

Министерство образования и науки Российской Федерации

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

Т. И. Чачхиани

М. Г. Серова

**Моделирование обучения перцептрона
распознаванию изображений**

Практикум

Рекомендовано методической комиссией факультета ВМК
для студентов ННГУ, обучающихся по направлениям
подготовки 010300 «Фундаментальная информатика и
информационные технологии» и 010400 «Прикладная
математика и информатика»

Нижний Новгород

2015

УДК 519.92

ББК 22.18

Ч-28

Чачхиани Т.И., Серова М.Г. Моделирование обучения перцептрона распознаванию изображений: Практикум. – Н.Новгород: ННГУ, 2015. – 22 с.

Рецензент: к.ф.-м. н., доцент **Кузенков О. А.**

Практикум входит в учебно-исследовательский комплекс лабораторных работ для курса «Распознавание образов». В нем содержится описание трех моделей перцептрона и алгоритмов его обучения. Дается описание работы программного модуля.

Ответственный за выпуск:

заместитель председателя методической комиссии

факультета ВМК ННГУ,

к. т. н., доцент **В.М. Сморкалова**

УДК 519.92

ББК 22.18

© Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского, 2015

1. ВВЕДЕНИЕ

Американский ученый Розенблатт в 1957 году предложил перцептронный ("узнающий") алгоритм, который представляет собой одну из первых моделей процессов запоминания и организации информации, реализуемых мозгом.

В основе перцептрона лежит некоторая последовательность преобразования зрительного восприятия букв, цифр или геометрических фигур, проектируемых на сетчатку, состоящую из сенсорных элементов (фотоэлементов), до выходного сигнала реагирующего элемента. При этом осуществляется некоторая процедура его обучения, основанная на поощрении и наказании.

Целью данной работы является ознакомление с процессом обучения перцептрона.

2. ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА ПЕРЦЕПТРОНА

Основная модель перцептрона, обеспечивающая отнесение образа к одному из двух заданных классов, приведена на рис. 1.

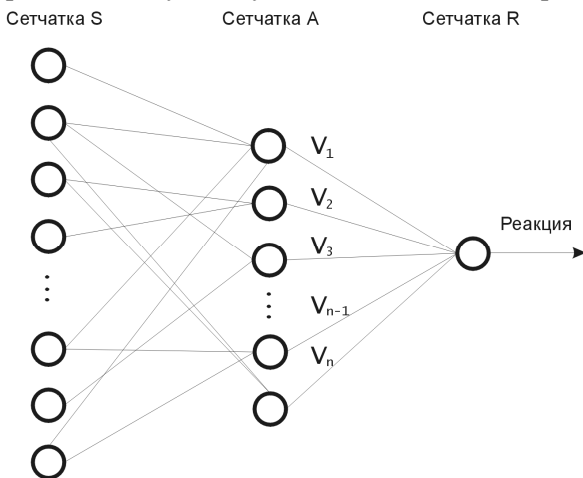


Рис. 1

Воспринимающим устройством перцептрона служит фотоэлектрическая модель сетчатки – поле рецепторов, состоящее из нескольких сотен фотосопротивлений. Каждый элемент S поля рецепторов может находиться в двух состояниях – возбужденном или невозбужденном, в зависимости от того, падает или нет на соответствующее фотосопротивление контур проектируемой на поле фигуры. На выходе каждого элемента появляется сигнал y_i ($i = 1, 2, \dots, n$, где n – число элементов), равный единице, если элемент возбужден, и нулю в противном случае.

Следующей ступенью перцептрона служат так называемые "ассоциативные элементы" или A -элементы. Все они одинаковы: их число близко к числу рецепторов. Каждый A -элемент имеет несколько входов и один выход. При подготовке перцептрона к эксперименту ко входам A -элемента подключаются выходы рецепторов, причем подключение любого из них может быть произведено со знаком плюс (связь возбуждающая) или со знаком минус (связь тормозящая).

Выбор рецепторов, подключаемых к данному A -элементу, так же как и выбор знака подключения, производится случайно. В ходе эксперимента связь рецепторов с A -элементами остается неизменной.

A -элементы производят алгебраическое суммирование сигналов, поступивших на их входы, и полученную сумму сравнивают с одинаковой для всех A -элементов величиной θ . Если сумма больше θ , A -элемент возбуждается и выдает на выходе сигнал, равный единице. Если сумма меньше θ , A -элемент остается невозбужденным и выходной его сигнал равен нулю.

Выходные сигналы A -элементов с помощью специальных устройств (усилителей) умножаются на переменные веса v . Каждый из

этих весов может быть положительным, отрицательным или равным нулю и меняться независимо от других весов.

Реакция всей системы пропорциональна сумме взятых с определенными весами реакций элементов ассоциативной сетчатки; таким образом, обозначив через x_i реакцию i -го ассоциативного элемента и через v_i - соответствующий вес, реакцию системы можно записать как

$$R = \sum_{i=1}^{n+1} v_i x_i = V'X$$

Если $R > 0$, значит предъявленный системе образ принадлежит классу ω_1 ; если $R < 0$, то образ относится к классу ω_2 .

Схему, приведенную на рисунке 1, легко распространить на случай разделения на несколько классов посредством увеличения числа реагирующих элементов в R-сетчатке. Выходной сигнал каждого A-элемента поступает не на один, а на несколько (по числу различаемых образов) усилителей. После умножения на веса v выходные сигналы поступают на R-элементы, количество которых тоже равно числу различаемых образов. Здесь сигналы суммируются. Далее установлено устройство, сравнивающее между собой выходные сигналы R-элементов. Предъявленный объект относится к тому образу, чей R-элемент имеет наибольший выходной сигнал.

$$X \in \omega_i, \text{ если } R_i > R_j \text{ для всех } j \neq i$$

2.1 Принцип подкрепления — наказания

Обучение перцептрона состоит из ряда последовательных тактов. В каждом такте перцептрону предъявляется объект одного из образов. В зависимости от реакции перцептрона на предъявленную ему фигуру производится по определенным правилам изменение весов v . Оказывается возможным за некоторое конечное количест-

во тактов привести перцептрон в такое состояние, что он с достаточной уверенностью распознает предъявляемые ему фигуры.

Пусть заданы два обучающих множества, представляющие классы ω_1 и ω_2 соответственно; пусть $V(1)$ - начальный вектор весов, который выбирается произвольно. В таком случае k -й шаг обучения выглядит следующим образом.

Если $X(k) \in \omega_1$ и $V'(k)X(k) \leq 0$, то вектор весов $V(k)$ заменяется вектором

$$V(k+1) = V(k) + cX(k)$$

где c - корректирующее приращение.

Если $X(k) \in \omega_2$ и $V'(k)X(k) \geq 0$, то $V(k)$ заменяется вектором

$$V(k+1) = V(k) - cX(k)$$

В противном случае $V(k)$ не изменяется, т. е. $V(k+1) = V(k)$

Короче говоря, алгоритм вносит изменения в вектор весов V в том и только том случае, если образ, предъявленный на k -м шаге обучения, был при выполнении этого шага неправильно классифицирован с помощью соответствующего вектора весов. Корректирующее приращение c должно быть положительным, и в данном случае предполагается, что оно постоянно.

Очевидно, что алгоритм перцептрона является процедурой типа «подкрепление – наказание», причем подкреплением за правильную классификацию образа, в сущности, служит отсутствие наказания. Иными словами, если образ классифицирован правильно, то система подкрепляется тем, что в вектор весов V не вносятся никаких изменений. С другой стороны, если образ классифицируется неправильно система «наказывается» увеличением или уменьшением значения вектора весов $V(k)$ на величину, пропорциональную $X(k)$.

Естественно, что такое изменение весов v_j должно приводить к повышению правильности ответов перцептрона, так как увеличение v_j возбужденных А-элементов приводит к увеличению сигнала на входе R-элемента, а их уменьшение – к уменьшению сигнала. В соответствии с принятым условием перцептрон будет давать правильные ответы, если образу ω_1 будут соответствовать положительные, а образу ω_2 – отрицательные сигналы на входе R-элемента.

Сходимость алгоритма наступает при правильной классификации всех образов с помощью некоторого вектора весов.

Алгоритм перцептрона сходится за конечное число итераций, если заданные классы линейно разделимы.

2.2 Разновидности перцептронного подхода

Варьируя способ выбора корректирующего приращения c , можно получить несколько модификаций алгоритма перцептрона. К наиболее распространенным алгоритмам обучения относятся алгоритм фиксированного приращения, алгоритм коррекции абсолютной величины и алгоритм гамма-коррекции. В алгоритме фиксированного приращения корректирующее приращение c является константой, большей нуля.

В алгоритме коррекции абсолютной величины c выбирается достаточно большим, для того чтобы гарантировать правильную классификацию образа после коррекции весов. Т.е.

$$c > |V'(k)X(k)| / X'(k)X(k)$$

В алгоритме гамма-коррекции применяется такое правило изменения весов, при котором веса всех активных связей сначала изменяются на одинаковую величину, а затем из весов всех связей вычи-

тается другая величина, равная полному изменению весов всех активных связей, делённому на число всех связей. Эта система обладает свойством консервативности относительно весов, так как у неё полная сумма весов всех связей не может ни возрасть, ни убывать.

Изменение v_{ij} равно

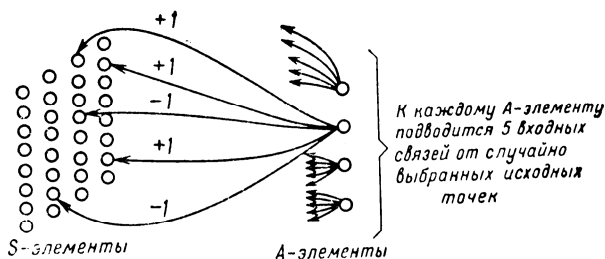
$$\Delta v_{ij}(k) = \left[\omega_{ij}(k) - \frac{\sum \omega_{ij}(k)}{N_i} \right] \eta$$

где η - величина подкрепления, $\omega_{ij}(k) = 0$ если элемент A_i возбуждён и $\omega_{ij}(k) = 1$ в противном случае.

2.3 Модели связей между S- и A-элементами

Будем рассматривать следующие модели связей:

1. В биномиальной модели (рис. а) входной сигнал u_i к А-элементу можно представить в виде разности двух случайных величин, распределенных по биномиальному закону. Эта модель характеризует тип перцептрона, в котором к каждому А-элементу подходит фиксированное количество связей от рецепторов. Эти связи состоят из p возбуждающих и q тормозящих с весами $+1$ и -1 соответственно.

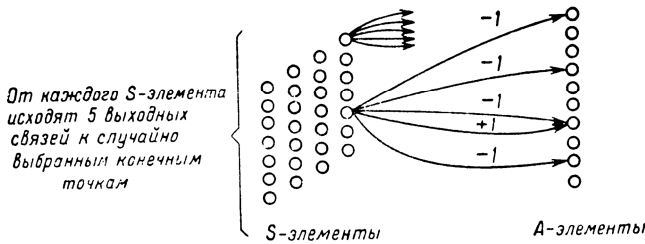


а

Порог θ предполагается фиксированным и одинаковым для всех А-элементов. Начала связей, идущих к А-элементам выбираются неза-

висимо друг от друга и распределены с равной вероятностью на всем множестве S-элементов.

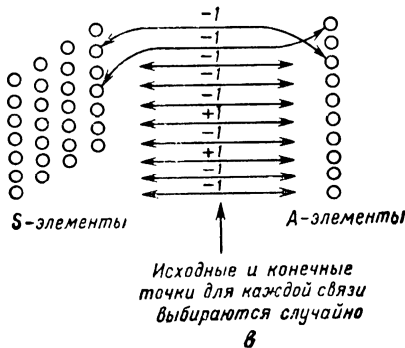
2. В пуассоновской модели входной сигнал x_i можно представить в виде разности двух случайных величин, распределенных по закону Пуассона. При этом считается, что в такой модели число входных связей к A-элементам не фиксировано, а изменяется по случайному закону. В такой модели выделяются два варианта:



б

а) модель с принудительными источниками (рис. б), в которой от каждого S-элемента исходит фиксированное количество связей, включающее p возбуждающих и q тормозящих (с весами соответственно $+1$ и -1). Конечные точки этих связей выбираются случайным образом на множестве A-элементов.

б) модель со случайными источниками (рис. в). В этом случае



в

полное число всех возбуждающих связей p и полное число всех тормозящих связей q фиксированно, начало и конец каждой связи независимы и случайно распределены на множествах S- и A-элементов.

3. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ «ПЕРЦЕПТРОН».

В программе реализован алгоритм однослойного перцептрона с последовательными связями. Программа позволяет изучать работу перцептрона по распознаванию зрительных образов.

При запуске программы (Файл Perceptron.exe) на экране появляется главное окно программы (рис.2). В нем расположены две закладки: «Образ» и «Перцептрон». На первой закладке производятся действия с предъявляемыми образами, на второй - с перцептроном.

Перед началом работы с программой необходимо задать значенные параметры системы. Это можно сделать, воспользовавшись пунктом меню «Настройки», где выбираются модели формирования связей (пункт "Сформировать связи") и алгоритмы, используемые при обучении (пункт "Обучение"). Подробное описание настроек смотрите в п. 3.1. Также следует установить значения порогов возбуждения S- и А-элементов на закладке "Перцептрон".

Все эти параметры (и другую информацию) также можно загрузить из файла конфигурации, сформированного при предыдущем сеансе работе (пункты "Файл" – "Сохранить конфигурацию" и "Загрузить конфигурацию").

После этого можно начинать обучение перцептрона в соответствии со следующими этапами:

1. Создание двух или большего количества образов.
2. Предъявление образов, аналогичных созданным.
3. Анализ распознавания и коррекция неправильно распознанных образов.
4. Смена модели формирования связей или алгоритма коррекции и повторение предыдущих шагов.

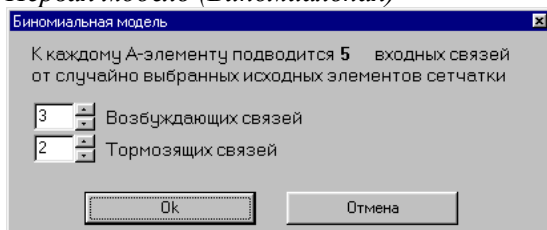
Более подробно выполнение этих этапов описано ниже.

3.1. Пункт меню «Настройки».

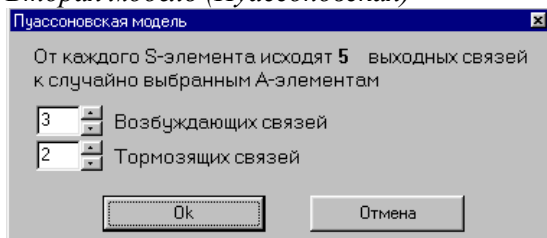
С помощью подпунктов этого меню можно изменять вид связей элементов и алгоритм обучения перцептрона.

Пункт меню "Сформировать связи"

Первая модель (Биномиальная)



Вторая модель (Пуассоновская)



После нажатия кнопки «Ок» в обоих случаях будут сформированы связи между S-элементами и A-элементами в соответствии с выбранными параметрами.

При выборе пункта «третья модель» связи будут сформированы случайно и немедленно без запроса на ввод параметров.

Пункт меню "Обучение"

Алгоритм фиксированного приращения

Веса всех активных связей, которые оканчиваются на R-элементе, который соответствует указанному образу, увеличиваются на одинаковую величину $c = \text{const}$.

Алгоритм коррекции абсолютной величины

Здесь коррекция производится аналогично предыдущему, но величина s выбирается таким образом, чтобы гарантировать правильную классификацию образа после коррекции весов.

Алгоритм гамма-коррекции

Веса всех активных связей сначала изменяются на равную величину, а затем из весов всех связей вычитается другая величина, равная полному изменению весов всех активных связей, делённому на число всех связей.

3.2 Создание и предъявление образов (закладка «Образ»).

На закладке "Образ" слева, в области «Поле редактирования» создается новый или подлежащий распознаванию объект. Объект представляет собой чёрно-белую картинку 300x300 точек. Картинка

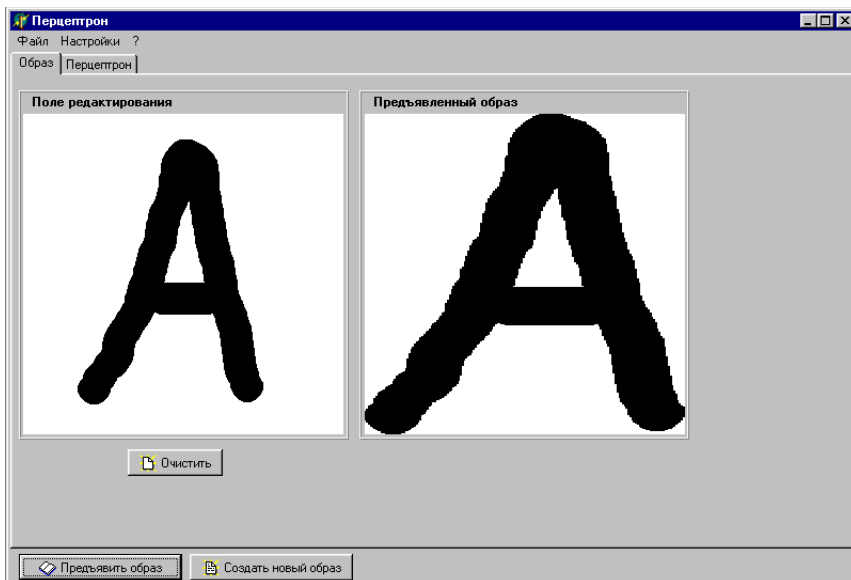


Рис. 2

рисуеться мышью непосредственно на поле изображения. При нажатой левой кнопке мыши рисуется черная линия. Удерживая правую кнопку, можно стирать отдельные участки изображения. При помощи кнопки «Очистить» можно быстро стереть всю картинку.

После того как картинка нарисована, её можно предъявлять для распознавания или обучения. Для создания нового образа нужно использовать кнопку "Создать новый образ". Затем в открывшемся окне ввести имя образа и подтвердить свои действия (кнопка "Внести образ"). Таким образом, создаётся новый R-элемент с весовыми коэффициентами всех его связей равными единице.

После создания необходимого числа образов (обучения) можно начинать предъявление образов для распознавания. В этом случае нужно нарисовать картинку и нажать кнопку «Предъявить образ». Если число R-элементов меньше двух, то будет выдано сообщение об ошибке (об R-элементах см. ниже). В противном случае будет выполнен процесс распознавания нарисованной картинки перцептроном. На начальном этапе распознавания производится поиск образа в нарисованной картинке. Результат этой операции выводится в поле «Предъявленный образ» справа (см. рис. 2).

3.3 Анализ и коррекция распознавания (закладка «Перцептрон»).

На закладке "Перцептрон" (рис.3) в графическом виде представлен перцептрон. Имеется возможность контролировать правильность распознавания, состояние перцептрона в любой момент времени, изменять параметры, такие как внутренние связи, пороги возбуждения, алгоритм обучения и т.п.

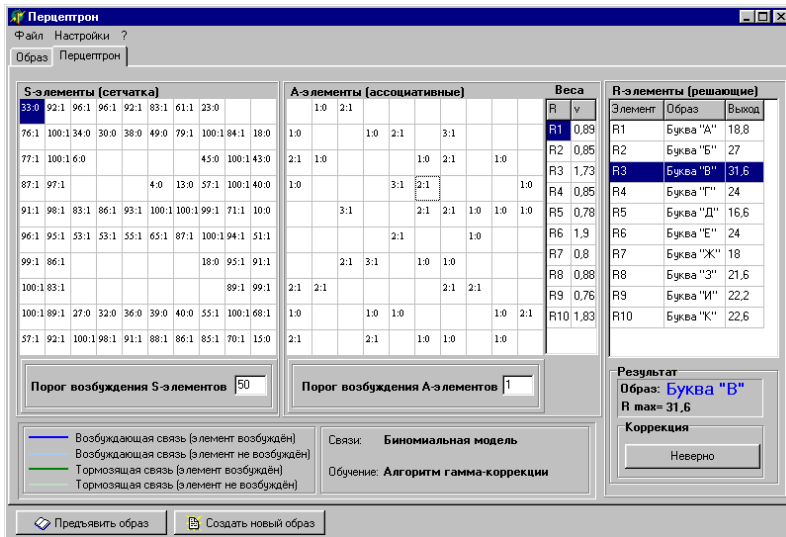


рис. 3

S-элементы (сенсорные).

S-элементы здесь представлены в виде таблицы размером 10x10 клеток. В каждой клетке отображается информация о состоянии одного элемента-рецептора. Информация представлена в виде $InSi:OutSi$, где $InSi$ есть сигнал на входе i -го элемента, $OutSi$ – сигнал на выходе. Величина $InSi$ зависит линейно от степени перекрытия образом (чёрными точками) участка изображения, соответствующего данному S-элементу. Ноль соответствует отсутствию изображения в клетке, 100 – полному перекрытию клетки, промежуточные значения соответствуют частичному перекрытию соответствующего участка т. е.

$$In_{S_i} = \sum_{k=1}^{100} p_k \quad ,$$

где $p_k = 0$, если k -я точка белая и $p_k = 1$, если k -я точка чёрная.

Сигнал на выходе равен единице, если сигнал на входе превышает порог возбуждения S-элемента, и равен нулю в противном случае:

$$Out_{S_i} = \begin{cases} 1, & In_{S_i} - \theta_S > 0 \\ 0, & In_{S_i} - \theta_S \leq 0 \end{cases} .$$

Пороговая величина θ_S одинаковая для всех S-элементов устанавливается в окошке под таблицей.

Например, на рисунке информация об элементе S3 представлена в виде 96:1. Это значит, что величина заполненности участка изображения равна 96 и на выходе элемента появилась единица (элемент возбуждён).

A-элементы (ассоциативные).

A-элементы здесь также представлены в виде таблицы размером 10x10 клеток. В каждой клетке отображается информация о состоянии одного ассоциативного элемента. Информация представлена в виде InA:OutA, где InA есть сигнал на входе, OutA – сигнал на выходе. Сигнал на входе A-элемента есть алгебраическая сумма выходных сигналов связанных с ним S-элементов. Причём сигнал берётся со знаком плюс, если соответствующая связь возбуждающая, и со знаком минус, если связь тормозящая. Выходной сигнал OutA равен единице, если сигнал на входе превышает некоторую заданную пороговую величину, и равен нулю в противном случае:

$$Out_A = \begin{cases} 1, & In_A - \theta_A > 0 \\ 0, & In_A - \theta_A \leq 0 \end{cases} , \text{ где } In_A = \sum_i p_{i,j} Out_{S_i} , p_{i,j} = \pm 1$$

Пороговая величина θ_A одинаковая для всех А-элементов устанавливается в окошке под таблицей.

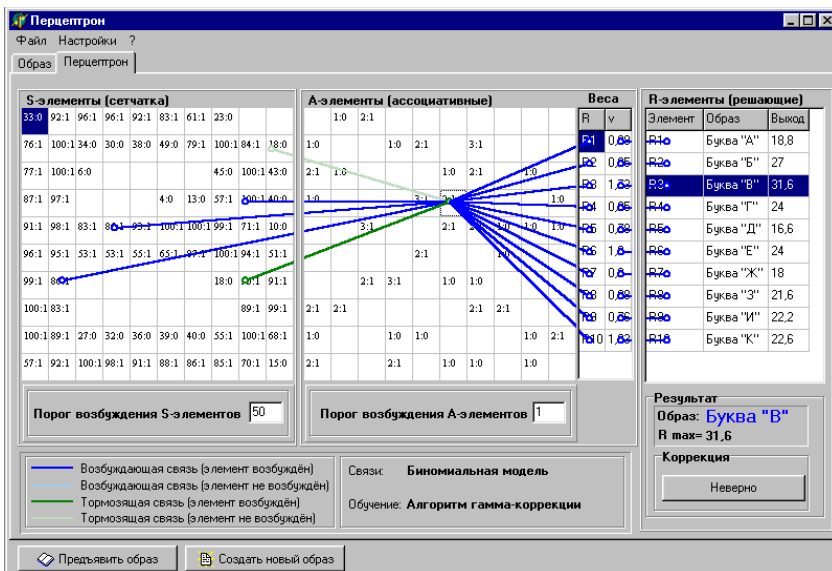
Связи

При указании (нажатием левой кнопки мыши) какого либо А-элемента или S-элемента на экране отображаются все его связи (рис.4). Связи отображаются разными цветами в зависимости от того, являются они возбуждающими или тормозящими, активными или нет (в зависимости от выбранной модели). Связи, исходящие от А-элементов к R-элементам, также отражаются ярко-синим, если выходной сигнал равен 1 и серым, когда на выходе 0.

Весы

В таблице «Весы» отображаются весовые коэффициенты связей, идущих от выбранного А-элемента ко всем R-элементам.

рис. 4



R-элементы

В таблице «R-элементы» представлена информация обо всех решающих элементах. В первом столбце выводится имя элемента, во втором – отвечающий ему образ, в третьем – выходной сигнал. Выход R-элемента есть алгебраическая сумма всех поступивших на его вход сигналов.

Результат

Здесь выводится максимальное значение выходов R-элементов и имя образа, отвечающее этому значению.

Коррекция распознавания.

При неправильном распознавании образа должна быть проведена коррекция весовых коэффициентов V_{ij} . После нажатия кнопки “Неверно” на экране появляется окно коррекции (рис. 5).

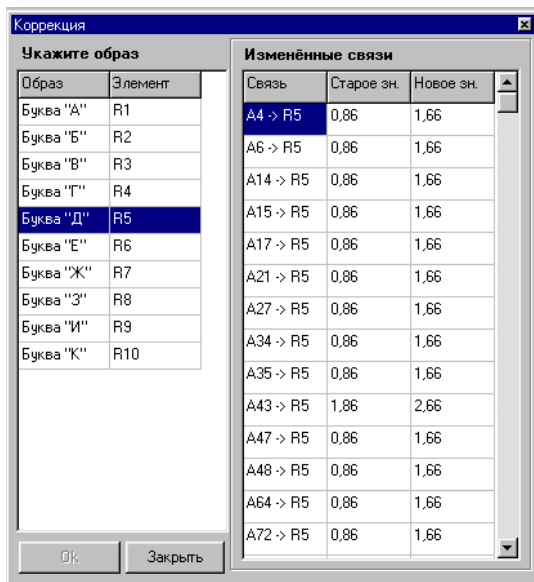


рис.5

Здесь слева нужно выбрать образ, к которому относится объект, и нажать кнопку «Ок». В таблице справа будут показаны изменённые веса. В алгоритмах фиксированного приращения и коррекции абсолютной величины корректируются веса только для тех А-элементов, у которых выходной сигнал $x_i \neq 0$. В первом столбце выводится связь, вес которой изменяется, во втором и третьем столбцах выводятся старое и новое значения весового коэффициента.

3.4. Пункт меню «Файл».

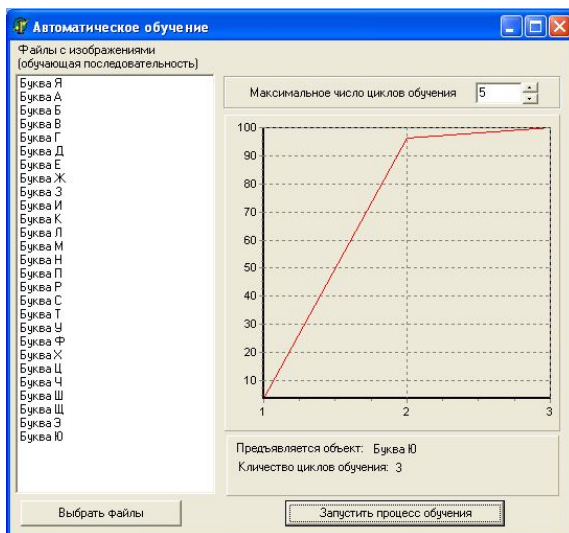
«Открыть изображение» и «Загрузить изображение»

Нарисованные изображения можно сохранять и считывать с диска. Файлы с изображениями имеют формат BMP.

«Автоматическое обучение»

Выбором этого пункта меню можно запустить процесс автоматического обучения. На экране появляется окно, приведённое на рис.6.

рис.6



Для выполнения процедуры автоматического обучения необходимо наличие на диске файлов с изображениями – представителями образов, по одному изображению для каждого образа. Каждое изображение должно быть чёрно-белой картинкой размером 300x300 точек, и иметь формат BMP. Такие файлы можно создавать при помощи этой же программы (пункт меню «Сохранить изображение») или в любом графическом редакторе.

В открывшемся окне сначала нужно указать набор файлов с изображениями, нажав кнопку «Выбрать файлы». Программа создаст по одному R-элементу для каждого файла и присвоит каждому R-элементу имя образа исходя из имени файла, путём отбрасывания расширения и пути к каталогу. Например, если выбраны три файла:

“c:\perceptron\images\Буква А.bmp”,

“c:\perceptron\images\Буква Б.bmp”,

“c:\perceptron\images\Буква В.bmp”,

то будет создано три R-элемента R1, R2, R3 с именами образов “Буква А”, “Буква Б” и “Буква В” соответственно.

Нажатием кнопки «Запустить процесс обучения» запускается процедура автоматического обучения. Она состоит в следующем. Перцептрон по очереди предъявляются все выбранные изображения. После предъявления каждой картинке поле «Результат» сравнивается с именем образа, к которому относится предъявленное изображение. В случае их несовпадения (ошибки перцептрона) производится коррекция весов в соответствии с выбранным алгоритмом. После предъявления всех изображений вычисляется величина «Надёжность распознавания». Процесс повторяется до тех

пор, пока полученная надёжность распознавания будет равна 100% или число шагов превысит максимально допустимое. Этот процесс отображается на графике (рис.6), на нём по оси абсцисс выводится номер шага, а по оси ординат надёжность распознавания, полученная на этом шаге.

«Сохранить конфигурацию» и «Загрузить конфигурацию»

При сохранении (загрузке) конфигурации на диск записываются (считываются) следующие данные:

- Пороговая величина S-элементов
- Пороговая величина A-элементов
- Связи между S-элементами и A-элементами
- Весовые коэффициенты v_{ij}
- Имена всех образов
- Выбранный алгоритм коррекции

Эти параметры целиком определяют состояние перцептрона. Поэтому загрузка конфигурации полностью восстанавливает результат проделанной работы по настройке и обучению перцептрона на момент сохранения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Розенблатт Ф. Принципы нейродинамики. – М.:Мир, 1965. – 480 с.
2. Аркадьев Л.Г. Браверман Г.А. Обучение машины классификации объектов. – М.:Наука, 1971 г.
3. Дж.Ту, Р.Гонсалес. Распознавание образов. – М.: Мир, 1978.
4. Чачхиани Т.И., Серова М.Г. Алгоритм перцептрона: практикум. – Н. Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2011. – 26 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Введение	3
2. Описание алгоритма перцептрона	3
2.1 Принцип подкрепления — наказания	5
2.2 Разновидности перцептронного подхода	7
2.3 Модели связей между S- и A-элементами	9
3. Описание программы "Перцептрон".	10
3.1. Пункт меню «Настройки»	11
3.2 Создание и предъявление образов (закладка «Образ»)	12
3.3 Анализ и коррекция распознавания (закладка «Перцептрон»)	13
3.4. Пункт меню «Файл»	18
Литература	21