.В. Паржин // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2010. – Вип. 6 (87). – С. 2 – 12.

9. Сёрль Дж. Сознание, мозг и наука. / Дж. Сёрль // Путь. Международный философский журнал. – 1993. – № 4. – С. 3 – 66.

10. Паржин Ю.В. Модель презентативной подсистемы формальной системы интеллектуального типа / Ю.В. Паржин // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2010. – Вип. 6 (80). – С. 2 – 12.

11. Николлс Дж. От нейрона к мозгу / Дж. Николлс, Р. Мартин, Б. Валлас, П. Фукс; пер. с англ. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 672 с.

12. Кулик Б.А. Алгебраический подход к интеллектуальной обработке данных и знаний / Б.А. Кулик, А.А. Зуренко, А.Я. Фридман. – СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2010. – 235 с.

13. Разумовская Е.А. Как быстро развить память для запоминания иностранных слов, цифр и любой информации [Электронный ресурс] / Е.А. Разумовская. – Режим доступа: http://fictionbook.ru/author/elena_aleksandrovna_razumovskaya/kak_bystro_razvit_pamyat_dlya_zapominan/read_online.html?page=2.

14. Википедия. Статья "Гиппокамп (часть мозга)". [Электронный ресурс]. – Режим доступа к материалу статьи: <http://ru.wikipedia.org/wiki>.

Поступила в редколлегию 21.11.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Краснобаев, Полтавский национальный технический университет им. Юрия Кондратюка, Полтава.

МОДАЛЬНО-ВЕКТОРНА ТЕОРІЯ ФОРМАЛЬНИХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ. ОСНОВНІ ВИЗНАЧЕННЯ

Ю.В. Паржин

У роботі запропоновано формальний підхід до побудови інтелектуальних систем, що здатні вирішувати задачі "сильного" інтелекту. Дані системи будуються з універсальних модулів, які функціонують по єдиному алгоритму без використання математичних процедур перетворення інформації. В основі побудови та функціонування модулів лежить принцип формування вектору значень (мод) визначених характеристик образу, що розпізнається, з його наступним імплікаційним відображенням в крапку (детектор) зони, яка знаходиться на вищому рівні ієрархії модулів. В роботі наведено опис структури та функціонування модулю, а також основні визначення теорії, що пропонується.

Ключові слова: штучний інтелект, формальна система, розпізнавання образів, модально-векторна теорія.

MODAL AND VECTOR THEORY OF THE FORMAL INTELLECTUAL SYSTEMS. BASIC DETERMINATIONS

Y.V. Parzhin

The article deals with the formal approach to the development of intellectual system capable to solve the tasks of "strong" intelligence. Such systems are developed from universal modules that function according to the unified algorithm without mathematical procedures of information transformation. The basis of modules development and functioning is the principle of shaping the vector of values (modes) of recognizable image specific features with its subsequent implicative mapping onto a point (detector) of the area of higher level module hierarchy. The works describes the module structure and functioning as well as the main definitions of the suggested theory.

Keywords: artificial intelligence, formal system, image recognition, modal and vector theory.