

УДК 004.8

Ю.В. Паржин

Национальный технический университет "ХПИ", Харьков

## ОСНОВЫ ТЕОРИИ ФОРМАЛЬНЫХ СИСТЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ТИПА. СТРУКТУРНЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ

*В работе предложена новая концепция создания искусственных нейронных сетей – осуществление декомпозиции характеристик образов, ведущей к формированию декомпозиционной структуры образов без применения математических вычислений. Данную концепцию реализуют разработанные структурные нейронные сети, состоящие из последовательности интегрированных зон – процессоров, каждый из которых, используя универсальную процедуру, осуществляет упорядочивание зонных реакций детекторов предыдущего уровня на основе их конкурентного выбора по уровням возбуждения. Изложенные в работе принципы построения и функционирования презентативной и репрезентативной подсистем формальной системы интеллектуального типа могут явиться основой новой теории.*

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, нейронная сеть, презентативная подсистема, репрезентативная подсистема, декомпозиция характеристик образов, формальная система интеллектуального типа.

### Актуальность и постановка задачи исследований

Под формальной системой интеллектуального типа (ФСИТ), будем понимать самоорганизующуюся систему искусственного интеллекта (ИИ) созданную на основе реализации универсальных алгоритмических процессов обработки информации, моделирующих основные функции естественного интеллекта (ЕИ): 1) функцию понимания, состоящую во внутреннем представлении воспринимаемого образа, 2) функцию классификации и идентификации воспринимаемых образов (включая ассоциативное распознавание), 3) функцию запоминания, реализуемую темпоральной (временной) памятью, 4) функцию обобщения и установления причинно-следственных связей, как совместного результата функций 1 – 3, 5) функцию абстрагирования - отделения репрезентативных объектов внутреннего представления от конкретных объектов восприятия (презентативных подструктур) для создания метаязыка представления (естественного языка в ЕИ), являющегося основой последовательных процессов вторичного представления - репрезентации и обмена информацией (коммуникации), 6) функцию "осознанного" мышления – установлению связей между репрезентативными объектами, формированию вторичных метаязыков репрезентации, 7) функцию коммуникации – обмена информацией на метаязыке. Очевидно, что все указанные функции взаимосвязаны, результат выполнения каждой из них зависит от результатов выполнения других функций. В работе [1] было доказано существование разделения данных функций между подсистемами ФСИТ, условно: 1 – 4 функции выполняются презентативной подсистемой (ПС), 5 – 7 функции – репрезентативной подсистемой (РС). В работе [2] была предложена

модель ПС, описан алгоритм работы первичного ядра данной подсистемы – структурного процессора (СП), показано каким образом осуществляется переход от параллельного восприятия мира к последовательным процессам обработки информации в РС.

В настоящее время не существует единой теории построения ФСИТ, что и обуславливает известный кризис в исследованиях ИИ. По сути, сейчас существует два основных формальных и, в некотором смысле, антагонистических подхода к созданию ИИ – разработка искусственных нейронных сетей (ИНС) и семантических сетей (СС). При этом, если современные ИНС можно считать неудачной моделью ПС, то СС – неадекватной моделью РС.

Данные подходы известны давно, о недостатках каждого из них написано множество статей и несмотря на некоторые оптимистические прогнозы в области исследования Hierarchical Temporal Memory (НТМ) на основе байесовских процедур [3], необходимо признать, что современное состояние исследований в области ИИ можно охарактеризовать как тупик.

Для определения путей выхода из данного тупика необходимо разобраться, что к нему привело.

ИНС (перцептроны), в основе построения которых лежит модель нейронного элемента (НЭ) Мак-Каллока-Питтса, подверглись критике, в частности Марвином Мински [4], еще на заре их создания и исследования. В более поздних работах были определены основные проблемы, связанные с применением ИНС, к которым можно отнести:

- сложность обучения, множественность итерационных циклов обучения;
- увеличение количества ошибок распознавания при увеличении числа классов распознавания;
- проблему размерности ИНС (количество выходных нейронов в реальных ИНС не превышает нескольких сотен, а чаще всего единиц или десятков);

– возникновение эффекта "насыщения" сети по отношению к распознаваемым образам;

– неинвариантность распознавания к аффинным преобразованиям и деформационным искажениям входного изображения (в случае неполной обучающей выборки);

– применение реальных ИНС только для решения "узких" практических задач (отсутствие универсальности).

И этот перечень недостатков можно продолжить.

Однако, все существующие ИНС обладают рядом фундаментальных или принципиальных недостатков, которые делают невозможным их применение для построения ФСИТ.

1. ИНС не являются адекватной моделью ЕИ (мозга) хотя бы потому, что их обучение путем изменения весовых коэффициентов связей НЭ сводится к выполнению ряда математических процедур, мозг же использует другие, не математические принципы распознавания (мозг не производит какие-либо математические вычисления ни в процессе распознавания образов (неосознанного мышления), ни в процессе сознательной деятельности). Даже математические расчеты человек производит путем сопоставления. (пример – запоминание последовательностей таблицы умножения). В случае распознавания – мозг не "подстраивает", не преобразует свою структуру под распознаваемый образ или класс образов.

2. Согласно гипотезам Хьюбела и Маунткастла [5], нашедшей свое подтверждение в современных исследованиях нейрофизиологов, мозг имеет модульную структуру и все модули функционируют по одному и тому же принципу (алгоритму). Обычно ИНС не используются для обработки семантики – естественно-языковых выражений, для этого в настоящее время применяется другой, более эффективный формализм – СС, однако не существует взаимосвязи (взаимных преобразований) между ИНС и СС т.к. они функционируют с различного рода объектами, используют различные алгоритмы работы.

3. ИНС не способны к идентификации образов, они предназначены исключительно для их классификации. Эта проблема связана со следующей, еще более принципиальной проблемой.

4. ИНС не способны производить анализ образа, т.е. распознавать элементы структуры образа и классифицировать образ в зависимости от характеристик этих элементов, не способны детектировать признаки классов распознавания и использовать их для множественной классификации – построения онтологий.

5. ИНС не способны к реализации процедур эффективного ассоциативного распознавания, основанного на распознавании элементов структуры образов в процессе обучения и сопоставлении этих элементов со структурами образов непосредственно в процессе распознавания.

6. Одними из самых слабых сторон ИНС являются базовые принципы их построения – процедуры обучения. Процедуры обучения с учителем тривиальны по сути и сложны (иногда чрезмерно) по исполнению. Кроме того, прямая процедура настройки весовых коэффициентов полностью противоречит естественным процессам обработки информации мозгом, т.к. мозг не "настраивает" свою "нейронную сеть" под каждый образ, а реализует универсальные алгоритмы анализа. Именно поэтому мозгу достаточно лишь одного изображения для того, чтобы определить (сформировать) класс распознавания. Обучение ИНС без учителя (алгоритмы самоорганизации) является источником еще большего количества проблем: невозможности формирования новых классов распознавания без мощной обучающей выборки, невозможности классификации сильно отличающихся изображений одного класса, трудности контекстного (ситуативного) распознавания и т.д.

Можно сказать, что легче перечислить то что могут ИНС, чем то, на что они не способны. Необходимо отметить, что мозг способен обучаться как с учителем, так и без него. Но в чем суть этого обучения? Попытаемся найти ответ и на этот первостепенный вопрос в данной работе.

СС тем более не могут претендовать на роль формализма для создания ФСИТ и это вытекает не столько из огромного количества ограничений данных сетей, примерами которых могут служить: отсутствие самообучаемости, сложность реализации перехода между узлами различных уровней абстракции, между элементами различных ветвей, онтологий, недостаточность (в терминах неполноты и противоречивости) и сложность логического и логико-лингвистического вывода, сильная связность и отсутствие регулярности в структуре сети и т.д., сколько из самой репрезентативной природы объектов сетей, обладающих фундаментальным свойством невыразимости [1].

Следовательно, для преодоления кризиса в исследовании ИИ, выхода из теоретического и практического тупика необходимо менять не структуру или алгоритмы функционирования ИНС либо СС, а саму концепцию, парадигму создания ФСИТ.

Какова же концепция построения существующих ИНС, в чем ее суть? Рассмотрим этот вопрос более подробно.

### Основные результаты исследований

ИНС, как и любая система, преобразует входную энергию  $I$  в энергию выхода  $E$ :

$$I \rightarrow E. \quad (1)$$

В нашем случае под энергией можно понимать информацию, т.е. для ИНС информацией является воспринимаемая (детектируемая) энергия окружающего мира (в частности воспринимаемого образа).

Например, представим  $I$  как:

$$I = \sum_{j, k=1}^m i_{jk}, \quad (2)$$

где  $i_{jk}$  могут интерпретироваться как единичные элементы, например, черно-белой матрицы восприятия размерностью  $m \times m$ .

Однако, ИНС в процессе распознавания (классификации), а именно для нее она и предназначена, выполняет следующее преобразование:

$$I_j \rightarrow e_j, \quad (3)$$

где  $I_j$  – энергия воспринимаемого образа  $j$ ,  $e_j$  – энергия выхода – единичный сигнал выходного  $j$ -го НЭ.

Следовательно, ИНС является системой с потерей энергии (информации) и чрезвычайно низким КПД ( $e_j \ll I_j$ ), а если учесть дополнительную энергию, приносимую извне в виде коэффициентов, настроек, математических и программных алгоритмов, большой обучающей выборки (множества входных образов), то ИНС можно рассматривать как систему уничтожения информации. Причина данных потерь лежит в структуре сети и алгоритмах ее работы, где на каждом шаге производится математическая свертка – сжатие информации с потерями (например, в виде суммирования реакций предыдущего слоя НЭ, вычитание порогового значения НЭ, аппроксимации до бинарного значения выходного сигнала и т.п.). Даже синтезирующие ИНС с запоминанием и обратным распространением сигнала могут восстановить лишь обобщенное изображение, отдаленно напоминающее конкретный сложный входной образ, уже не говоря о том, что для каждого класса образов необходимо строить свою синтезирующую ИНС.

Мозг универсален и не может столь расточительно расправляться со столь трудно добываемой информацией (если, например, учесть сложнейшую структуру системы зрения или слуха). И действительно, наше восприятие, наша реакция на наблюдаемый образ намного богаче элементарной односторонней реакции классификации. Мозг строит систему реакций, создающих множественную классификацию образа. Возможно, мозг человека вообще не теряет информацию или теряет ее незначительную часть лишь в процессе долговременного запоминания или функциональных поражений. Иначе как, например, можно объяснить эффект вспоминания давно забытых фактов и яркого восприятия давно виденных образов под влиянием гипноза?

Таким образом, *новой парадигмой* создания ИНС должно стать отображение:

$$I_j \rightarrow \{e_1, e_2, e_3, \dots, e_n\}, \quad (4)$$

где  $E_j = \{e_1, e_2, e_3, \dots, e_n\}$  – множество классификационных реакций восприятия образа  $I_j$ , причем  $e_i \in E_i$  –  $i$ -й зоне классификации (кластеру). Чем мощнее множество  $E_j$ , тем меньше информационные потери ИНС. Следовательно,

$$f(I_j) = E_j, \quad (5)$$

где  $f$  – функция отображения воспринимаемого образа  $I_j$  во множество единичных реакций – точек совокупности зон  $E_j$ .

Особенностью данного отображения является то, что *функция  $f$  не должна содержать арифметических операций или их последовательности*.

Что же такое в данном случае "зона", каким образом она может быть построена без применения арифметических операций над абстрактными числами? В данной статье рассматривается ФСИТ, воспринимающая образы "контурного мира" (КМ) [2]. Дадим определение зоны ФСИТ.

*Определение 1.* Зона – базовый модуль ФСИТ, предназначенный для запоминания реакций нижестоящих по уровню иерархии (обобщения, абстракции) зон, определения (детектирования) новых структурных элементов (а также их характеристик) воспринимаемых образов и формирования значений (реакций) данных структурных элементов и их характеристик, передаваемых последующим, вышестоящим по уровню иерархии зонам.

Зоны разделяются на подзоны в зависимости от значений базовых, производных или вторичных характеристик структурных элементов и образуют распределенную память структурных элементов воспринимаемых образов, что позволяет, в частности, реализовать механизм ассоциативной памяти и ассоциативного распознавания. Основным элементом зоны является детектор структурного элемента – формальный аналог НЭ ИНС.

Зонная структура ФСИТ имеет и свое нейробиологическое подтверждение. Карта мозга состоит из генетически заданных структурных зон, различных по своим функциональным характеристикам, своему назначению, но идентичных по своему строению и, очевидно, алгоритму функционирования.

Особенностью зон ФСИТ является то, что они осуществляют три основные операции: 1 – запоминание реакций предыдущего слоя (предыдущих слоев) детекторов (детекторов нижестоящих зон) 2 – синтез реакций детектирующих (определяющих) новые структурные элементы на основе базовых либо производных характеристик и 3 – синтез реакций детектирующих особенности структурных элементов на основе определения значений вторичных характеристик.

Тогда  $e_{ij}$  –  $i$ -ое значение классификационной реакции  $j$ -й зоны ФСИТ на воспринимаемый образ  $I$ . Данное значение – выходной сигнал  $i$ -го детектора  $j$ -й зоны –  $d_{ij}$ , передаваемый  $i$ -му детектору  $(j+1)$ -й зоны –  $d_{ij+1}$ , который в свою очередь запоминает это значение.

$$d_{ij} \xrightarrow{e_i} d_{ij+1}. \quad (6)$$

Зоны и реакции их детекторов дифференцированы (разделены) по заданным (для ЕИ – генетически) характеристикам.

*Определение 2.* Характеристикой называется воспринимаемый либо формируемый определенной

подсистемой ФСИТ параметр структурных элементов либо входного образа в целом. Характеристики являются основой декомпозиции входных образов и синтеза реакций внутреннего представления ФСИТ данных образов - презентации и репрезентации.

Характеристики делятся на пространственные или структурные Р и временные Т.

Зафиксируем временные характеристики Т и рассмотрим, что в этом случае происходит со структурными характеристиками ФСИТ. Они, в свою очередь, делятся на базовые (фундаментальные) Р', производные от базовых Р'' и вторичные Р'''.

$$P^* = P_1^*, P_2^*, \dots, P_m^* \quad (7)$$

где \* – тип структурной характеристики.

Для ФСИТ, воспринимающей объекты КМ, базовыми или фундаментальными структурными характеристиками являются характеристики зон первичных уровней, определяющие структуру воспринимаемых образов. К данным характеристикам относятся:

- 1) местоположение стимулов – структурных элементов во внутренней системе координат ФСИТ;
- 2) ориентация отрезков (векторов) в ориентационной системе ФСИТ;
- 3) направление обхода контура изображения;
- 4) направление изменения ориентации векторов при обходе контура изображения относительно точки захвата;
- 5) направление (вектор) и скорость движения ориентированного отрезка (в данной работе движение не рассматривается).

*Базовые характеристики* ФСИТ для КМ аналогичны соответствующим характеристикам стриарной коры мозга, имеющей ретинотопическую структуру. Ретинотопическая структура мозга образует пространственное соответствие местоположения детекторов (нейронов) системы восприятия (сетчатки глаз, латерального колленчатого тела) и детекторов (нейронов) зрительных зон коры мозга (проекция нейронов сетчатки на нейроны стриарной коры). Подобная ретинопия является основой построения первичной структуры (взаимосвязи зон начальных уровней) подсистемы ПС ФСИТ.

Базовые структурные характеристики позволяют определить (детектировать) структурные элементы образа КМ относительно элементарного или непроеизводного структурного элемента - точки:

- 1) отрезок;
- 2) концы отрезка;
- 3) угол;
- 4) последовательность углов.

*Производные структурные характеристики* выделяются на основе анализа структурных элементов, определенных с помощью базовых характеристик. Производные характеристики являются основой для детектирования структурных элементов на высших уровнях ПС ФСИТ и в РС ФСИТ. Типы и значения производных характеристик не заданы

структурно (генетически в ЕИ) и определяются алгоритмически на основе выполнения операций сравнения характеристик структурных элементов нижестоящего уровня. Данные характеристики формируют зоны "свободного построения", определяющие классификационные особенности распознаваемых образов. Например, данные характеристики позволяют определить характерные особенности ломаных линий либо кривых, замыкание или разомкнутость контура, выпуклость либо вогнутость многоугольников и т.д. Именно производные структурные характеристики позволяют осуществить классификацию сложного образа ПС ФСИТ.

*Вторичные структурные характеристики* являются отображением базовых либо производных характеристик на внутренние "мягкие" - качественные и "жесткие", сформированные в процессе обучения, – количественные шкалы ПС ФСИТ. При восприятии образов КМ к ним относятся:

- 1) длина отрезков;
- 2) величина углов;
- 3) размеры структурных элементов;
- 4) плавность кривых и другие.

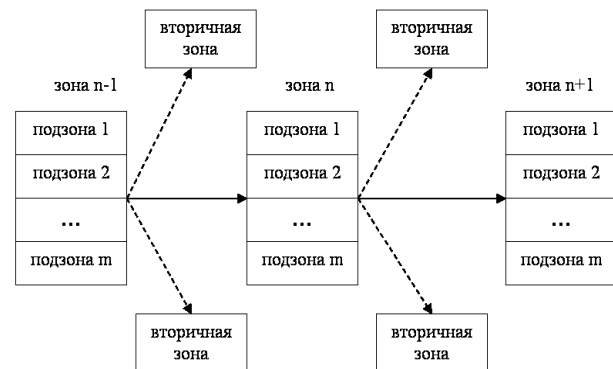


Рис. 1. Принцип формирования структуры взаимосвязи зон ФСИТ

Принцип формирования структуры взаимосвязи зон ФСИТ представлен на рис. 1, где непрерывными стрелками обозначены связи по базовым либо производным характеристикам, а пунктирными – по вторичным.

Таким образом, *суть новой парадигмы состоит в том*, что в классических ИНС осуществлялась *структурная декомпозиция распознаваемого образа*, а это влекло за собой необходимость вычисления характеристик данного разделения – коэффициентов связей НЭ, при излагаемом подходе осуществляется *декомпозиция характеристик образов*, что ведет к автоматическому формированию декомпозиционной структуры образа *без применения математических вычислений*.

При дальнейшем рассмотрении данный подход позволяет ответить на вопросы: как определяются структурные характеристики и каким образом осуществляется формирование реакций детекторов структурных элементов, как осуществляется классификация и идентификация образов?

*Определение 3.* Детектор  $d$ , в общем случае – НЭ, генерирующий на выходе уникальную  $n$ -арную реакцию (сигнал) в том случае, если структура сигналов на его входах соответствует определенному значению структурной характеристики, что является отображением структуры либо структурного элемента воспринимаемого изображения в подсистеме ФСИТ.

Иными словами, детектор – это элемент внутреннего представления входного образа по его определенной характеристике – типу и значению информации, заданной в ФСИТ для восприятия.

Таким образом, множество детекторов осуществляет декомпозицию структуры входного образа на структурные элементы по значениям определенных структурных характеристик.

Зона  $D_i^*$  представляется как множество детекторов, имеющих одну структурную характеристику, но различные значения.

$$I \xrightarrow{P \ t_i} D, \quad (8)$$

где  $D$  – множество зон.

Для построения структурных элементов по характеристикам введем операцию изменения определенной характеристики  $x$  –  $Var(x)$  и операцию фиксации определенной характеристики  $y$  –  $Fix(y)$ .

*Определение 4.* Две характеристики  $x$  и  $y$  называются комплиментарной парой, если изменение одной из них –  $Var(x)$  при фиксации другой –  $Fix(y)$  ведет к формированию структурного элемента определенного уровня общности.

*Определение 5.* Назовем операцию  $Var(x)$  при условии  $Fix(y)$  ( $Var(x):Fix(y)$ ) срезом характеристики  $x$  по характеристике  $y$ .

Любая характеристика входит хотя бы в одну комплиментарную пару. Так, например, основные типы характеристик – пространственные и временные образуют комплиментарную пару:

1.  $Var(P):Fix(T)$  – формирование структуры образа;
2.  $Var(T):Fix(P)$  – формирование структуры времени.

Необходимо отметить, что другие отношения данных характеристик позволяют определить процесс – при  $Var(P):Var(T)$  либо статичность образа (ситуации) – при  $Fix(P):Fix(T)$ .

При рассмотрении структуры входного образа и ее отображении (презентации) в ПС ФСИТ, определим, что

$$Var(P^*):Fix(T) = Var(P^*(t_i)), \quad (9)$$

где  $t_i = const$  – настоящий момент времени, тактовый импульс, формирующий мгновенное значение состояний всех детекторов ФСИТ.

Уточним понятие структуры образа КМ.

Особенностью любой структуры либо подструктуры является наличие порядка – упорядоченности подструктур либо структурных элементов ее образующих.

Данный порядок определяется:

- 1) точкой начала порядка;
- 2) правилом построения (формирования) порядка;
- 3) точкой конца порядка.

В качестве точки начала и конца порядка может выступать структурный элемент любого уровня общности.

Правило формирования порядка должно быть общим при определении любой структуры (подструктуры).

*Определение 6.* Порядок или цепочка – это множество структурных элементов (детекторов) расположенных в определенной зоне линейно ( $\Delta p = n$ ) и монотонно (непрерывно и последовательно) по значениям соответствующей характеристики  $Var(x)$  при условии, что комплиментарная характеристика имеет значение  $Fix(y)$ .

Пусть  $x$  и  $y$  – комплиментарные характеристики,  $тн$  – точка (детектор) начала порядка,  $тк$  – точка (детектор) конца порядка. Тогда существует отображение упорядоченных по срезу ( $Var(x):Fix(y)$ ) детекторов зоны  $D_i^*$  в детектор  $d_{i+1}^*$  зоны  $D_{i+1}^*$ . Данный процесс представлен на рис. 2.

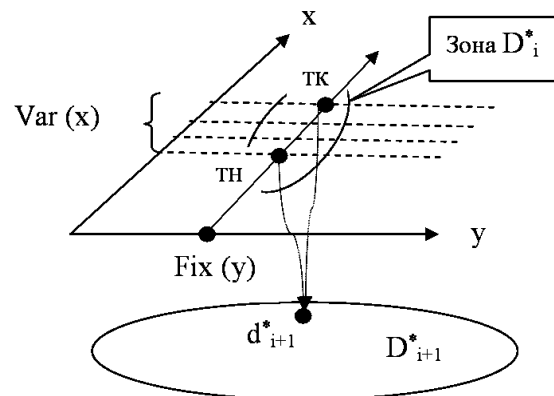


Рис. 2. Формирование детектора  $d_{i+1}^*$  по срезу  $Var(x):Fix(y)$

Формализуем вышесказанное. Определим процесс формирования детектора  $d_{i+1}^*$  как импликацию ( $\Rightarrow$ ) результата операции установления порядка  $L$  детекторов зоны  $D_i^*$  по срезу  $Var(P_i^*):Fix(P_j^*)$  в момент времени  $t$ :

$$\begin{matrix} d_K^* \\ L D_i^* \\ d_H^* \end{matrix} t / Var P_i^* : Fix P_j^* \Rightarrow d_{i+1}^* t, \quad (10)$$

где  $d_H^*$  и  $d_K^*$  – соответственно детекторы начала и конца порядка.

Последовательное использование всех базовых характеристик для построения структурных элементов приводит к свертке структуры контура изображения и получению реакции одного детектора, например, детектора замыкания структуры, что по своему информационному содержанию мало чем

отличается от процессов свертки информации в ИНС. Кроме того, получение подобной конечной реакции делает невозможным дальнейшее формирование производных характеристик и не приводит нас даже к результату классификации образа. Однако, в процессе формирования структурных элементов по базовым характеристикам мы получили цепочку детекторов данных элементов различного уровня общности (абстрактности) и максимально возможной, с учетом заложенных механизмов восприятия, полноты внутреннего представления (презентации) входного образа. Следовательно, для построения детекторов структурных элементов по производным характеристикам необходимо использовать всю цепочку полученных детекторов так, как это представлено на рис. 3.

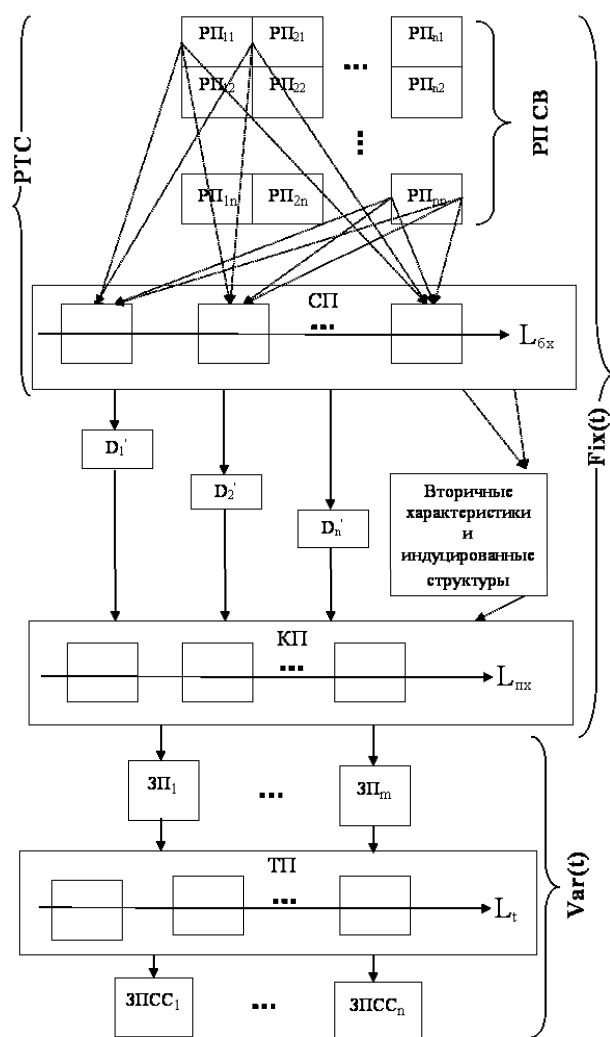


Рис. 3. Экранная (процессорная) структура ПС ФСИТ

Основной принцип формирования производных структурных характеристик – определение регулярности структуры в результате сопоставления (сравнения) фрагментов цепочек структурных элементов предыдущих уровней. Например, цепочка структурных элементов при заданном направлении

обхода контура изображения формирует порядок по производной характеристике. Эти срезы могут состоять из одинаковых структурных элементов, повторяющихся цепочек структурных элементов либо разных структурных элементов.

*Определение 7.* Совокупность зон, где на основе операции установления порядка (10) происходит синтез новых (более высокого уровня общности) структурных элементов будем называть *интегрированными зонами* или *экранами* подсистем восприятия (СВ), ПС и РС ФСИТ.

Каждый экран содержит полное представление (презентацию) воспринимаемого образа на различных уровнях абстрагирования – общности по определенным характеристикам. Наличие подобного экрана внутреннего представления на уровне стрипарной коры мозга (в структуре ПС ФСИТ – *структурный процессор* (СП)) подтверждается исследованиями японских нейрофизиологов, представленными в работе [6].

Так как внутренние экраны являются основными зонами ФСИТ, где происходит преобразование информации на основе последовательных процедур, то они выполняют функцию *процессоров* ФСИТ.

На рис. 3 представлены 4 экрана СВ и ПС ФСИТ:

- 1) I-ая интегрированная зона рецептивных полей (РП) СВ ФСИТ;
- 2) II-ая интегрированная зона – структурный процессор (СП) ПС ФСИТ;
- 3) III-ая интегрированная зона – *концептуальный процессор* (КП) ПС ФСИТ;
- 4) IV-ая интегрированная зона – *темпоральный процессор* (ТП) ПС ФСИТ.

На данном рисунке также обозначены: РТС – ретинотопическая структура; ЗП – зоны концептов (понятий), ЗПСС – зоны причинно-следственных связей и временных цепочек;  $L_{6x}$  – упорядочивание по базовым характеристикам;  $L_{px}$  – упорядочивание по производным характеристикам;  $L_t$  – упорядочивание по временным характеристикам.

Функционирование СП рассмотрено в работе [2]. На этом уровне обработки информации происходит декомпозиция структуры по базовым характеристикам и синтез структурных элементов с использованием операции установления порядка, т.е. классификация и идентификация элементарных образов – структурных элементов контура изображения.

Рассмотрим функционирование КП.

КП предназначен для классификации и идентификации сложных образов (образов состоящих из структурных элементов, детектируемых на уровне СП) на основе использования производных характеристик (px) в текущий момент времени т.е. при  $Fix(t_i)$  при осуществлении обучения распознаванию с учителем или без учителя, в зависимости от участия в этом процессе РС, а также для формирования входного множества детекторов ТП и экранов уровня РС.

Одним из самых принципиальных вопросов является установление точек начала (тн) и конца (тк) порядка. Любой процесс, система (объект) имеет тн и тк (например, жизненный цикл системы). Пространственно-временная упорядоченность процессов, объектов, структур в пределах тн-тк является, как известно, всеобщим свойством воспринимаемого мира. В ФСИТ, если при рассмотрении процессов формирования детекторов на уровне СП это были точки концов отрезков – точки "захвата" контура изображения, определяемые с помощью процедур, моделирующих функцию саккад глаз и фиксации контрастного зрения на структурных точках контура, то для КП это последовательность прихода выходных сигналов (реакций) от детекторов зон  $D_1'$  -  $D_n'$ . Учитывая результаты исследований, представленные в работе [2], определим, что последовательность проекций множества детекторов, полученных (возбужденных) в СП, на КП состоит из подмножества реалистичного представления – реалистичной структуры ( $L_p$ ) и подмножеств вторичного представления - индуцированных структур ( $L_{ni}$ ),  $i=\{1, \dots, n\}$ , в случае их существования:

$$L_{пх} = (L_p) \cup (L_{n1}) \cup (L_{n2}) \cup \dots (L_{ni}). \quad (11)$$

На рис. 4 представлена схема формирования реалистичной и индуцированных структур в КП.

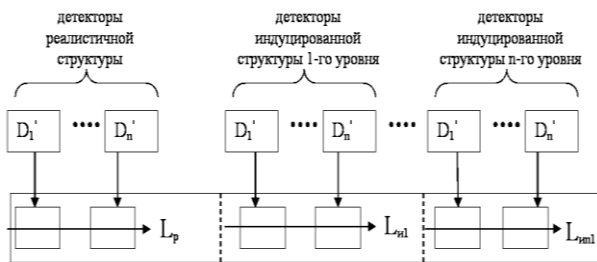


Рис. 4. Схема формирования структур в КП ФСИТ

Необходимость индуцированных структур и алгоритм их формирования представлены в работе [2]. Отметим, что данные структуры выполняют роль аппроксимационных фильтров, сглаживающих контур изображения до подструктур 1-го уровня вложенности, что позволяет устранить деформационные искажения 2-го рода [7]. Формирование индуцированных структур ведет к упрощению изображения до уровня простейшей редукции [1], что, в свою очередь, позволяет выделить общие классификационные признаки в разных по сложности изображениях.

Все вышесказанное можно проиллюстрировать на примере, приведенном на рис. 5. Для простоты, в данном примере не рассмотрены вторичные характеристики, не отображена ретинотопическая структура зон базовых характеристик, точки "захвата" контуров исходных изображений а и б определены по одному алгоритму, направление обхода контуров - правое. Данные ограничения позволяют исключить из рас-

смотрения аффинные преобразования контуров изображений, а также деформационные искажения 1-го рода и рассмотреть только процесс абстрагирования от деформационных искажений 2-го рода.

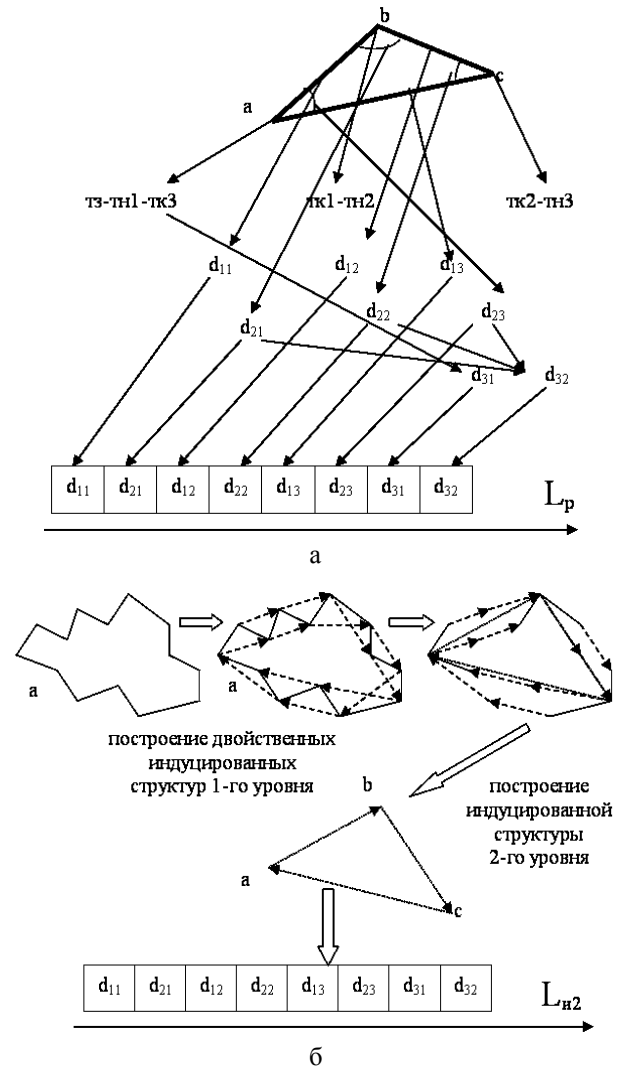


Рис. 5. Пример построения:  
а – реалистичной структуры;  
б – индуцированной структуры 2-го уровня

На рис. 5, а схематично представлено построение детекторов треугольника abc. Точка "а" является точкой "захвата" контура (детектор тз), тн1 отрезка "ab" и тк3 отрезка "ca" и так далее;  $d_{11}$  – детекторы отрезков соответствующего направления ориентации;  $d_{2i}$  – детекторы углов одинакового (правого) изменения направления ориентации отрезков их образующих,  $d_{31}$  – детектор замыкания структуры;  $d_{32}$  – детектор выпуклости структуры;  $L_p$  – порядок проекции детекторов реалистичной структуры на подзону КП. На рис. 5, б схематично представлена последовательность формирования индуцированных структур и формирование  $L_{n2}$  – порядка проекций детекторов индуцированной структуры 2-го уровня на соответствующую подзону КП. Как видно, порядки проекций детекторов в подзонах КП в примерах а и б идентичны, что позволяет говорить о наличии одинаковых

классификационных характеристик на разных уровнях восприятия – реалистичном и вторичном (индуцированном). Построение индуцированных структур является примером алгоритма "бессознательного мысленного эксперимента" также как и множественный выбор точек "захвата" контура, моделирующий вращение изображения. Возможность построения индуцированной структуры на конечном этапе (рис. 5, б) обусловлена определением общего направления развития подструктур по квадрантам внутренней ориентационной системы и аппроксимацией пучка последовательно изменяющихся в одном направлении векторов ориентации в каждом квадранте (на рис. 6 представлено определение развития подструктур примера 5, б по квадрантам I, II и IV при правом направлении обхода контура и переносе центра координат ориентационной системы в конечные (критические) точки развития подструктур).

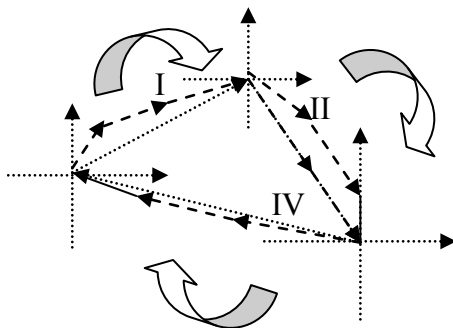


Рис. 6. Аппроксимация направлений развития подструктур в квадрантах ориентационной системы

Таким образом, только изменяя порядок относительно выбранной точки "захвата" и уровень индуцированной структуры мы получаем полноту представления и множество альтернатив классификации. Выбор конкретной альтернативы осуществляется на уровне РС. Так, например, изображение на рис. 5 б мы можем и не классифицировать как треугольник - можно сказать, что это замкнутая ломаная (явное сходство с треугольником будет при более "мелкой" изрезанности сторон), а изображение на рис. 7 можем классифицировать и как треугольник с изрезанными сторонами, и как множество наложенных друг на друга треугольников, и как лежащую на боку "ёлочку", и как стрелку в зависимости от контекста (установленного порядка) распознавания, определяемого на уровне РС.



Рис. 7. Пример изображения со множественной классификацией

Существование подобной множественной классификации говорит о том, что на уровне КП необходимо хранить эталонные структуры – *концепты класса распознавания* и сравнивать их с полученными порядками как реалистичного представления, так и всех уровней вторичного представления.

Для осуществления процедур обучения распознаванию на уровне КП с учителем и без учителя необходимо хранить порядки всех примеров каждого класса распознавания, т.е. запоминать на данном уровне презентации все изображения, предъявленные ФСИТ. Таким образом формируется первичный уровень ассоциативной памяти без привязки во времени ( $Fix(t_i)$ ).

*Определение 8.* Назовем фреймом  $L(I)$  класса распознавания образа  $I$  зону в которой будут последовательно (например, в порядке предъявления) запомнены все структуры (порядки) первичного и вторичного представления каждого из примеров образа  $I_i$ , отнесенного к этому классу распознавания в результате сравнения ( $\downarrow$ ) данных порядков с уникальным эталонным порядком  $LConc(I)$  – концептом класса распознавания, полученным в процессе обучения:

$$(L_{pi}, L_{ni1}, \dots, L_{inn}) = L(I_i); \quad (12)$$

$$(L_{pi}, L_{ni1}, \dots, L_{inn}) \downarrow LConc(I); \quad (13)$$

$$LConc(I) \subseteq L(I); \quad (14)$$

$$LConc(I) \neq LConc(J). \quad (15)$$

Таким образом, фрейм  $L(I)$  состоит из  $n$  записей  $L(I_i)$ ,  $i=\{1, \dots, n\}$ , а  $LConc(I)$  будет являться "ключом" фрейма.

Если фрейм пуст, то в начальном периоде обучения (при первом представлении примера образа  $I_1$ ):

$$L(I_1) = LConc(I). \quad (16)$$

Что представляет собой  $LConc(I)$ ? В процессе формирования концепта происходит сравнение упорядоченных структур (порядков) полученных в настоящий момент времени, т.е. в процессе презентации воспринимаемого образа, и множества аналогичных структур, полученных в прошлом и содержащихся во фрейме класса распознавания, т.е. уже классифицированных. При этом  $LConc(I)$  является фиксированной производной характеристикой:  $Fix(LConc(I))$  при  $Var(L(I_i))$ . Тогда,

$$LConc(I) = \bigcap_{i=1}^m L(I_i). \quad (17)$$

Отметим, что разные по сложности примеры образа  $I$  будут содержать различное количество индуцированных структур, а  $L(I_i)$  является порядком с начальной и конечной точками. Для совмещения упорядоченных структур различных примеров образа  $I$  необходимо осуществлять их сравнение начиная с индуцированных структур наивысшего уровня – уровня наибольшей степени общности (противоположно последовательности их построения), так как это показано на рис. 8.



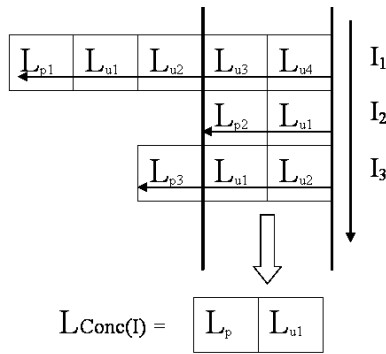


Рис. 8. Пример процедуры формирования концепта

Однако, если (для примера на рис. 8) во фрейме содержится только  $L(I_1)$  и, следовательно,  $L_{Conc}(I) = L(I_1)$ , то каким образом  $L(I_2)$  будет отнесен к данному классу распознавания? Это может произойти только в том случае, если будет получен внешний "принудительный" сигнал о принадлежности  $L(I_2)$  к данному классу распознавания, т.е. осуществлена процедура обучения с учителем (забегая вперед скажем, что данный сигнал формируется обратной связью РС и сама ФСИТ сделать подобный вывод пока не в состоянии). Следовательно, процедура обучения с учителем формирует концепт

$$L_{Conc}(I) = \min(L(I_i)), \quad (18)$$

где  $L(I_i) \in L(I)$ .

Таким образом происходит коррекция концепта класса распознавания в процессе обучения с учителем. Заметим, что  $\min(L(I_i))$  является простейшим редуцированным образом [1].

Но что произойдет, если "принудительный" сигнал не поступит? В этом случае  $I_2$  не будет классифицирован как образ  $I$ , т.к. возможно найдутся концепты, где совпадения с  $L(I_2)$  будут еще большими, но не полными.

В случае отсутствия сигналов обучения от РС, реализуется процедура обучения без учителя. Суть данной процедуры заключается в том, что разность

$$L_{Conc}(I) \setminus L(I_i) \rightarrow \min\{L(I)\}, \quad (19)$$

где  $\{L(I)\}$  – множество всех фреймов различных классов распознавания.

Очевидно, что процедура обучения без учителя требует постепенной коррекции концепта, а следовательно и большей обучающей выборки.

Отметим, что концепты классов распознавания соответствуют только целым, обобщенным образам и, в случае сложных образов, содержат в себе подпорядки – подструктуры, соответствующие подобразам. Например, концепт фрейма образа "человек" содержит подструктуры, соответствующие подобразам "голова", "рука", "нога", "туловище" и т.д. Однако подобраз "голова" может иметь структуру идентичную структуре концепта фрейма "круг". Следовательно в процессе распознавания в активном или актуальном состоянии будут оба фрейма -

"человек" и "круг". Таким образом, в частности, формируется множественность распознавания, т.е. возникают альтернативные варианты распознавания. При одинаковых уровнях возбуждения, о них мы будем говорить ниже, КП не может осуществить выбор альтернативы, для этого ему нужны управляющие сигналы от РС, которые обеспечат данный выбор и осуществят "подавление" сигналами торможения отвергнутые варианты.

Рассмотрим процесс выделения подобразов во фрейме образа. Данный процесс может осуществляться как с использованием процедуры обучения с учителем, так и без него.

Предположим, что сложный образ  $I$ , например "человек", содержит подобразы  $G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$  для которых еще не сформированы зоны детекторов. Этим подобразам соответствуют одинаковые подструктуры в порядках всех уровней во всех примерах образа и, следовательно, в  $L_{Conc}(I)$ :

$$l_{Conc}(g_i) \subset L_{Conc}(I), \quad (20)$$

где  $l_{Conc}(g_i)$  – концепт подобраза  $g_i$ .

Данный концепт подобраза в процессе самообучения выделяется в самостоятельную структурную единицу так, как это представлено на рис. 9.

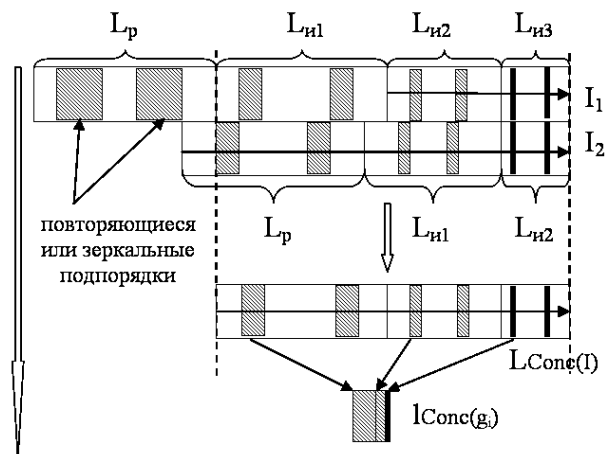


Рис. 9. Процесс формирования концепта подобраза

В процессе обучения с учителем концепты подобразов могут быть сформированы и на одном примере. Наличие повторяющихся (регулярных) или зеркальных подпорядков ведет к формированию детекторов вторичных характеристик на уровне КП.

Таким образом,

$$L_{Conc}(I) = \bigcup_{i=1}^n l_{Conc}(g_i) \quad (21)$$

Концепты подобразов играют решающую роль в процессе ассоциативного распознавания. Необходимо отметить, что фрейм класса распознавания может содержать и альтернативные концепты.

Итак, мы определили назначение, структуру и порядок формирования концептов образов и подобразов, но пока не получили реакции классификации

детектора образа или примера образа, так называемой "бабушкиной клетки".

В данном процессе концепт не только играет роль "ключа" фрейма, как было указано ранее, но также имплицитивно формирует  $R_3$  - зонную реакцию разделения образов, представляющую собой "имя" или "адрес" зоны, содержащей детекторы примеров распознавания образа.

$$LConc(I) \Rightarrow R_3. \quad (22)$$

Тогда каждая запись  $L(I_i)$  фрейма должна имплицитивно формировать вторую часть реакции КП, определяющую точку в выбранной зоне – детектор примера или "бабушкину клетку"

$$L(I_i) \Rightarrow r_n. \quad (23)$$

Перевод детектора распознавания примера образа  $d(I_i)$  в актуальное состояние проиллюстрировано на рис.10.

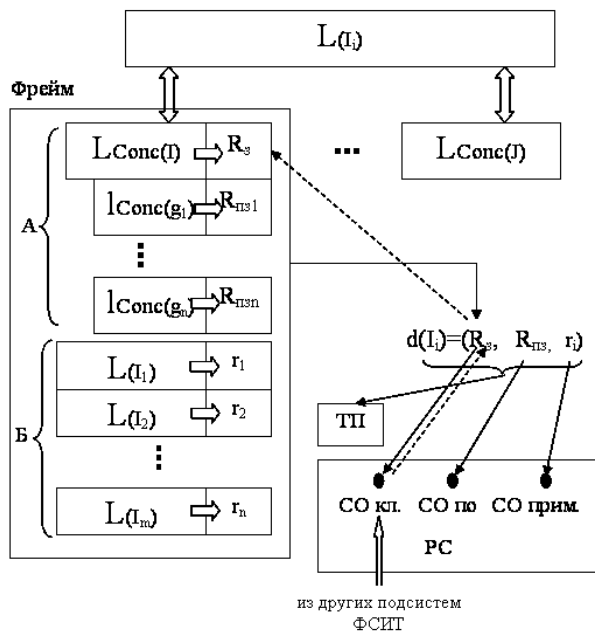


Рис. 10. Процесс формирования зонной реакции детектора распознавания примера образа  $d(I_i)$

Фрейм класса распознавания состоит из подзоны "ключей" А – концептов образа и подобразов, а также их имплицитивных реакций, подзоны Б – примеров образов и их реакций. Сформированная на выходе КП комплексная зонная реакция  $d(I_i) = (R_3, R_{пз}, r_i)$  поступает на вход ТП, где происходит ее запоминание и дальнейшая обработка, а также на вход РС, где каждому из элементов реакции ставится в соответствие детектор – семантический определитель (СО) (слово на языке РС ФСИТ), например: СО класса распознавания (СО кл.), СО подобраза (СО по.), СО примера образа (СО прим.).

В случае обучения с учителем, управляющий сигнал из других подсистем ФСИТ (например, подсистемы восприятия и распознавания звука) возбуждает соответствующий СО РС (например, СО кл.). Затем, обратный сигнал (обозначен пунктирной

стрелкой) возбуждает соответствующий концепт, который *должен* принять участие в сравнении.

Все элементы зон и подзон – детекторы могут находиться в трех состояниях: актуальном состоянии максимального возбуждения, состоянии латентного (скрытого) возбуждения и состоянии остаточного возбуждения. Детектор переходит из актуального в латентное состояние в случае формирования на его выходе реакции для следующего уровня обработки или в том случае, если он был отвергнут в результате альтернативного выбора (заторможен соответствующим сигналом). Латентное возбуждение позволяет вернуться к альтернативным вариантам или к предыдущему уровню обработки информации, например в процессе идентификации изображения. Таким образом, вся структура детекторов, сформированная в процессе обработки информации о воспринимаемом в данный момент образе, находится либо в актуальном (на "вершине" обработки) либо в латентном состоянии.

Латентное состояние также определяет *локус* (область взаимосвязи и множество возможных переходов) детектора, находящегося в актуальном состоянии.

Детекторы не задействованные в процессе обработки постепенно снижают свой уровень возбуждения и переходят в состояние остаточного возбуждения.

*Утверждение 1. Уровень возбуждения является количественной мерой выбора - средством конкуренции детекторов.*

Те детекторы, которые в актуальном или латентном состоянии будут иметь самый высокий уровень возбуждения и будут выбраны для дальнейшей обработки соответствующим процессором, а остальные с помощью механизма торможения окажутся в "резерве" для возможной альтернативной обработки.

Следовательно, уровень возбуждения лишь сигнализирует о готовности нейрона или НЭ к участию в обработке информации, но не передает саму информацию – зонную реакцию.

Очевидно, что уровень возбуждения в актуальном состоянии будет зависеть от степени совпадения сравниваемой последовательности с эталонной, например,  $L(I_i)$  с  $LConc(I)$ , либо от конкурентного временного захвата (при более коротких цепочках связи) так, как это было рассмотрено при обработке информации в СП [2]. Уровень возбуждения в латентном состоянии при расширении локуса будет зависеть от уровня остаточного возбуждения (т.е. как давно или как часто данный детектор принимал участие в процессе обработки).

Таким образом, можно предположить, что наблюдаемая в ходе многочисленных экспериментов реакция нейрона мозга определяет именно уровень возбуждения и состояние нейрона, но ничего не говорит об основной, зонной реакции нейрона, которая, по-видимому имеет иные механизмы формирования и проявляется по-другому.

Определение 9. Последовательную структуру интегрированных зон -процессоров, каждый из которых осуществляет упорядочивание зонных реакций детекторов (НЭ) предыдущего уровня на основе их конкурентного выбора по уровням возбуждения назовем *структурной нейронной сетью*, реализующей ПС и РС ФСИТ.

### Выводы и направления дальнейших исследований

В рассмотренной работе предложена новая концепция создания нейронных сетей – структурные нейронные сети, которые позволяют на основе использования универсальной процедуры установления порядков зонных реакций детекторов без применения математических вычислительных процедур осуществить реализацию ФСИТ. В качестве основного вывода, можно предложить следующую гипотезу.

*Гипотеза.* Основой самоорганизации ФСИТ, движущей силой "мышления" как на уровне ПС, так и на уровне РС, является механизм формирования и "стремления" к продолжению упорядоченных по определенным срезам цепочек детекторов в результате последовательного расширения их локусов.

Подтверждение данной гипотезы возможно в результате проведения дальнейших исследований, а именно:

- 1) изучение особенностей формирования внутренних качественных и количественных шкал на основе вторичных характеристик;
- 2) введение новой базовой характеристики – движения;
- 3) исследование темпоральной памяти и интегрированной зоны, отвечающей за ее построение – темпорального процессора;
- 4) исследование функций РС и ее ядра – семантического процессора;

5) исследование управления РС презентативной подсистемой;

6) исследование принципа самоорганизации (самоуправления) РС ФСИТ и построения метапроцессоров репрезентации;

7) разработка модели детектора (НЭ) структурной нейронной сети.

### Список литературы

1. 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.
2. Паржин Ю.В. Модель презентативной подсистемы формальной системы интеллектуального типа / Ю.В. Паржин // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2009. – Вип. 6 (80). – С. 2-12.
3. Хокинс Дж. Временная иерархическая память [Электронный ресурс] / Дж. Хокинс, Дж. Дайлип. – Режим доступа к ресурсу: [http://groups.google.com.ua/group/futurvector/browse\\_thread/thread/9a6bd73b71daff72?hl=ru](http://groups.google.com.ua/group/futurvector/browse_thread/thread/9a6bd73b71daff72?hl=ru).
4. Минский М. Перцептроны / М. Минский, С. Пейперт. — М.: Мир, 1971. – 261 с.
5. Хьюбел Д. Глаз, мозг, зрение. Пер. с англ. / Д. Хьюбел. – М.: Мир, 1990. – 239 с.
6. Машина считала зрительный образ с мозга человека [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.membrana.ru/articles/inventions/2008/12/15/172900.html>.
7. Паржин Ю.В. Определение критических точек в структуре контурных изображений для построения концепта распознавания / Ю.В. Паржин, А.А. Адаменко, Д.В. Гринев // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 10 (38). – С. 142-149.

Поступила в редколлегию 15.09.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.А. Краснобаев, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко, Харьков.

### ОСНОВИ ТЕОРІЇ ФОРМАЛЬНИХ СИСТЕМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ТИПУ. СТРУКТУРНІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ

Ю.В. Паржин

*В роботі запропонована нова концепція створення штучних нейронних мереж – здійснення декомпозиції властивостей образів, що веде до формування декомпозиційної структури образів без використання математичних обчислень. Цю концепцію реалізують розроблені структурні нейронні мережі, що складаються з послідовності інтегрованих зон – процесорів, кожний з яких, використовуючи універсальну процедуру здійснює упорядкування зонних реакцій детекторів попереднього рівня на основі їхнього конкурентного вибору за рівнями збудження. Принципи побудови та функціонування презентативної та репрезентативної підсистем формальної системи інтелектуального типу, що викладені в роботі, є основою запропонованої теорії.*

**Ключові слова:** штучний інтелект, нейронна мережа, презентативна підсистема, репрезентативна підсистема, декомпозиція властивостей образів, формальна система інтелектуального типу.

### FUNDAMENTALS OF THE THEORY OF INTELLECTUAL TYPE FORMAL SYSTEMS. STRUCTURAL NEURAL NETWORKS

Yu.V. Parzhin

*The research deals with the new concept of artificial neural networks development - that is the decomposition of images characteristics that leads to the generation of decomposition structure of images without mathematical calculations. This concept is realized by the designed structural neural networks which comprises the sequence of integrated zones – processors. Each processor using universal procedure orders zone reactions of previous level detectors on the basis of their competitive choice as to the levels of activation. The foundations of the suggested theory are the principles of development and operation of presentation and representative subsystems of formal system of intellectual type which are stated in the research.*

**Keywords:** artificial intellect, neural network, presentation subsystem, representative subsystem, decomposition of images characteristics, formal system of intellectual type.