



НЕЙРОСЕТЕВОЕ УСТРОЙСТВО НАПРАВЛЕННЫХ АССОЦИАЦИЙ

**В. Д. ДМИТРИЕНКО
А. Ю. ЗАКОВОРОТНЫЙ
И. П. ХАВИНА**

*Национальный
технический
университет
"Харьковский
политехнический
институт"*

e-mail: Arcade@i.ua

Разработана новая нейронная сеть реализующая принципы двунаправленной ассоциативной памяти (ДАП) на основе нейронных сетей адаптивной резонансной теории (АРТ) обладающая возможностью восстановления из памяти нейронной сети по входной информации пары ассоциативных друг другу и входным данным изображений, которые представлены в виде векторов с непрерывными составляющими и обладает свойством компактного хранения информации, дообучения и стабильного хранения запомненной ранее информации, что позволяет эту сеть использовать для разработки ассоциативной памяти и баз знаний, использующих ассоциативную информацию.

Ключевые слова: нейронные сети адаптивной резонансной теории, двунаправленная ассоциативная память.

Постановка проблемы исследований и анализ литературы

Представления об ассоциации идей основаны на гипотезах психологии XVIII и XIX вв. Французский философ-просветитель Э. Кондильяк (1754 г.) высказал предположение, что все наши знания формируются на базе ощущений. Философы Дж. Локк (1690 г.) и Д.Юм (1739 г.) выдвинули гипотезу, согласно которой основные элементы, из которых складываются ощущения, сочетаются по закону ассоциации идей. В ответ на исходное слово-раздражитель человек генерирует индивидуальные ассоциации, свободные или направленные. К свободным относят ассоциации, на генерирование которых никаких ограничений смыслового или грамматического характера не накладывается. Генерирование направленных ассоциаций ограничивают заранее определенными условиями, например, по контрасту или по сходству, выражением словами определенной части речи, символами, знаками и др.

В ответ на одно исходное слово могут также генерироваться группы (гирлянды) ассоциаций: каждая высказанная новая ассоциация служит, в свою очередь, словом-раздражителем. Метод гирлянд ассоциаций и метафор предложен исследователем Г.Я. Бушем. Его цель – обеспечить поиск решения задач при дефиците информации, т.е. при невозможности использовать логические средства. В этом случае одним из средств служит использование цепочек (гирлянд) ассоциаций и метафор, что позволяет совершить переход в новую область знаний, интерпретировать по-новому ранее разрабатываемые идеи. Таким образом, в качестве своеобразного информационного фонда выступает ассоциативная память разработчика [1].

Для решения задач нахождения ассоциативных образов в настоящее время существует множество разнообразных методов и алгоритмов. В связи с этим в теории искусственного интеллекта предпринимаются попытки создания универсальных подходов, позволяющих решать широкие классы задач поиска и запоминания ассоциативной информации. Один из таких подходов связан с использованием искусственных нейронных сетей (НС). Их эффективное применение для решения различных задач во многом основывается на том, что традиционные трудности решения разнообразных задач облегчены применением универсальных алгоритмов обучения нейронных сетей на обучающих выборках.

Простейшая архитектура НС ассоциативной памяти приведена на рис. 1.

Обычная НС, реализующая отображение $y^k = f(x^k)$, где $y^k = (y_1^k, y_2^k, \dots, y_m^k)$ – входной вектор НС для k -го входного вектора сети $x^k = (x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k)$, $k = \overline{1, p}$, где p – число пар векторов (x^k, y^k) , $x^k \in R^n$, $y^k \in R^m$.



В отличие от обычной НС ассоциативная память отображает в выходной вектор y^k любой входной вектор x , удовлетворяющих условию

$$\|x - x^k\| \leq \varepsilon, \tag{1}$$

где $\|\cdot\|$, ε – соответственно заданная норма и константа.

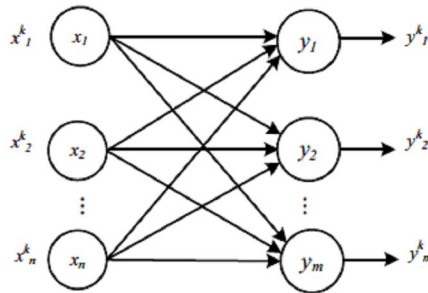


Рис. 1. Архитектура простейшей НС ассоциативной памяти

В теории НС выделяют три основных типа сетей ассоциативной памяти [3]:

– гетероассоциативные НС, в которых реализуются отображения $x \rightarrow y^k$, для всех x , удовлетворяющих условию (1);

– автоассоциативные НС, являющиеся частным случаем гетероассоциативных нейронных сетей при $x^k \equiv y^k$, $k = \overline{1, p}$:

$$x \rightarrow x^k, \tag{2}$$

для всех x , удовлетворяющих условию (1);

– НС для распознавания образов, которые также являются частным случаем гетероассоциативных НС, но при этом выходной вектор становится скаляром $x \rightarrow y^k \in R^1$, а входным вектором x является любой вектор, удовлетворяющий условию (1).

Если информация об ассоциациях достаточно полна, то для создания ассоциативных систем может использоваться значительное число различных НС. Однако при разработке систем для реальных технических объектов разработчики сталкиваются с тем, что информация об объекте далека от полноты и будет уточняться в процессе функционирования объекта. Это резко сужает круг сетей-кандидатов, которые целесообразно использовать в подобных системах, поскольку во многих сетях обучение новому образу, ситуации или ассоциации в общем случае требует полного переобучения сети [2-4]. Невозможность с помощью указанных НС решить проблему чувствительности (пластичности) к новой информации при сохранении (стабильности) имеющейся информации привели к разработке принципиально новых конфигураций НС на основе адаптивной резонансной теории (АРТ) [5-7].

НС АРТ относят входное изображение к одному из известных классов, если оно в достаточной степени похоже на прототип этого класса. Если найденный прототип соответствует входному изображению с заданной точностью, то он модифицируется, чтобы стать более похожим на предъявленное изображение. Если входное изображение сети АРТ не похоже в достаточной степени ни на одно из изображений, хранящихся в весах связей нейронной сети, то на его основе создается новый класс. Это возможно благодаря наличию в сети избыточных нейронов, которые не исполь-



зуются до тех пор, пока в этом нет необходимости (если избыточных нейронов нет и входное изображение не относится ни к одному из известных классов, то оно не вызывает реакции сети). Таким образом, НС АРТ могут запоминать новую информацию без искажения имеющейся информации или переобучения сети.

Однако использование этих сетей в реальных системах управления затруднено из-за большого разнообразия конкретной измерительной информации об одних и тех же динамических режимах объектов управления (тысячи и даже десятки тысяч различных графических отображений одного и того же режима). Это порождает сложную проблему селекции и хранения существенной информации [8], поскольку прямое использование сетей АРТ-1 и АРТ-2 в таких случаях проблематично из-за слишком большого числа необходимых нейронов.

Цель статьи – разработка двунаправленной ассоциативной памяти (ДАП) на основе НС АРТ с возможностью восстановления из памяти нейронной сети по входной информации пары ассоциативных друг другу и входным данным изображений, которые представлены в виде векторов с непрерывными составляющими.

В статьях [9, 10] авторами приведены новая архитектура и особенности функционирования непрерывной НС АРТ-2Д работающей не с отдельными изображениями, а множествами изображений, задаваемых с помощью двух подмодулей сети и реализующей принципы двунаправленной ассоциативной памяти (ДАП). Новая сеть ДАП, с одной стороны, сохраняет возможность работы с ассоциативными изображениями, а с другой стороны, добавляет новые возможности: одновременное восстановление из памяти сети по входной информации пар ассоциативных друг другу и входным данным изображений.

Новая ДАП (рис. 2) может работать в трех основных режимах: режим № 1 – обучение нейронной сети ДАП; режим № 2 – распознавание входных изображений и определение им ассоциативных изображений из памяти нейронной сети ДАП; режим № 3 – по входным данным одновременное восстановление из памяти нейронной сети ДАП пары ассоциативных друг другу изображений.

Режим № 1 используется для обучения ДАП парам ассоциативных друг другу изображений. Режим № 2 используется для распознавания входного изображения и восстановления из памяти НС ДАП одного ассоциативного ему вектора (изображения). Данный режим может использоваться для восстановления из памяти сети решения по условию задачи (прямая задача) и восстановления условия по решению (обратная задача). Режим № 3 используется для одновременного восстановления из памяти нейронной сети ДАП по входным данным пар ассоциативных друг другу изображений.

ДАП состоит из двух параллельно работающих модулей M_1 , M_2 , каждый из которых является непрерывной НС АРТ-2Д. В состав модулей M_1 и M_2 входят сенсорные слои элементов, соответственно S_i^1 и S_i^2 ($i = 1, \dots, n$; $l = 1, \dots, k$), которые могут принимать пары ассоциативных входных изображений $(S_1^1, S_1^2), (S_2^1, S_2^2), \dots, (S_q^1, S_q^2)$. Элементы сенсорных S -слоев модулей M_1 и M_2 передают входные изображения интерфейсным нейронам Z_i^1, Z_i^2 и Z_i^3, Z_i^4 ($i = 1, \dots, n$; $l = 1, \dots, k$), соответственно подмодулей M_{11}, M_{12} и M_{21}, M_{22} . Элементы интерфейсных слоев Z_i^1, Z_i^2 и Z_i^3, Z_i^4 ($i = 1, \dots, n$; $l = 1, \dots, k$) связаны с элементами распознающих слоев Y_j^1, Y_j^2 и Y_g^3, Y_g^4 ($j = 1, \dots, m$; $g = 1, \dots, m$), соответственно подмодулей M_{11}, M_{12} и M_{21}, M_{22} сети.

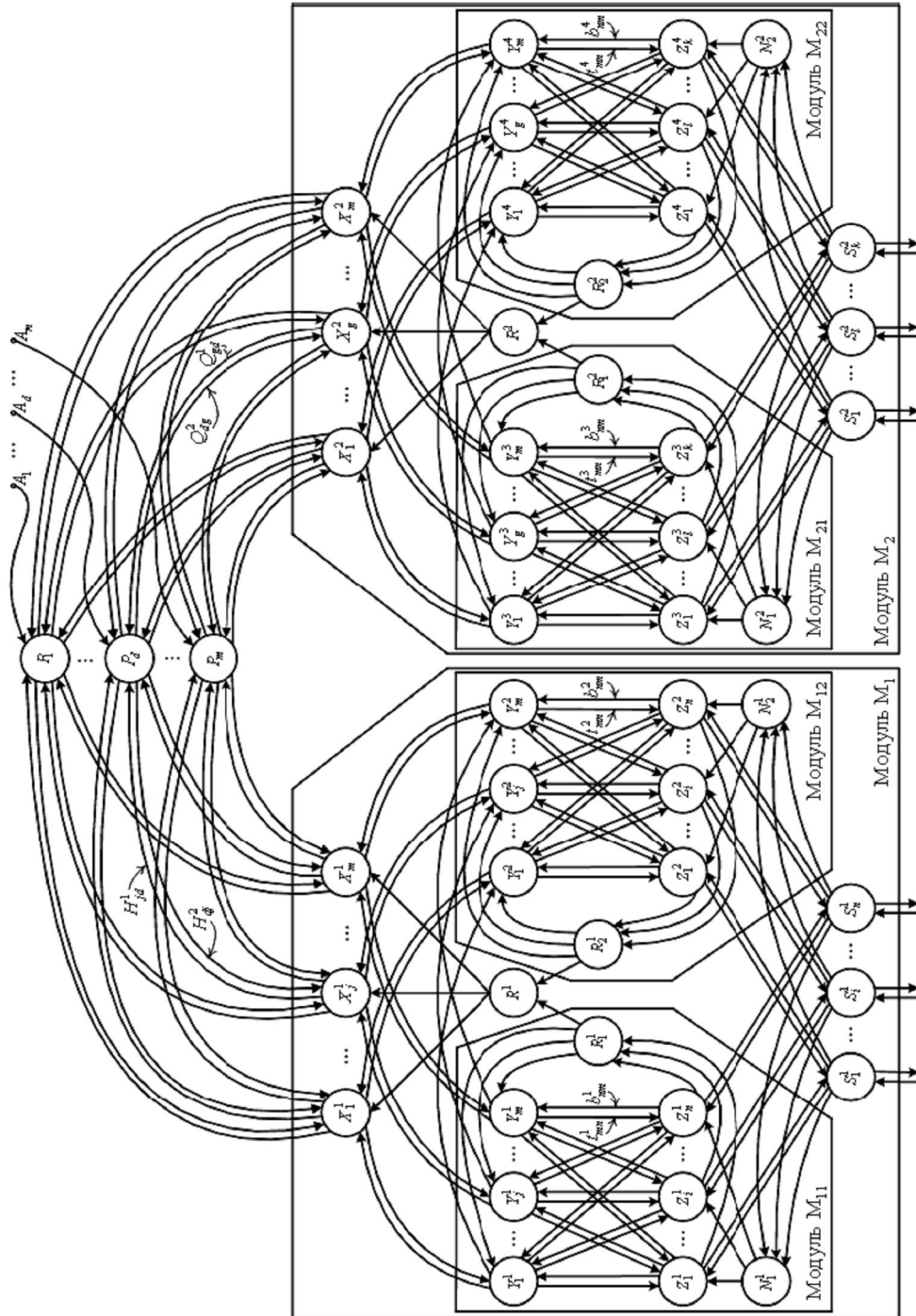


Рис. 2. Схема непрерывной ДАН, построенной на основе нейронных сетей АРТ-2Д



Соединение между элементами интерфейсных и распознающих слоев осуществляется взвешенными связями с весовыми коэффициентами $b_{ij}^1, b_{ij}^2, b_{ij}^3, b_{ij}^4, t_{ji}^1, t_{ji}^2, t_{ji}^3, t_{ji}^4$ ($i=1, \dots, n; j=1, \dots, m; l=1, \dots, k; g=1, \dots, m$), соответственно для подмодулей $M_{11}, M_{12}, M_{21}, M_{22}$ НС. В подмодулях M_{11}, M_{12} и M_{21}, M_{22} слои Y_j^1, Y_j^2 и Y_g^3, Y_g^4 ($j=1, \dots, m; g=1, \dots, m$) являются слоями соревнующихся нейронов, в которых каждый элемент может находиться в одном из трех состояний: активном, неактивном, заторможенном. В результате распознавания входных изображений в каждом подмодуле НС остается активным только один нейрон распознающего слоя Y_j^1, Y_j^2 и Y_g^3, Y_g^4 в соответствующих им слоях Y_j^1, Y_j^2 и Y_g^3, Y_g^4 ($j=1, \dots, m; g=1, \dots, m$) подмодулей M_{11}, M_{12} и M_{21}, M_{22} сети. На решающих нейронах R_1^1, R_2^1 и R_1^2, R_2^2 , определяются параметры сходства p_1^1, p_2^1 и p_1^2, p_2^2 , соответственно для подмодулей M_{11}, M_{12} и M_{21}, M_{22} нейронной сети, а с помощью нейронов R^1 и R^2 , которые входят в состав модулей M_1 и M_2 , определяются общие параметры сходств p^1 и p^2 .

Двунаправленная ассоциативная память, построенная на НС АРТ-2Д, ориентирована на работу с непрерывными входными изображениями, поэтому все веса связей $b_{ij}^1, b_{ij}^2, b_{ij}^3, b_{ij}^4, t_{ji}^1, t_{ji}^2, t_{ji}^3, t_{ji}^4$ ($i=1, \dots, n; j=1, \dots, m; l=1, \dots, k; g=1, \dots, m$) подмодулей M_{11}, M_{12} и M_{21}, M_{22} НС, являются непрерывными.

Архитектуру сети, кроме модулей M_1 и M_2 на основе нейронных сетей АРТ-2Д, определяет слой промежуточных нейронов P_d ($d=1, \dots, m$), который связывает модули M_1 и M_2 нейронной сети. На этапе обучения (режим №1) модули M_1 и M_2 нейронной сети будут запоминать пары ассоциативных изображений. При этом наряду с установлением значений весов связей внутри каждого из модулей, будут устанавливаться и матрицы весовых коэффициентов промежуточного слоя нейронов P_d ($d=1, \dots, m$), который связывает модули M_1 и M_2 НС. На основе этих весовых коэффициентов будет осуществляться ассоциативная связь между запомненными изображениями двух модулей. Процесс обучения (режим №1) новой НС ДАП считается законченным, когда по окончании очередной эпохи обучения отсутствуют изменения весовых коэффициентов: $b_{ij}^1, b_{ij}^2, b_{ij}^3, b_{ij}^4$ ($i=1, \dots, n; j=1, \dots, m; l=1, \dots, k; g=1, \dots, m$) и $t_{ji}^1, t_{ji}^2, t_{ji}^3, t_{ji}^4$ ($j=1, \dots, m; i=1, \dots, n; g=1, \dots, m; l=1, \dots, k$) соответственно весов связей от элементов интерфейсного слоя к элементам распознающего слоя и весов связей от элементов распознающего слоя к элементам интерфейсного слоя, модулей M_1 и M_2 НС.

В режиме №2 n - или k -мерные входные вектора могут подаваться соответственно на входы S_i^1 или S_l^2 ($i=1, \dots, n; l=1, \dots, k$) элементов, соответственно модулей M_1 и M_2 нейронной сети. Нейрон-победитель X_j^1 или X_g^2 модулей M_1 или M_2 , активизируется сигналами от пары нейронов распознающих слоев, соответственно подмодулей M_{11}, M_{12} или M_{21}, M_{22} . Нейрон-победитель X_j^1 модуля M_1 , определяется сигналами нейронов-победителей Y_j^1 и Y_j^2 распознающих слоев Y_j^1, Y_j^2 ($j=1, \dots, m$), соответственно подмодулей M_{11}, M_{12} . Аналогичным образом может определяться и нейрон-победитель X_g^2 для модуля M_2 нейронной сети, соответствующими сигналами нейронов-победителей Y_g^3 и Y_g^4 распознающих слоев Y_g^3, Y_g^4 ($g=1, \dots, m$), соответственно подмодулей M_{21}, M_{22} НС. Нейроны-победители Y_j^1 и Y_g^3 , выбираются в результате соревнования нейронов распознающих слоев Y_j^1 и Y_g^3 ($j=1, \dots, m; g=1, \dots, m$)



подмодулей M_{11} и M_{21} нейронной сети. Нейроны-победители Y_j^2 и Y_G^4 подмодулей M_{12} и M_{22} , выбираются не в результате соревнования нейронов распознающих слоев Y_j^2 и Y_g^4 ($j=1, \dots, m; g=1, \dots, m$) подмодулей M_{12} и M_{22} , а сигналами с соответствующих нейронов-победителей Y_j^1 и Y_G^3 подмодулей M_{11} и M_{21} , после их проверки по величине параметров сходства p_1^1 и p_1^2 . В связи с этим введены связи между парами Y -нейронов Y_j^1, Y_j^2 и Y_g^3, Y_g^4 ($j=1, \dots, m; g=1, \dots, m$) модулей M_1 и M_2 нейронной сети. Выделенные таким образом нейроны Y_j^2 и Y_G^4 подмодулей M_{12} и M_{22} , также проверяются по величине параметров сходства p_2^1 и p_2^2 . Если нейроны Y_j^2 и Y_G^4 выдерживают эту проверку и выдерживают последующую проверку по величине параметра сходства и пары нейронов Y_j^1, Y_j^2 и Y_G^3, Y_G^4 , для модулей M_1 и M_2 , то на выходе распознающего нейрона X_j^1 или X_G^2 модулей M_1 или M_2 появляется единичный сигнал, свидетельствующий о распознавании входного изображения. Если нейроны Y_j^2 и Y_G^4 или пары элементов Y_j^1, Y_j^2 и Y_G^3, Y_G^4 , модулей M_1 и M_2 , не выдерживают проверку по величине параметров сходства, то нейроны Y_j^1 и Y_G^3 , подмодулей M_{11} и M_{21} , затормаживаются ($U_{\text{вых}Y_j^1} = -1; U_{\text{вых}Y_G^3} = -1$), а нейроны Y_j^2 и Y_G^4 , подмодулей M_{12} и M_{22} , переводятся в неактивное состояние ($U_{\text{вых}Y_j^2} = 0; U_{\text{вых}Y_G^4} = 0$).

После выбора нейрона-победителя X_j^1 или X_G^2 одного из модулей M_1 или M_2 , осуществляется выбор нейрона-победителя другого модуля НС. Он определяется не в результате соревнования нейронов распознающего слоя, а активизируется нейроном-победителем первого модуля через связи элементов P -слоя. Этот нейрон-победитель с помощью нисходящих связей восстановит в интерфейсном слое Z -элементов хранящееся в его памяти изображение. Восстановленное изображение повторится на слое S -элементов и поступит на выходы модуля. Таким образом, произойдет выбор изображения, ассоциативного входному изображению, подаваемому на вход другого модуля НС.

Новая ДАП, построенная на основе разработанных непрерывных нейронных сетей АРТ-2Д, функционирует согласно трем алгоритмам: алгоритму обучения, соответствующего режиму № 1 и двум алгоритмам распознавания, соответствующих режиму № 2 и режиму № 3 работы сети.

В алгоритмах приняты следующие обозначения:

m – максимальное число пар запоминаемых ассоциативных изображений;

n и k – число компонент во входном векторе (изображении) соответственно для модуля M_1 и M_2 ;

p^1 и p^2 – параметры сходства модулей M_1 и M_2 ;

q – число пар запоминаемых ассоциативных изображений;

p_1^1, p_2^1 и p_1^2, p_2^2 – параметры сходства между входным вектором и векторами, хранящимися в весах связей победивших нейронов, соответственно Y_j^1, Y_j^2 и Y_G^3, Y_G^4 подмодулей M_{11}, M_{12} или M_{21}, M_{22} нейронной сети; диапазон допустимых значений параметров сходства: $0 < p_1^1, p_2^1 \leq 1; 0 < p_1^2, p_2^2 \leq 1$;

b_{ij}^1, b_{ij}^2 и b_{lg}^3, b_{lg}^4 ($i=1, \dots, n; j, g=1, \dots, m; l=1, \dots, k$) – веса связей от элементов интерфейсного слоя к элементам распознающего слоя, соответственно подмодулей



M_{11}, M_{12} и M_{21}, M_{22} ; рекомендуемое начальное значение при обучении:
 $b_{ij}^1 = b_{ij}^2 = b_{ig}^3 = b_{ig}^4 = 1$ ($i = 1, \dots, n; j, g = 1, \dots, m; l = 1, \dots, k$);

t_{ji}^1, t_{ji}^2 и t_{gl}^3, t_{gl}^4 ($j, g = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n; l = 1, \dots, k$) – веса связей от элементов распознающего слоя к элементам интерфейсного слоя, соответственно подмодулей M_{11}, M_{12} и M_{21}, M_{22} ; рекомендуемое начальное значение при обучении:
 $t_{ji}^1 = t_{ji}^2 = t_{gl}^3 = t_{gl}^4 = 1$ ($j, g = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n; l = 1, \dots, k$);

$U_{вых.S_i^1}, U_{вых.S_i^2}$ ($i = 1, \dots, n; l = 1, \dots, k$) – выходные сигналы элементов S -слоя, соответственно модулей M_1 и M_2 нейронной сети;

$U_{вх.Z_p^1}, U_{вых.Z_p^1}$ и $U_{вх.Z_p^2}, U_{вых.Z_p^2}$ ($p = 1, 2; i = 1, \dots, n; q = 3, 4; l = 1, \dots, k$) – входные и выходные сигналы элементов интерфейсного слоя, соответственно подмодулей M_{11}, M_{12} и M_{21}, M_{22} нейронной сети;

$U_{вых.Y_j^1}, U_{вых.Y_j^2}$ и $U_{вых.Y_g^3}, U_{вых.Y_g^4}$ ($j, g = 1, \dots, m$) – выходные сигналы распознающих элементов, соответственно подмодулей M_{11}, M_{12} и M_{21}, M_{22} нейронной сети;

$U_{вых.X_j^1}, U_{вых.X_g^2}$ ($j, g = 1, \dots, m$) – выходные сигналы распознающих элементов, соответственно модулей M_1 и M_2 нейронной сети;

$S_r^{u1} = (S_{r1}^1, \dots, S_{rm}^1), S_r^{u2} = (S_{r1}^2, \dots, S_{rk}^2)$, $r = 1, \dots, q$ – входные вектора r -й пары ассоциативных изображений, соответственно для модулей M_1 и M_2 ;

$\|Y\|$ – норма вектора Y ;

P_d ($d = 1, \dots, m$) – нейроны промежуточного слоя, которые связывают модули M_1 и M_2 ассоциативной нейронной сети;

H_{jd}^1 и Q_{dg}^2 ($j, d, g = 1, \dots, m$) – веса связей от соответственно элементов распознающего слоя модуля M_1 к элементам промежуточного P -слоя и от элементов промежуточного P -слоя к элементам распознающего слоя модуля M_2 нейронной сети;

Q_{gd}^1 и H_{dj}^2 ($g, d, j = 1, \dots, m$) – веса связей от соответственно элементов распознающего слоя модуля M_2 к элементам промежуточного P -слоя и от элементов промежуточного P -слоя к элементам распознающего слоя модуля M_1 нейронной сети.

Алгоритм обучения новой НС ДАП, построенной на основе непрерывных нейронных сетей АРТ-2Д в статье не приведен.

Алгоритм работы НС ДАП в режиме распознавание входных изображений и определение им ассоциативных изображений (режим № 2), предполагает выполнение следующих шагов:

Шаг 1. Иницируются параметры сходства нейронной сети и все её веса связей.

Шаг 2. На вход любого из модулей сети подается входное изображение. Допустим, что входное изображение S_r^1 подается на вход модуля M_1 НС. Тогда аналогичным образом, как и в алгоритме обучения, определяется нейрон-победитель X_{jr}^1 модуля M_1 [10].

Шаг 3. Определяется нейрон-победитель X_{Gr}^2 модуля M_2 нейронной сети. Он выделяется не в результате соревнования между распознающими элементами модуля M_2 , а единичным сигналом элемента P_{jr} , который, в свою очередь, в активное состояние переводится нейроном-победителем X_{jr}^1 : $U_{вых.X_{Gr}^2} = 1, U_{вых.X_g^2} = 0$,



$g = 1, \dots, m, g \neq Gr$. При этом выходному сигналу нейрона-победителя X_{Gr}^2 присваивается единичное значение $U_{\text{вых.}X_{Gr}^2} = 1$, а все остальные нейроны распознающего слоя модуля M_2 нейронной сети переводятся в неактивное состояние: $U_{\text{вых.}X_g^2} = 0, g = 1, \dots, m, g \neq Gr$.

Шаг 4. Единичным выходным сигналом с нейрона-победителя X_{Gr}^2 модуля M_2 в активное состояние переводятся нейроны-победители Y_{Gr}^3 и Y_{Gr}^4 в соответствующих им слоях Y_g^3 и Y_g^4 ($g = 1, \dots, m$) подмодулей M_{21} и M_{22} нейронной сети. При этом выходным сигналам нейронов Y_{Gr}^3 и Y_{Gr}^4 подмодулей M_{21} и M_{22} сети, присваивается единичное значение $U_{\text{вых.}Y_{Gr}^3} = 1$ и $U_{\text{вых.}Y_{Gr}^4} = 1$, а все остальные нейроны, распознающих Y -слоев подмодулей M_{21} и M_{22} , переводятся в неактивное состояние: $U_{\text{вых.}Y_g^3} = 0, U_{\text{вых.}Y_g^4} = 0, g = 1, \dots, m, g \neq Gr$.

Шаг 5. Рассчитываются выходные сигналы элементов интерфейсных слоев Z_l^3 и Z_l^4 ($l = 1, \dots, k$) подмодулей M_{21} и M_{22} сети: $U_{\text{вых.}Z_l^3} = t_{Gl}^3, U_{\text{вых.}Z_l^4} = t_{Gl}^4, l = 1, \dots, k$.

Шаг 6. На основе выходных сигналов элементов интерфейсных слоев Z_l^3 и Z_l^4 ($l = 1, \dots, k$) подмодулей M_{21} и M_{22} нейронной сети, формируются входные и выходные сигналы элементов входного слоя S_l^2 ($l = 1, \dots, k$), модуля M_2 нейронной сети. Полученное на выходе модуля M_2 изображение $S_r^2 = (S_{r1}^2, \dots, S_{rk}^2)$, является ассоциацией изображению $S_r^1 = (S_{r1}^1, \dots, S_{rm}^1)$ ($r = 1, \dots, q$), которое подается на элементы входного слоя модуля M_1 .

Шаг 7. Останов.

Алгоритм работы новой нейронной сети ДАП, построенной на основе непрерывных НС АРТ-2Д, в режиме одновременного восстановления из памяти нейронной сети пары ассоциативных друг другу изображений (режим № 3), предполагает выполнение следующих шагов:

Шаг 1. Иницируются параметры сходства нейронной сети и все её веса связей.

Шаг 2. На нейроны A -слоя подается бинарный входной вектор, содержащий единственную единицу и соответствующий некоторой паре ассоциативных изображений.

Шаг 3. Определяются нейроны-победители X_{Dr}^1 и X_{Gr}^2 соответственно модулей M_1 и M_2 нейронной сети ДАП. Они выделяются не в результате соревнования между распознающими элементами модулей M_1 и M_2 , а единичным сигналом элемента P_{Dr} , который, в свою очередь, в активное состояние переводится единичным выходным сигналом нейронов A -слоя A_{Dr} : $U_{\text{вых.}X_{Dr}^1} = 1, U_{\text{вых.}X_j^1} = 0, j = 1, \dots, m, j \neq Dr, U_{\text{вых.}X_{Gr}^2} = 1, U_{\text{вых.}X_g^2} = 0, g = 1, \dots, m, g \neq Dr$. При этом выходным сигналам нейронов-победителей X_{Dr}^1 и X_{Gr}^2 присваиваются единичное значение $U_{\text{вых.}X_{Dr}^1} = 1$ и $U_{\text{вых.}X_{Gr}^2} = 1$, а все остальные нейроны распознающих слоев модулей M_1 и M_2 нейронной сети ДАП, переводятся в неактивное состояние: $U_{\text{вых.}X_j^1} = 0, j = 1, \dots, m, j \neq Dr, U_{\text{вых.}X_g^2} = 0, g = 1, \dots, m, g \neq Dr$.



Шаг 4. Единичными выходными сигналами с нейронов-победителей X_{Jr}^1 и X_{Gr}^2 модулей M_1 и M_2 в активное состояние переводятся нейроны-победители Y_{Jr}^1, Y_{Jr}^2 и Y_{Gr}^3, Y_{Gr}^4 в соответствующих им слоях Y_j^1, Y_j^2 ($j=1, \dots, m$) и Y_g^3, Y_g^4 ($g=1, \dots, m$) в соответствующих подмодулях M_{11}, M_{12} и M_{21}, M_{22} нейронной сети ДАП. При этом выходным сигналам нейронов Y_{Jr}^1, Y_{Jr}^2 и Y_{Gr}^3, Y_{Gr}^4 в соответствующих подмодулях M_{11}, M_{12} и M_{21}, M_{22} нейронной сети ДАП, присваивается единичное значение $U_{\text{вых.}Y_{Jr}^1} = 1, U_{\text{вых.}Y_{Jr}^2} = 1, U_{\text{вых.}Y_{Gr}^3} = 1, U_{\text{вых.}Y_{Gr}^4} = 1$, а все остальные нейроны, распознающих Y -слоев подмодулей M_{11}, M_{12} и M_{21}, M_{22} , переводятся в неактивное состояние: $U_{\text{вых.}Y_j^1} = 0, U_{\text{вых.}Y_j^2} = 0, j=1, \dots, m, j \neq Jr, U_{\text{вых.}Y_g^3} = 0, U_{\text{вых.}Y_g^4} = 0, g=1, \dots, m, g \neq Gr$.

Шаг 5. Рассчитываются выходные сигналы элементов интерфейсных слоев Z_i^1, Z_i^2 ($i=1, \dots, n$) и Z_l^3, Z_l^4 ($l=1, \dots, k$) подмодулей M_{11}, M_{12} и M_{21}, M_{22} нейронной сети ДАП: $U_{\text{вых.}Z_i^1} = t_{Ji}^1, U_{\text{вых.}Z_i^2} = t_{Ji}^2, U_{\text{вых.}Z_l^3} = t_{Gl}^3, U_{\text{вых.}Z_l^4} = t_{Gl}^4, i=1, \dots, n, l=1, \dots, k$.

Шаг 6. На основе выходных сигналов элементов интерфейсных слоев Z_i^1, Z_i^2 ($i=1, \dots, n$) и Z_l^3, Z_l^4 ($l=1, \dots, k$) подмодулей M_{11}, M_{12} и M_{21}, M_{22} НС формируются входные и выходные сигналы элементов входных слоев S_i^1 ($i=1, \dots, n$) и S_l^2 ($l=1, \dots, k$) модулей M_1 и M_2 НС ДАП. Полученное на выходе модулей M_1 и M_2 изображения $S_r^1 = (S_{r1}^1, \dots, S_{rm}^1)$ и $S_r^2 = (S_{r1}^2, \dots, S_{rk}^2)$ ($r=1, \dots, q$), является ассоциациями друг другу, и ассоциативны входному бинарному вектору на A -слое нейронов.

Шаг 7. Останов.

Таким образом, разработана новая ДАП на основе нейронных сетей АРТ обладающая возможностью восстановления из памяти нейронной сети по входной информации пары ассоциативных друг другу и входным данным изображений, которые представлены в виде векторов с непрерывными составляющими. ДАП обладает также свойством компактного хранения информации, дообучения и стабильного хранения при этом запомненной ранее информации, что позволяет эту сеть использовать для разработки ассоциативной памяти и баз знаний, использующих ассоциативную информацию.

На основе НС ДАП создана база знаний системы поддержки принятия решений для получения оптимального ведения дизель-поезда по железнодорожному региону и реализовать компактное хранение информации, необходимой машинисту.

Разработанный подход к построению нейронных сетей ДАП может быть заложен в структуру более крупных иерархических объединений искусственных нейронных сетей, которую можно ассоциировать как ячейку мозга и в перспективе применять при построении "цифрового мозга".

Литература

1. Буш Г.Я. Основы эвристики для изобретателей. Ч. 1, 2. – Рига: Знание, 1977. – 95 с.
2. Оссовский С. Нейронные сети для обработки информации. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.
3. Бодянский Е.В., Руденко О.Г. Искусственные нейронные сети: архитектура, обучение, применения. – Харьков: ТЕЛЕТЕХ, 2004. – 372 с.
4. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 382 с.
5. Carpenter G.A., Grossberg S. A. massively parallel architecture for self-organising neural pattern recognition machine // Computing, Vision, Graphics and Image Processing. – 1987. – Vol. 37. – P. 54 – 115.



6. Grossberg S. Competitive learning: From interactive activation to adaptive resonance // *Cognitive Science*. – 1987. – Vol. 11. – P. 23 – 63.
7. Fausett L. *Fundamentals of Neural Networks. Architectures, Algorithms and Applications*. – New Jersey: Prentice Hall Int., Inc., 1994. – 461 p.
8. Дмитриенко В.Д., Раскас Р.Д., Сырой А.М. Специализированное вычислительное устройство для распознавания динамических режимов объектов управления // Информацийно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2002. – № 1. – С. 15 – 22.
9. Дмитриенко В.Д. Двухнаправленная ассоциативная память на основе нейронных сетей адаптивной резонансной теории. / В.Д. Дмитриенко, М.В. Липчанский, А.Ю. Заковоротный // Вісник НТУ “ХПІ”, Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2005. – № 56. – С. 193–204.
10. Дмитриенко В.Д. Двухнаправленная ассоциативная память на основе непрерывных нейронных сетей адаптивной резонансной теории. / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный // Научные ведомости. Серия информатика и прикладная математика. – Белгород. – 2006. – № 2(31). Выпуск 3. – С. 20–32.

NEURAL NETWORK DEVICE AIMED ASSOCIATIONS

V. D. DMITRIENKO
A. Y. ZAKOVOROTNYI
I. P. KHAVINA

*National Technical
University
“Kharkov Polytechnic
Institute”*

e-mail: Arcade@i.ua

A new neural network which implements the principles of bi-directional associative memory (DAP) based on neural networks, adaptive resonance theory (ART) have an option to the memory of the neural network input pair associative each other and to input data images that are represented as vectors with continuous components and has the property of compact storage of information, to education and stable storage previously stored information that allows the network to use for the development of associative memory and knowledge bases, using associative information.

Key words: neural network adaptive resonance theory, bidirectional associative memory.