

at: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-642-55355-4_47.pdf (accessed 15.09.2019).

11. Dvukhglavov D. E., Muzyka O. V., Hlaskov S. O. Model of the situations recognition in conditions dissimilar and incomplete data. *Visnyk NTU «KhPI»: zb. nauk. pr. Seriya: Sy'stemny'j analiz, upravlinnya ta informacijni tehnologiyi.* [Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology]. Kharkiv, NTU "KhPI", 2016, no. 37 (1209), pp. 17–21.
12. Dovby'sh A. S. *Osnovy' proektuvannya intelektual'ny'x sy'stem.* Sumy', SumGU Publ., 2009, 171 p.

Received 30.09.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Двухглавов Дмитро Едуардович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Програмна інженерія та інформаційні технології управління»; тел.: (095) 120-30-66; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3361-3212>; e-mail: ddimae72@gmail.com

Двухглавов Дмитрий Эдуардович – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры «Программная инженерия и информационные технологии управления»; тел.: (095) 120-30-66; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3361-3212>; e-mail: ddimae72@gmail.com

Dvukhhlavov Dmytro Eduardovych – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department «Software engineering and management information technology»; tel.: (067) 839-12-41; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3361-3212>; e-mail: ddimae72@gmail.com

Рябуха Тетяна Олегівна – студентка магістратури, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; тел.: (098) 043-09-48; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8881-0619>; e-mail: tanyanice97@gmail.com

Рябуха Татьяна Олеговна – студент магистратуры, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»; тел.: (098) 043-09-48; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8881-0619>; e-mail: tanyanice97@gmail.com

Riabukha Tatiana Olegivna – student of magistracy, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"; tel.: (098) 043-09-48; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8881-0619>; e-mail: tanyanice97@gmail.com

УДК 004.93

DOI: 10.20998/2079-0023.2019.02.10

Ю. В. ПАРЖИН, М. Н. СОЛОЩУК, Н. Ю. ЛЮБЧЕНКО

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИИ В НЕЙРОМОРФНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЯХ НЕЙРОНОВ

Рассматривается системный принцип построения детекторных искусственных нейронных сетей (ДНС). Этот принцип основан на определении и детектировании структурных элементов распознаваемых образов, а также их производных и производных характеристик. Непроизводные структурные элементы, а также их качественные и количественные характеристики определяются эмпирически. Эти элементы и их характеристики детектируются специфическими нейронами-детекторами ДНС на этапе сенсорного восприятия. Процесс детектирования производных структурных элементов основан на открытии Дэвидом Хьюбелом (David Hubel) и Т. Визелем (Torsten Wiesel) избирательной реакции нейронов первичной зрительной коры мозга на определенные стимулы. Однако производных структурных элементов и их характеристик недостаточно для решения задачи классификации образов. Это связано с тем, что в процессе обучения нейрона-детектора класса образов происходит потеря информации, которая не содержит устойчивых признаков классификации. Эта потеря информации отражает обобщающую способность ДНС и ведет к уменьшению ее разрешающей способности. Для увеличения разрешающей способности ДНС необходима дополнительная информация. Эта информация может быть получена в результате формирования производных характеристик структурных элементов распознаваемого образа. Формирование производных характеристик отражает процесс информационного анализа, осуществляемого нейронами-анализаторами ДНС, которые, по мнению авторов, являются информационными моделями биологических нейронов-анализаторов. Тогда процесс информационного синтеза реализуется единичными производными нейронами-детекторами ДНС. Эти нейроны-детекторы реагируют на цельные образы. Построение информационных моделей нейронов основывается на выдвинутых авторами гипотезах нейронного кода, объясняющих информационную сущность реакций нейронов.

Ключевые слова: детекторная нейронная сеть, нейрон-детектор, нейрон-анализатор, нейроморфная модель нейрона, искусственная нейронная сеть, искусственный интеллект.

Ю. В. ПАРЖИН, М. М. СОЛОЩУК, Н. Ю. ЛЮБЧЕНКО

АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЇ В НЕЙРОМОРФНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ МОДЕЛЯХ НЕЙРОНІВ

Розглядається системний принцип побудови детекторних штучних нейронних мереж (ДНМ). Цей принцип заснований на визначенні та детектуванні структурних елементів образів, що розпізнаються, а також їх непохідних та похідних характеристик. Непохідні структурні елементи, а також їх якісні та кількісні характеристики визначаються емпірично. Ці елементи і їх характеристики детектуються специфічними нейронами-детекторами ДНМ на етапі сенсорного сприйняття. Процес детектування непохідних структурних елементів ґрунтується на відкритті Дэвідом Хьюбел (David Hubel) і Т. Візель (Torsten Wiesel) виборчої реакції нейронів первинної зорової кори мозку на певні стимули. Однак непохідних структурних елементів і їх характеристик недостатньо для вирішення задачі класифікації образів. Це пов'язано з тим, що в

© Ю. В. Паржин, М. Н. Солощук, Н. Ю. Любченко, 2019

процесі навчання нейрона-детектора класу образів відбувається втрата інформації, яка не містить стійких ознак класифікації. Ця втрата інформації відображає узагальнюючу здатність ДНМ і веде до зменшення її роздільної здатності. Для збільшення роздільної здатності ДНМ необхідна додаткова інформація. Ця інформація може бути отримана в результаті формування похідних характеристик структурних елементів образу, що розпізнається. Формування похідних характеристик відображає процес інформаційного аналізу, здійснюваного нейронами-аналізаторами ДНМ, які, на думку авторів, є інформаційними моделями біологічних нейронів-аналізаторів. Тоді процес інформаційного синтезу реалізується одиничними похідними нейронами-детекторами ДНМ. Ці нейрони-детектори реагують на цілісні образи. Побудова інформаційних моделей нейронів ґрунтується на висунутих авторами гіпотезах нейронного коду, що пояснюють інформаційну сутність реакцій нейронів.

Ключові слова: детекторна нейронна мережа, нейрон-детектор, нейрон-аналізатор, нейроморфна модель нейрону, штучна нейронна мережа, штучний інтелект.

Y. V. PARZHIN, M.M. SOLOSHCHUK, N.Y. LIUBCHENKO

ANALYSIS OF INFORMATION IN NEUROMORPHIC INFORMATION MODELS OF NEURONS

The article discusses the systemic principle of constructing of detector artificial neural networks (DNN). This principle is based on the determination and detection of structural elements of recognizable patterns, as well as their non-derivative and derivative characteristics. Non-derivative structural elements, as well as their qualitative and quantitative characteristics, are determined empirically. These elements and their characteristics are detected by specific neurons-detectors of the DNN at the stage of sensory perception. The process of detecting of non-derivative structural elements is based on the discovery by David Hubel and Torsten Wiesel of the selective response of neurons in the primary visual cortex to certain stimuli. However, non-derivative structural elements and their characteristics are not enough to solve the problem of image classification. This is due to the fact that in the process of training of a neuron-detector of a class of images, information is lost that does not contain stable classification features. This loss of information reflects the generalizing ability of the DNN and leads to a decrease in its resolution. To increase the resolution of the DNN, additional information is needed. This information can be obtained as a result of the formation of derived characteristics of the structural elements of a recognizable image. The formation of derived characteristics reflects the process of information analysis, which is carried out by neurons-analyzers of the DNN. According to the authors, these neurons-analyzers are information models of biological neurons-analyzers. Then the process of information synthesis is implemented by the single derivatives neurons-detectors of the DNN. These neurons-detectors respond to whole images. The construction of information models of neurons is based on the hypotheses of the neural code put forward by the authors, which explain the information essence of the reactions of neurons.

Keywords: detector neural network, neuron-detector, neuron-analyzer, neuromorphic model of a neuron, artificial neural network, artificial intelligence.

Введение. В работе [1] были сформулированы гипотезы нейронного кода, позволившие выдвинуть детекторный подход к построению искусственных нейронных сетей (ИНС) – детекторных ИНС (ДНС). Если принять тезис о том, что наше субъективное восприятие образов внешнего мира связано с возбуждением нейронов-детекторов, то возникает вопрос: какую информацию они передают другим нейронам и достаточно ли этой информации для формирования внутренней картины окружающего мира? Однозначно ответить на этот вопрос не представляется возможным ввиду отсутствия экспериментальных данных. Однако можно построить гипотетические модели, имеющие определенное математическое обоснование и не противоречащие результатам современных исследований нейрофизиологии и нейропсихологии.

В многочисленных исследованиях, например, [2–5], делаются выводы о том, что на уровне распознавания отдельных образов существуют не только детекторы данных образов и их структурных элементов, но и детекторы их качественных и количественных характеристик. Назовем детекторы образов или их структурных элементов *структурными детекторами*, а детекторы их качественных и количественных характеристик – *характеристическими детекторами*.

Структурные детекторы реагируют на отдельные образы или их элементы такие как, например, отрезок, конец отрезка, угол, треугольник, прямоугольник, лицо человека и т.д. Реакции структурных детекторов могут быть инвариантны относительно определенных характеристик. Подобная инвариантность формируется в процессе встречного обучения структурного детектора [1].

К первичным или *базовым* характеристикам, детектируемым на уровне системы восприятия и распознавания зрительных образов, например, относятся:

длина и ориентация отрезков контура изображения, их местоположение в зрительном поле, направление и скорость движения отрезков, цвет, величина углов и др. Базовые характеристики формируются простыми нейронами-детекторами на основе информации поступающей от рецепторов системы восприятия. Реакции характеристических детекторов каждой характеристики инвариантны относительно значений других характеристик.

Системный принцип построения нейронных сетей. Если ДИНС состоит только из нейроэлементов (НЭ) – детекторов, то неизбежно возникают проблемы их взаимосвязи, образования нейронных структур для обработки информации и формирования внутреннего представления объектов и процессов воспринимаемого мира. Данные проблемы ярко проявляются в коннекционных моделях нейронных сетей, которые, несмотря на все усилия многочисленных исследователей, так и не стали платформой создания «сильного» ИИ [6].

Действительно, наш мозг способен не только воспринимать отдельные информационные признаки внешних образов и, как предполагают некоторые исследователи, «мозаично» или даже голографично объединять их в реакции детекторов, но и сравнивать эти признаки, осуществлять анализ воспринимаемой информации. Без анализа информации невозможно представить какую-либо интеллектуальную деятельность. Очевидно, что анализ информации является базовой функцией мозга и осуществляется не только в результате сознательной деятельности в процессе функционирования репрезентативной системы мозга, но и бессознательно в процессе формирования презентативной картины окружающего мира презентативной системой [7]. Можно сформулировать следующее утверждение.

Системность – взаимосвязь анализа и синтеза

информации является основным принципом формирования нейронных структур мозга и обработки информации в этих структурах.

Если синтез информации осуществляется нейронами-детекторами, то анализ – декомпозиция информации в результате формирования вторичных или производных характеристик, должен осуществляться нейронами другого типа – нейронами-анализаторами.

К производным характеристикам, формируемым нейронами-анализаторами на уровне распознавания зрительных контурных образов, могут относиться: количество отрезков и углов; соотношение длин отрезков и величин углов; направление изменения ориентации отрезков при выборе системой внимания начальной точки и направления обхода контура и др. Производные характеристики формируются на основе реакций детекторов базовых характеристик либо структурных детекторов [7].

Структурный НЭ-детектор d_i «срабатывает», когда на его входы поступают сигналы соответствующие его концепту $Con(d_i)$, сформированному в процессе обучения с «учителем» [1]. Очевидно, что с информационной точки зрения нет обоснованной необходимости в том, чтобы в реакции детектора содержалась какая-либо иная информация кроме информации о самом факте его возбуждения с определенным уровнем. Информацией о возбуждении конкретного детектора, которая может восприниматься другими нейронами, является «адрес» детектора. Информация об уровне возбуждения детектора кодируется частотной или амплитудной реакцией. Частотные значения уровней возбуждения детекторов необходимы для их конкурентной борьбы (WTA-конкуренции) за право участия в дальнейшей обработке информации.

Детекторы одного типа и уровня обработки информации должны быть сгруппированы в модули. Идея модульной организации мозга была выдвинута в работах В. Маунткастла и Д. Хьюбела [8, 2].

Логично предположить, что структурные детекторы в модулях упорядочены по «адресам». Степень различия «адресов» детекторов в модуле определяется уровнем различия их концептов Con . Например, при «захвате» нового детектора командный нейрон модуля (нейрон новизны) посылает управляющий сигнал «захвата» «свободному», не активированному нейрону с «адресом», определяемым в зависимости от разности длины нового входного вектора \bar{X} и концепта минимальной длины, принадлежащего детектору класса [1]. Таким образом, подобный модуль детекторов будет содержать детекторы примеров или экземпляров одного класса. Назовем такой модуль *классовым*. Структурные детекторы в данном модуле будут находиться в *родовидовых* отношениях, определяемых взаимосвязью концептов. Структурные детекторы классовых модулей, расположенных последовательно в рефлекторной дуге, находятся в отношении «часть-целое».

Характеристические детекторы в модулях также должны быть упорядочены по «адресам», но, в отличие от структурных детекторов, они должны находиться в

линейной взаимосвязи образуя не родовидовые отношения, а *качественные шкалы*. Качественные шкалы могут состоять из двух – бинарные шкалы или большего количества элементов – n -арные шкалы. Примером бинарной шкалы может служить шкала типа «право-лево», а n -арной – «мало-много», цветовая шкала и др.

Идея адресной упорядоченности структурных и характеристических детекторов в модуле основана на результатах исследований системы восприятия цвета, проведенных Е. Н. Соколовым и С. Зеки [9, 10].

В процессе обучения с «учителем» и установления взаимосвязи с детекторами репрезентативной системы качественные шкалы характеристических детекторов репрезентативной системы приобретают вербальный смысл, а также образуют основу *количественных шкал* репрезентативной системы, например, шкалы счета [1].

Гипотеза о кодировании «адреса» пресинаптического нейрона и идея адресной упорядоченности детекторов в модуле позволяют говорить о возможности *разделения адресной реакции на составные части*. Основной операцией анализа информации, осуществляемой нейронами-анализаторами, должна быть простейшая *операция сравнения*. Результатом сравнения является определение значений *совпадения* либо *различия* информационных составляющих анализируемых реакций нейронов-детекторов.

Таким образом, должны существовать, по меньшей мере, два типа нейронов-анализаторов: *анализаторы совпадений* и *анализаторы различий*. Данные анализаторы должны быть специфичными для каждого типа характеристик.

При формировании производных характеристик должен соблюдаться принцип их *максимального разделения*. Известно, что в системе восприятия и распознавания зрительных образов разделены: система распознавания структуры образа – система «что», система локализации образа в зрительном поле – система «где», система восприятия цвета и др. [5, 9]. В свою очередь, в каждой из этих систем существуют отдельные каналы анализа. Известны каналы анализа базовых характеристик: направлений ориентации и движения; яркости, темноты, интенсивности света и др. Очевидно, что дифференциация производных характеристик должна усиливать дивергенцию информативных признаков распознавания и повышать многообразие реакций детекторов.

Известно, что рецепторы и афферентные нейроны системы восприятия осуществляют градуальное либо частотное кодирование базовых характеристик воспринимаемых образов [2, 11]. Известно также о существовании нейронов суммирующих и вычитающих входные частотные сигналы [12]. Очевидно, что функции рецепторов и афферентных нейронов системы восприятия, как и их местоположение и взаимосвязь, заданы генетически и не меняются в процессе обучения. Так как амплитудные и частотные реакции данных нейронов свидетельствуют о степени прямого либо относительного воздействия внешних раздражителей на сенсорную систему, то на следующем шаге обработки

информации значения данных частотных (амплитудных) реакций должны быть зафиксированы детекторами. Каждый такой детектор будет реагировать только на определенную частоту (амплитуду) входного сигнала. На начальных этапах восприятия информации эту функцию могут выполнять биполярные нейроны-детекторы, вероятно преобразующие, например, частотный код в адресный код.

Схема взаимосвязи сенсорного нейрона с частотным кодированием базовой характеристики и модуля характеристических детекторов его частотной реакции с адресным кодированием приведена на рис. 1, где \bar{X} – входной вектор сигналов;

a – сенсорный нейрон с частотным кодированием основной информационной составляющей выходного сигнала;

d_i – характеристические детекторы с адресным кодированием основной информационной составляющей выходного сигнала (в данном примере возбуждается только детектор d_1);

$y(b')$ – частотная составляющая реакции $y(a', b')$ сенсорного нейрона a ;

$y'(a')$ – адресная составляющая реакции $y'(a', b')$ характеристического детектора d_1 .

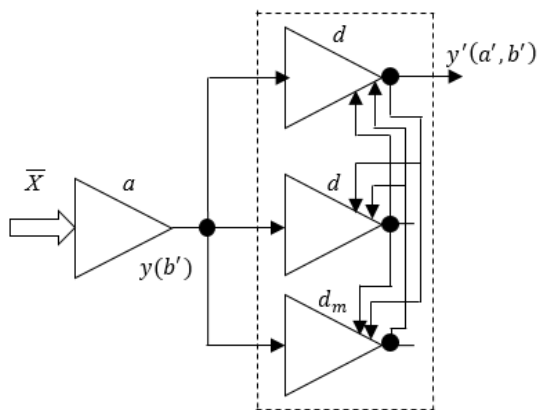


Рис. 1. Схема взаимосвязи сенсорного нейрона a с характеристическими детекторами $d_1 - d_m$

НЭ-детектор d_1 возбуждается и на его выходе формируется сигнал $y'(a', b')$ при выполнении следующих условий.

1. Адресная составляющая $y(a')$ выходного сигнала сенсорного нейрона a принадлежит его концепту $Con(d_1)$.

2. Возбуждающий постсинаптический потенциал (ВПСП), формируемый частотной составляющей $y(b')$ реакции сенсорного нейрона a , в точности равен эталонному значению пороговой величины g^* . Данная величина является аналогом порога возбуждения нейрона $et(d_1)$.

3. Предположим, что уровень насыщения в частотной реакции любого НЭ-детектора d_i данного модуля, а, следовательно, и максимальный уровень его возбуждения в точности соответствует его пороговой величине g^* . Тогда, если ВПСП d_i превышает значение его пороговой величины, то уровень его частотной

реакции не изменяется и, следовательно, в соответствии с правилом WTA-конкуренции [1], данный детектор будет тормозиться выходным сигналом другого детектора с более высоким значением частотной реакции. В результате WTA-конкуренции в модуле останется возбужденным только один детектор с максимальным уровнем возбуждения.

Таким образом, на последующих этапах обработки информации будут интегрироваться и сравниваться не частотные, а адресные реакции детекторов.

Информационные модели нейронов-анализаторов. Рассмотрим информационную модель нейрона-анализатора совпадений – НЭ-анализатор совпадений a_m .

Определение совпадений осуществляется в результате сравнения адресных реакций структурных либо характеристических детекторов. Данная операция является n -арной, но в ней участвуют выходные сигналы только одного типа детекторов определенного уровня обработки информации. Очевидно, что не существует двух нейронов с полностью идентичными адресными реакциями, но могут существовать нейроны с идентичными составляющими адресной реакции. Детекторы с одинаковыми адресными частями, например, могут находиться в различных пространственных модулях, выполняющих одни и те же функции обработки информации. Так, например, в стриарной коре содержатся колонки нейронов, реагирующих на одну и ту же ориентацию отрезков в одном составном рецептивном поле [2]. Нейроны различных ориентационных колонок, реагирующие на стимулы в одном и том же составном рецептивном поле, образуют пространственный модуль, размеры которого, по оценке Д. Хьюбела, составляют примерно 2×2 мм. Если принять гипотезу адресной упорядоченности нейронов в модуле, то логично предположить, что нейроны-детекторы одной и той же ориентации в различных пространственных модулях будут иметь одинаковые адресные составляющие, совпадение которых может быть определено нейронами-анализаторами. В данном случае можно говорить о пространственном сравнении реакций одновременно возбужденных детекторов, находящихся в модулях, имеющих различное пространственное расположение.

Очевидно, что существует также *временное сравнение* реакций, когда сигналы поступают последовательно из одного модуля. Примером временного сравнения может служить последовательность возбуждений одного структурного детектора образа в течение времени его *экспозиции*.

Под экспозицией воспринимаемого образа (от лат. expositio – выставление на показ), в данном случае, будем понимать период времени, в течение которого образ находится в фокусе внимания.

Предположим, что нейрон-анализатор совпадений a_m осуществляет пространственное сравнение адресных реакций. В этом случае на входы анализатора a_m одновременно поступают сигналы от n детекторов одного типа и уровня обработки информации, образу-

ющие входной вектор \bar{X} . Анализатор a_m будет возбуждаться при любом количестве сигналов во входном векторе, если их адресная составляющая $x_i(a)$ принадлежит концепту $Con(a_m)$ [1].

Отличительной особенностью НЭ-анализаторов, по сравнению с НЭ-детекторами, должно быть то, что при одинаковых уровнях возбуждения пресинаптических детекторов, амплитуды ВПСП анализаторов могут быть не идентичными. Данные ВПСП должны зависеть от адресных составляющих входных сигналов. Тогда, одинаковые адресные составляющие в анализаторах совпадения должны вызывать одинаковые локальные ВПСП, которые будут ими интерпретироваться как «единичные» ВПСП. Различные адресные составляющие должны вызывать в анализаторах различия разные локальные ВПСП, амплитуда которых будет зависеть от положения детектора на линейной шкале порядка характеристических детекторов в модуле.

В зависимости от количества совпадающих адресов формируется уровень возбуждения анализатора a_m , который будет определять частотную составляющую $y(b')$ его реакции $y(a', b')$. Таким образом, анализатор a_m осуществляет преобразование информации, кодируемой адресными составляющими реакций пресинаптических нейронов-детекторов, в частотный код значения числа совпадающих реакций. Работа анализатора совпадений похожа на работу сенсорного нейрона и практически сводится к суммированию входных сигналов (ВПСП). Структурная схема НЭ-анализатора совпадений a_m представлена на рис. 2, где

\bar{X} – входной вектор сигналов;

A – блок определения адресов пресинаптических НЭ и формирования входного вектора $\bar{x}(a)$;

B – блок определения уровней возбуждения пресинаптических НЭ и формирования входного вектора $\bar{x}(b)$;

C – блок памяти концепта $Con(a_m)$;

$K1$ – компаратор, осуществляющий установление принадлежности входного вектора $\bar{x}(a)$ концепту $Con(a_m)$;

h_1 – сигнал торможения, формируемый $K1$ в случае несовпадения входного вектора $\bar{x}(a)$; с концептом $Con(a_m)$. Сигнал h_1 «сбрасывает» значения A и B ;

D – блок формирования $g' = \sum x_i(b) | x_i(a) \in Con(a_m)$;

Σ – сумматор, вычисляющий значение $\Delta g = g_0 + g'$;

F – блок памяти значения g_0 ;

G – блок памяти значения g^* – порога возбуждения НЭ-анализатора;

$K2$ – компаратор, осуществляющий установление превышения значения Δg величины g^* ;

H – блок формирования выходного сигнала $y_i(a', b')$.

Представим процесс формирования частотной составляющей $y(b')$ реакции НЭ-анализатора совпадений a_m в формальном виде:

Представим процесс формирования частотной составляющей $y(b')$ реакции НЭ-анализатора совпадений a_m в формальном виде:

$$y(b') = (g_0 + g') > g^*, \quad (1)$$

$$g' = \sum x_i(b) | x_i(a) \in Con(a_m), \quad (2)$$

где g' – величина, определяющая вклад «единичных» сигналов входного вектора, принадлежащих $Con(a_m)$, в суммарный ВПСП;

g_0 – базовая величина – аналог потенциала покоя (rp);

g^* – пороговая величина.

Величины g_0 и g^* , в данной модели в отличие от модели НЭ-детектора [1], необходимы для устойчивой работы НЭ-анализатора в режиме фоновой активности НЭ-детекторов.

На следующем этапе происходит детектирование значения частотной реакции НЭ-анализатора характеристическим детектором в соответствии со схемой, представленной на рис. 1.

Таким образом, в процессе анализа и синтеза информации осуществляется чередование видов кодирования базовых информационных составляющих реакций нейроэлементов – «адрес-частота-адрес», осуществляемых последовательностью НЭ-детекторов и НЭ-анализаторов.

Теперь рассмотрим структуру и функционирование НЭ-анализаторов различий a_d , являющихся информационными моделями соответствующих нейронов-анализаторов.

Операция установления различия адресных составляющих реакций детекторов, в результате их сравнения, является бинарной операцией. Очевидно,

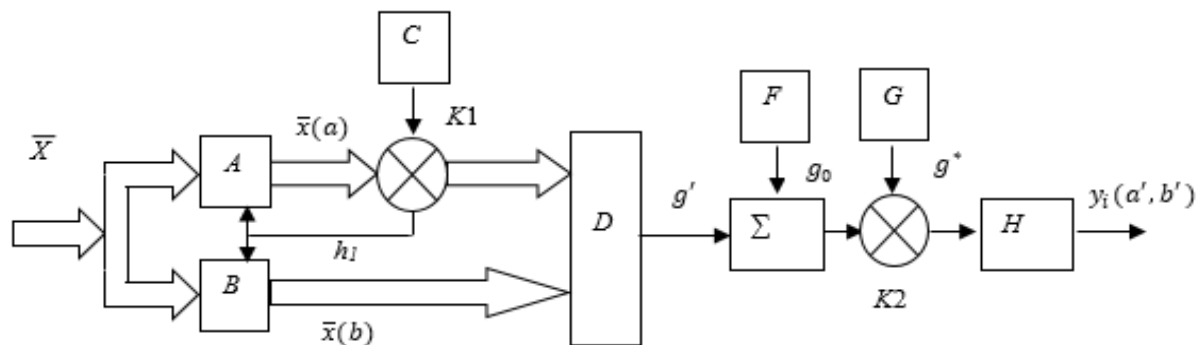


Рис. 2. Структурная схема НЭ-анализатора совпадений a_m

что имеет смысл говорить о различии реакций только характеристических детекторов только одной характеристики.

Допустим, что НЭ-анализатор различий осуществляет пространственное сравнение реакций. В принципе, данный анализатор является мультиполярным НЭ, но одновременно могут сравниваться реакции только двух характеристических НЭ-детекторов.

Так как характеристические НЭ-детекторы имеют линейную адресную упорядоченность в модулях, то различие адресов двух детекторов в различных пространственных модулях можно выразить с помощью некоей меры, например, с использованием натуральных чисел и направления (вектора) изменения адресных значений.

Таким образом, различие имеет две информационные составляющие:

- величину или модуль различия mod ;
- направление изменения сравниваемых величин или вектор различия vec .

Следовательно, в соответствии с принципом максимального разделения характеристик, должны существовать два типа НЭ-анализаторов различия: *анализатор модуля различия* $a_d(mod)$ и *анализатор вектора различия* $a_d(vec)$.

Структурная схема НЭ-анализатора модуля различия $a_d(mod)$ аналогична схеме, представленной на рис. 2. Данный НЭ также функционирует в соответствии с условиями (1) и (2). Предположим, что на входы $a_d(mod)$ поступает входной вектор \bar{X} , состоящий из сигналов $x_1(a,b)$ и $x_2(a,b)$, где $x_i(a)$ – адресные, $x_i(b)$ – частотные составляющие сигналов, и $x_1(b) = x_2(b)$.

Адресные составляющие сигналов $x_1(a)$ и $x_2(a)$, в случае их принадлежности к концепту $Con(a_d(mod))$, вызывают локальные постсинаптические потенциалы (ЛПСП), соответственно: LPP_1 и LPP_2 . $Con(a_d(mod))$ представляет собой память «адресов» НЭ-детекторов, которые могут участвовать в операции сравнения. Допустим, что $LPP_1 > LPP_2$.

НЭ-анализатор $a_d(mod)$ в блоке интерпретации и суммирования D всегда интерпретирует большее значение ЛПСП, в данном случае LPP_1 , как ВПСП, а меньшее значение – как тормозящий постсинаптический потенциал (ТПСП), в данном случае это LPP_2 . Тогда, мембранный потенциал (МП) mp НЭ-анализатора, вычисляемый блоком D , будет равен:

$$mp = LPP_1 - LPP_2. \quad (3)$$

Таким образом, значение различия «адресов» пресинаптических детекторов $x_1(a)$ и $x_2(a)$ определяет величину МП и кодируется частотной реакцией $y(b')$ НЭ-анализатора $a_d(mod)$. Пороговая величина g^* для данного НЭ должна составлять значение минимально возможной разности ВПСП и ТПСП.

Далее осуществляется процесс детектирования значения частотной реакции НЭ-анализатора $a_d(mod)$ характеристическим детектором в соответствии со схемой, представленной на рис. 1.

Значение вектора различия, в отличие от модуля различия, является бинарной величиной. Структурная схема НЭ-анализатора вектора различия $a_d(vec)$ представлена на рис. 3. Предположим, что вектор различия может принимать значения, интерпретируемые репрезентативной системой, например, как «уменьшение-увеличение». Анализатор вектора различия является НЭ того же уровня обработки информации, что и анализатор модуля различия, следовательно, на входы $a_d(vec)$ поступают те же сигналы, что и на входы $a_d(mod)$.

Отличительной особенностью $a_d(vec)$ является отсутствие суммации ЛПСП. Анализатор вектора различия, в случае принадлежности адресных составляющих входных сигналов $x_1(a)$ и $x_2(a)$ концепту $Con(a_d(vec))$, только сравнивает LPP_1 и LPP_2 и определяет направление изменения их величины относительно выбранной точки начала вектора pb . При сравнении, выбор LPP_i в качестве pb либо точки конца вектора pe осуществляется системой внимания [7]. Например, структурный элемент воспринимаемого

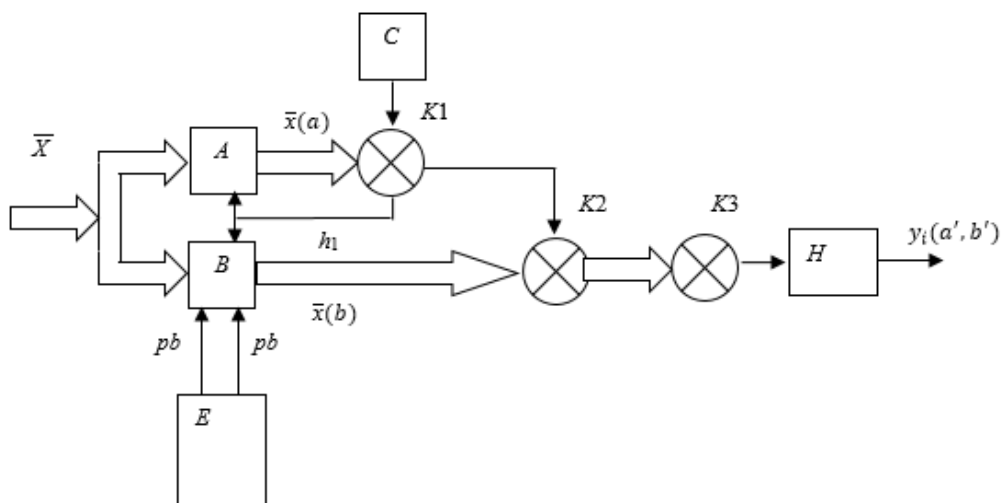


Рис. 3. Структурная схема НЭ-анализатора вектора различия $a_d(vec)$

образа, находящийся в фокусе внимания, будет определяться как pb вектора.

В данном анализаторе преодоление пороговой величины g^* связано с выполнением условия $LPP_1 \neq LPP_2$. Частотная реакция $a_d(ves)$, формируемая блоком H может принимать бинарное значение: $y_1(b')$ – в случае $LPP_{pb} > LPP_{pe}$ либо $y_2(b')$ – в случае $LPP_{pb} < LPP_{pe}$. В первом случае реакция будет соответствовать значению характеристики «уменьшение», а во втором – «увеличение». Частотная реакция анализатора $a_d(ves)$ детектируется характеристическим детектором в соответствии со схемой, представленной на рис. 1. Структурная схема НЭ-анализатора вектора различия $a_d(ves)$ представлена на рис. 3, где

\bar{X} – входной вектор сигналов;

A – блок определения адресов пресинаптических НЭ и формирования входного вектора $\bar{x}(a)$;

B – блок определения уровней возбуждения пресинаптических НЭ и формирования входного вектора $\bar{x}(b)$ в соответствии с сигналами управления $pb - pe$;

E – система внимания, осуществляющая формирование управляющих сигналов, задающих точки $pb - pe$ во входном векторе сигналов;

C – блок памяти концепта $Con(a_d(ves))$;

$K1$ – компаратор, осуществляющий установление принадлежности входного вектора $\bar{x}(a)$ концепту $Con(a_d(ves))$;

h_1 – сигнал торможения, формируемый $K1$ в случае несовпадения входного вектора $\bar{x}(a)$ с концептом $Con(a_d(ves))$. Сигнал h_1 «сбрасывает» значения A и B ;

$K2$ – компаратор, осуществляющий проверку выполнения условия $LPP_1 \neq LPP_2$;

$K3$ – компаратор, осуществляющий сравнение LPP_{pb} и LPP_{pe} ;

H – блок формирования выходного сигнала $y_i(a', b')$.

Определение и выбор точек $pb - pe$ имеет большее значение не только для формирования вектора различия сравниваемых величин, но и для формирования линейного порядка элементов в векторе входных сигналов структурных детекторов [7]. Так, еще на этапе формирования презентации отрезка, его концы воспринимаются как детектируемые зрительные стимулы, локализирующие местоположение отрезка в зрительном поле и ограничивающие его длину [2]. В работе [7] было указано не только на роль детектирования концов отрезков, но и обосновано значение выбора из них точек $pb - pe$. Выбор данных точек, в частности, позволяет говорить об ориентации отрезка не в пределах 180° , а о направлении ориентации отрезка в ориентационной системе координат презентативной системы в пределах 360° . То есть, в данной системе координат отрезок определенной ориентации, в зависимости от выбора точек $pb - pe$, может быть представлен двумя противоположными направлениями ориентации. Возможно, что именно этим объясняется наличие двух циклов изменения ориентации в модуле первичной зрительной коры, который был описан

Д. Хьюбелом в работе [2]. О возможном наличии подобной ориентационной избирательности в стриарной коре может говорить и существование детектирования дирекционной избирательности движения зрительного стимула.

Очевидно, что определение точек $pb - pe$ в векторе входных сигналов структурных детекторов может осуществляться не только системой внимания, но и другими механизмами, которые будут рассмотрены в следующих работах.

Элементы входного вектора сигналов НЭ, линейно упорядоченные относительно точек $pb - pe$, назовем *модам*. Определим, что существуют *структурные моды* и *характеристические моды* определенной характеристики. Тогда, вектор входных сигналов можно назвать *модальным вектором*. Роль модального вектора и его формирование также рассмотрим в следующих работах.

Заключение. Представленные в статье теоретические положения дополняют и уточняют принципы построения ДНС [1, 7]. Данные положения являются самостоятельным результатом и не зависят от степени их адекватности современным представлениям нейрофизиологии. Попытка объяснения представленных информационных моделей с точки зрения нейрофизиологии и нейропсихологии лишь показывает возможности изложенного в статье подхода и определяет направления исследований. Представленные результаты позволяют построить ДНС, моделирующую функционирование стриарной коры мозга по распознаванию двумерных статических контурных изображений на основе применения процедур встречного обучения [1].

Список литературы

1. Паржин Ю. В. Детекторный принцип построения искусственных нейронных сетей как альтернатива коннекционистской парадигме. *Системы управления, навигации та зв'язку: зб. наук. пр.* Полтава: Полтавський національний університет імені Юрія Кондратюка, 2017. Вип. 4 (44). С. 80–101.
2. Hubel D. H. *Eye, Brain and Vision*. Scientific American Library a Division of NPHLP New York, 1988, 256 p.
3. Klatzky R. L. *Human Memory: Structures and Processes*. W H Freeman & Co; 2nd edition, 1980. 358 p.
4. Pribram K. *Languages of the brain; experimental paradoxes and principles in neuropsychology*. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall. 1971, 432 p.
5. Соколов Е. Н. Очерки по психофизиологии сознания. Часть 1. Сферическая модель когнитивных процессов. Глава 2. От карты детекторов – к карте памяти и карте семантических единиц. *Вестник Московского университета*. Москва: МГУ. 2019. Серия 14. Психология. № 3. С. 3–27.
6. Haykin S. *Neural Networks and Learning Machines*. Pearson, 3 edition, 2008. 936 p.
7. Parzhin Y. *Principles of modal and vector theory of formal intelligence systems*. URL: arXiv:1302.1334v1; CoRR abs/1302.1334 (дата обращения: 30.09.2019).
8. Edelman G. M., Mountcastle V. B. *The mindful brain. Cortical Organization and the Group-Selective Theory of Higher Brain Function*. The MIT Press. 1978. 135 p.
9. Данилова Н. Н. *Психофизиология: учебник для вузов*. Москва: Аспект Пресс, 2004. 368 с.
10. Zeki S. The construction of colours by the cerebral cortex. *Proc. Roy. Inst. Gt. Britain* 56, 1984. P. 231–257.
11. Erickson R. P. Stimulus coding in topographic and non-topographic efferent modalities: On the significance of the activity of individual sensory neurons. *Psychol. Rev.* 1968. V. 75 (6). P. 447–465.

12. Жуков В. В., Пономарева Е. В. *Физиология нервной системы: учебное пособие*. Калининград: Калининградский университет, 1999. 64 с.

References (transliterated)

1. Parzhin Y. V. Detektornyj princip postroenija iskusstvennyh neyronnih setej kak al'ternativa konnektionistskoj paradigme [Detector principle of constructing artificial neural networks as an alternative to the connectionist paradigm]. *Sistemy upravlinnja, navigacii' ta zv'jazku: zb. nauk. pr.* [Management, navigation and communication systems: a collection of scientific papers]. Poltava: Poltavs'kyj nacional'nyj universytet imeni Jurija Kondratjuka Publ., 2017, issue. 4 (44), pp. 80–101.
2. Hubel D. H. *Eye, Brain and Vision*. Scientific American Library a Division of HPHLP New York, 1988. 256 p.
3. Klatzky R. L. *Human Memory: Structures and Processes*. W H Freeman & Co; 2nd edition. 1980. 358 p.
4. Pribram K. *Languages of the brain; experimental paradoxes and principles in neuropsychology*. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall. 1971. 432 p.
5. Sokolov E. N. Oчерки по психифизиологии soznaniija. Chast' 1. Sfericheskaia model' kognitivnyh processov. Glava 2. Ot karty detektorov – k karte pamjati i karte semanticheskikh edinic [Essays on the psychophysiology of consciousness. Part 1. Spherical model of cognitive processes. Chapter 2. From the map of detectors to the memory card and the map of semantic units] *Vestnik Moskovskogo universiteta* [Bulletin of the Moscow University]. Moscow: MGU Publ., 2019, series 14, Psihologij, no. 3, pp. 3–27.
6. Haykin S. *Neural Networks and Learning Machines*. Pearson, 3 edition, 2008. 936 p.
7. Parzhin Y. *Principles of modal and vector theory of formal intelligence systems*. URL: arXiv:1302.1334v1; CoRR abs/1302.1334 (accessed 30.09.2019).
8. Edelman G. M., Mountcastle V. B. *The mindful brain. Cortical Organization and the Group-Selective Theory of Higher Brain Function*. The MIT Press. 1978. 135 p.
9. Danilova N. N. *Psihofiziologija: uchebnik dlja vuzov* [Psychophysiology: a textbook for universities] Moscow: Aspekt Press Publ., 2004. 368 p.
10. Zeki S. The construction of colours by the cerebral cortex. *Proc. Roy. Inst. Gt. Britain* 56, 1984, pp. 231–257.
11. Erickson R. P. Stimulus coding in topographic and non-topographic efferent modalities: On the significance of the activity of individual sensory neurons. *Psychol. Rev.* Publ., 1968, issue. 75 (6), pp. 447–465.
12. Zhukov V. V., Ponomareva E. V. *Fiziologija nervnoj sistemy: uchebnoe posobie* [Physiology of the nervous system: a training manual] Kaliningrad: Kaliningradskij universitet Publ., 1999. 64 p.

Поступила (received) 04.10.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Паржин Юрій Володимирович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри інформатики та інтелектуальної власності; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5727-1918>; e-mail: pargin59@gmail.com

Солощук Михайло Миколайович – кандидат технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри інформатики та інтелектуальної власності; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0031-5101>; e-mail: solo@insart.com

Любченко Наталія Юріївна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри інформатики та інтелектуальної власності; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4575-4741>; e-mail: n_lubchenko@ukr.net

Паржин Юрий Владимирович – доктор технических наук, старший научный сотрудник, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры информатики и интеллектуальной собственности; г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5727-1918>; e-mail: pargin59@gmail.com

Солощук Михаил Николаевич – кандидат технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры информатики и интеллектуальной собственности; г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0031-5101>; e-mail: solo@insart.com

Любченко Наталья Юрьевна – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры информатики и интеллектуальной собственности; г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4575-4741>; e-mail: n_lubchenko@ukr.net

Parzhin Yuri Vladimirovich – doctor of technical sciences, senior researcher, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", associate professor, department of computer science and intellectual property, Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5727-1918>; e-mail: pargin59@gmail.com

Soloshchuk Mykhaylo Mykolayovych – doctor of philosophy of technical sciences, professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", professor, department of computer science and intellectual property, Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0031-5101>; e-mail: solo@insart.com

Liubchenko Nataliia Yuriivna – doctor of philosophy of technical sciences, associate professor, department of computer science and intellectual property, Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4575-4741>; e-mail: n_lubchenko@ukr.net