

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 519.85

DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-2-58-66

Оригинальная статья /Original Paper

Программная реализация системы обучения написания китайских иероглифов
Н.В.Губанов

Сибирский государственный индустриальный университет,
654007, Новокузнецк, ул. Бардина, 42, Россия

Резюме. Цель. Цель работы посвящена разработке и описанию математической модели системы распознавания китайских иероглифов, с учетом всех особенностей написания китайского языка. Приложение для изучения китайского языка с модулем распознавания иероглифов может помочь заменить носителя языка или преподавателя на дому при самостоятельном обучении. Однако разработанные программные приложения основываются лишь на создании нейронной сети и не могут обеспечить распознавание, учитывая все особенности языка, что так важно при изучении, поэтому данная тема актуальна до сих пор. **Метод.** Модель обучения нейронной сети основывается на использовании искусственных нейронных сетей с использованием алгоритма обратного распространения ошибки. **Результат.** В статье представлена программная реализация системы обучения написания китайских иероглифов с учетом особенностей написания, направления каждой черты и ее точное определение с учетом правильной последовательности и нахождения в иероглифе, а также с контролем длины черт. **Вывод.** Каждая из особенностей написания является неотъемлемой частью при изучении языка, поскольку может не только полностью поменять смысл написанного иероглифа, но и помочь структурированно запомнить иероглиф самому обучающемуся, дав ему четкую структуру и алгоритм действий для написания иероглифа. При выявлении ошибок при написании, система укажет пользователю, где конкретно и в какой области была совершена ошибка, какую особенность языка он не учел, и следует обратить на нее внимание.

Ключевые слова: нейронные сети, китайский язык, системы распознавания, алгоритм распознавания, каллиграфия

Для цитирования: Н.В.Губанов. Программная реализация системы обучения написания китайских иероглифов. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(2):58-66. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-58-66

Software implementation of the system for learning to write Chinese characters
N.V. Gubanov

Siberian State Industrial University,
42 Bardina St., Novokuznetsk 654007, Russia

Abstract. Objective. The purpose of the work is devoted to the development and description of the mathematical model of the Chinese character recognition system, taking into account all the features of writing the Chinese language. The Chinese language learning app with character recognition module can help you replace a native speaker or home teacher for self-study. However, the developed software applications are based only on the creation of a neural network and cannot provide recognition, taking into account all the features of the language, which is so important when studying, therefore this topic is still relevant. **Method.** The neural network training model is based on the use of artificial neural networks using the backpropagation algorithm. **Result.** The article presents a software implementation of a system for teaching Chinese characters, taking into account the peculiarities of writing, the direction of each feature and its exact definition, taking into account the correct sequence and location in the character, as well as controlling the length of the features. **Conclusion.** Each of the writing features is an integral part of learning a language, since it can not only completely change the meaning of the written hieroglyph, but also help the learner to

memorize the hieroglyph in a structured way, giving him a clear structure and algorithm of actions for writing the hieroglyph. When errors are detected when writing, the system will indicate to the user where exactly and in what area the error was made, what feature of the language he did not take into account, and attention should be paid to it.

Keywords: Neural networks, Chinese language, recognition systems, recognition algorithm, calligraphy

For citation: N.V. Gubanov. Software implementation of the system for learning to write Chinese characters. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023; 50(2):58-66. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-58-66

Введение. Изучение иностранных языков с каждым годом становится все более популярным и доступным занятием для человека. Росту популярности изучения иностранных языков способствуют такие факторы, как развитие кинематографии, доступность туристических поездок, а также спрос от работодателей в знании хотя бы одного иностранного языка. Все эти факторы благоприятно сказываются на умственных способностях, памяти и развитии человека в целом. Знание иностранного языка делает человека конкурентоспособным на рынке труда, а также является весомым показателем трудового и умственного потенциала работника и т.д.

Система обучения написания китайских иероглифов может помочь заменить носителя языка или преподавателя на дому при самостоятельном обучении. Однако разработанные программные приложения основываются лишь на создании нейронной сети и не могут обеспечить распознавание, учитывая все особенности языка, что так важно при изучении, поэтому данная тема актуальна до сих пор, не смотря на большой скачок в развитии этого направления. Даже во время групповых языковых курсов на одного преподавателя приходится порядка 5, а то и 20 человек, при этом у преподавателя физически нет возможности проверить корректность написания студентом правильного направления черт.

Постановка задачи. Работа посвящена разработке и описанию программной реализации системы обучения написания китайских иероглифов с учетом всех особенностей написания китайского языка.

Методы исследования. Реализация алгоритма распознавания китайских иероглифов. Перед началом распознавания китайского иероглифа пользователю подается слово или словосочетание на русском языке, которое требуется ввести на экране. Написание иероглифа происходит по одной иероглифической черте.

Распознавание направления китайской иероглифической черты. При попытке ввести иероглифическую черту, при прикосновении к экрану для дальнейшего распознавания направления написания китайской иероглифической черты системой будут считаны координаты первого прикосновения к экрану. Полученные координаты (x_1, y_1) и будут обозначать начало начертания иероглифической черты, черта вводится одним движением, согласно правилам каллиграфии китайского языка. Как только пользователь уберет палец с экрана, это будет сигнализировать системе о том, что иероглифическая черта написана и готова к распознаванию направления, системой будут получены координаты (x_2, y_2) , конца написания черты. На основе полученных координат происходит вычисление направления черты. Каждая черта обладает собственными условиями корректного направления написания, например: условиями корректного направления написания иероглифической черты «Точка», «Вертикальная черта», является то, что координата ординат начала написания черты (y_1) , должна быть больше, чем ордината окончания написания (y_2) . Так как во время записи черты, в зависимости от почерка пользователя, координата абсцисс точки окончания начертания (x_2) может быть как меньше точки абсцисс начала начертания (x_1) , так и равна или больше. Поэтому, вне зависимости от x_1 и x_2 , система сумеет правильно распознать направление написания иероглифической черты китайского языка [5].

В случае с написанием иероглифических черт, таких как «Горизонтальная черта», x_1 должен быть меньше x_2 , так как в написании учитывается только координата абсцисс, а координата ординат может варьироваться от дрожи в руках.

Условиями корректного направления написания иероглифических черт «Откидная влево», «Откидная вправо», «Вертикальная с крюком влево», «Изогнутая с крюком влево», является то, что координата y_1 должна быть больше y_2 . Несмотря на то, что «Откидная влево» и «Откидная вправо» являются чертами с противоположным направлением написания по абсциссе, для распознавания корректного написания черты - это не имеет значения, поскольку за определение корректного написания самого иероглифа отвечает распознавание черты при помощи искусственной нейронной сети.

Иероглифическая черта «Откидная вверх» является уникальным случаем, это единственная черта с условием распознавания, где y_1 должен быть меньше y_2 , поскольку это единственная черта, написание которой происходит снизу вверх.

Условиями написания направлений иероглифических черт «Горизонтальная с ломаной», «Вертикальная с ломаной» и «Горизонтальная с крюком вниз» согласно правилам каллиграфии является соблюдением правил о том, что x_1 должно быть меньше x_2 , несмотря на тот факт, что во всех трех чертах присутствуют вертикальные элементы, поскольку данные элементы слишком малы для значимости в распознавании конкретных черт, ведь естественный наклон горизонтальной черты может перекрывать длину вертикальных элементов черты, от чего сравнение координат ординат полностью теряет свою значимость.

Написание черты «Откидная вправо с крюком вверх» начинается с левого верхнего угла, а заканчивается в нижнем правом углу, относительно своего начала. Несмотря на это, координата ординат в данном случае не является важной в распознавании, поскольку при правильном написании черты исключается возможность написания черты в другую сторону, поскольку это будет уже совершенно другая черта. Поэтому координата x_1 в данном случае должна быть меньше координаты x_2 .

Черта «Лежачий крюк» представляет собой «лежачую» черту, а значит, располагается почти параллельно горизонтали, несмотря на то, что не содержит подобных элементов, поэтому для распознавания данной черты достаточно соблюдение условия $x_1 < x_2$.

«Откидная влево с точкой» является чертой, состоящей из двух элементов, где первый элемент по диагонали стремится в одну сторону, а последующий элемент стремится по диагонали в противоположную сторону. На основе строения данной черты не возможно корректно определить ее направление по оси абсцисс, поскольку длина обоих элементов иероглифической черты определяются пользователем не точно, почти произвольно, в пределах соблюдения правил написания черт в иероглифе. Поэтому для корректного распознавания направления, требуется узнать координаты ординат, где y_1 должен быть больше y_2 .

Несмотря на то, что «Горизонтальная с откидной влево» имеет структуру, которая отличается от черты «Откидная влево с точкой», поскольку первый элемент иероглифической черты является горизонтальным, написание данной черты по своей логике написания совпадает, поскольку оба элемента иероглифа также стремятся в разные стороны. Поэтому, условием распознавания направления данной черты является то, что y_1 должен быть больше y_2 . «Откидная влево с ломаной» является третьим примером, где иероглифическая черта, разделенная на два элемента, стремится в разные стороны, однако, в данном варианте, второй элемент стремится к началу первого элемента, при этом, не соприкасаясь, поскольку второй элемент всегда будет находиться ниже первого.

Условиями корректного направления написания иероглифической черты Иероглифические черты, такие как «Горизонтальная ломаная с крюком вправо», «Горизонтальная ломаная с изгибом», Горизонтальная ломаная с откидной вправо и крюком вверх», «Горизонтальная ломаная с крюком вправо и изгибом» являются трехсоставными чертами, где второй элемент черты является вертикальной прямой, а первый и последний элемент находятся по разные стороны от вертикальной прямой, таким образом, не суще-

стует возможности правильного написания иероглифических черт такого вида, где при написании координата абсцисс конца начертания хоть как-то приближалась к ее началу. Данные черты можно визуальнo представить как вертикальные черты, которые равноудалены друг от друга вертикальной чертой, условием корректного написания является условие $x_1 < x_2$. Несмотря на то, что «Горизонтальная ломаная с крюком влево» и «Горизонтальная ломаная с крюком вправо» являются противоположными только последним элементом, данная черта не подпадает под предыдущий случай, поскольку третий элемент, как и первый, находится левее среднего вертикального элемента. Несмотря на незначительный размер третьего элемента иероглифа, он может быть изображен пользователем чуть больших размеров, чем приблизится конечная и начальная координата абсцисс, поэтому для распознавания конкретной черты достаточно условия: y_1 должен быть больше y_2 .

Говоря о правильном написании направления для черты «Вертикальная с откидной вверх», можно заметить, что данный случай похож на распознавание черты «Откидная влево с ломаной». Черта также состоит из двух элементов, которые стремятся в разные стороны, почти возвращаясь в начальную точку, однако в данной вариации иероглифическая черта расположена вертикально, отсюда условия ее распознавания меняются. Для распознавания этой черты координата абсцисс начала должна быть меньше координаты абсцисс конца написания черты.

«Горизонтальная с откидной влево», Горизонтальная дважды ломаная с откидной влево» и «Горизонтальная трижды ломаная с вертикальной и крюком влево» являются сложносоставными чертами. Однако, при подробном рассмотрении каждой из черт, можно заметить, что первый и последний элементы расположены на одной стороне, разделителем которой является многосоставная часть черты, состоящая из множества средних элементов, которые составляют черту, визуальнo похожую на вертикальную. В данных условиях распознавание черты по оси абсцисс не имеет смысла, поэтому этими данными при распознавании система пренебрегает, обращая внимание на координаты ординат. Условием распознавания данных черт является то, что y_1 должен быть больше y_2 .

Иероглифическая черта «Вертикальная с изогнутой» является примером черты, в которой первый элемент является вертикальным, а второй – горизонтальным. Однако горизонтальный элемент в данной черте является достаточно малым для сравнения направления по оси абсцисс, поэтому направление для данной черты определяется по нахождению разности координат ординат, где y_1 должен быть больше y_2 .

В случае с «Вертикальная с изогнутой и крюком вверх» в отличие от предыдущего случая, черта имеет третий элемент, который пользователем может быть написан визуальнo больше требуемого, а второй элемент является разделительным горизонтальным между двумя вертикальными элементами, на основе чего можно сделать вывод о том, что при распознавании направления «Вертикальная с изогнутой и крюком вверх» x_1 должен быть меньше x_2 . «Вертикальная ломаная с откидной влево» и «Вертикальная дважды ломаная с крюком влево» являются ломаными чертами с разделительным горизонтальным элементом, тогда как первый и последний элемент иероглифа являются вертикальными, поэтому данные черты сравниваются по принципу вертикальной черты, где y_1 должен быть больше y_2 . Направление для каждой введенной пользователем черты записывается в лист направлений, для последующего сравнения. Если условия верны, то направление считается верным. После записи направления написания первой черты, происходит распознавание китайской иероглифической черты, модель которого описана в пункте 1.2.

Распознавание иероглифической черты в китайском иероглифе осуществляется посредством обученной нейронной сети. Нейронная сеть – это одно из направлений научных исследований в области создания искусственного интеллекта, в основе которого лежит стремление имитировать нервную систему человека [6, 7]. Нейронная сеть представляет собой нейроны, связанные между собой синапсами.

Нейрон является составной частью нейронной сети [8]. Он состоит из элементов трех типов: умножителей (синапсов), сумматора и функции насыщения. Синапсы осуществляют связь между нейронами и являются результатом умножения входного сигнала на вес синапса (число, характеризующее силу связи). Сумматор выполняет сложение сигналов, поступающих по синаптическим связям других нейронов, и внешних входных сигналов. Функция активации реализует нелинейную функцию одного аргумента – выхода сумматора. Эта функция называется функцией активации, насыщения или передаточной функцией нейрона [9].

В общем случае входной сигнал, весовые коэффициенты и смещение могут принимать действительные значения, а во многих практических задачах – лишь некоторые фиксированные значения. Выход определяется видом функций активации и может быть как действительным, так и целым. Синаптические связи с положительными весами называют возбуждающими, с отрицательными весами – тормозящими [10].

Математическая модель нейрона имеет вид:

$$S = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b, \quad (1)$$

$$y = f(s), \quad (2)$$

где x_i – компонент входного вектора (входной сигнал), $i = 1 \dots n$;
 w_i – вес (weight) синапса, $i = 1 \dots n$;
 b – значение смещения (bias);
 n – число входов нейрона;
 s – результат суммирования (sum);
 f – нелинейное преобразование (функция активации);
 y – выходной сигнал нейрона.

На входной сигнал нелинейный преобразователь отвечает выходным сигналом $f(s)$, который представляет собой выход y нейрона. Нейронная сеть состоит из трех видов слоев нейронов: входной слой; внутренний слой; выходной слой.

При объяснении и использовании нейронной сети зачастую скрытые слои (внутренние) представляются как «черный ящик», а количество скрытых слоев и количество нейронов на них либо принимают как произвольные значения, либо высчитывают по общепринятым формулам, не вдаваясь в логический смысл внутренних слоев, ссылаясь лишь на математические формулы. Черный ящик – это термин, использующийся для обозначения системы, сложность которой очень высока, либо механизм работы данной системы не важен [11 – 13].

Входной слой представляет собой входные данные, например, для распознавания иероглифической черты (или иероглифа), введенная в виде изображения черта рассматривается попиксельно, каждый пиксель изображения оценивается числом от 0 до 1, в зависимости от цвета пикселя, где 0 – это белый цвет, а 1 – это черный цвет. Для идентификации иероглифической черты требуется найти все значения на внутренних слоях нейронной сети, для данной модели изображение выбрано размером $x * y$ пикселей, нейронная сеть имеет n -внутренних слоев, каждый слой имеет собственное количество нейронов.

Для определения количества внутренних слоев и количества нейронов в каждом слое требуется логическое понимание этих слоев. Рассматривая входные данные, мы опираемся на яркость пикселей, при распознавании изображения размером 100×100 пикселей, мы получаем 10000 входных данных на входном слое. Результатом распознавания должно получиться значение на выходном слое, при распознавании иероглифической черты нейронов на выходном слое будет равно 29, в прямой зависимости от количества иероглифических черт в китайском языке.

Связи, веса нейронов показывают насколько яркость конкретного набора пикселей влияет на активацию нейрона в первом внутреннем слое, тогда каждый нейрон первого внутреннего слоя нейронной сети будет представлять собой небольшую группу пикселей, тогда активация нейронов на втором внутреннем слое будет напрямую зависеть от того, какие нейроны были активированы на первом слое, таким образом, каждый нейрон второ-

го выходного слоя будет содержать группу групп пикселей, неся в себе информацию о большей части изображения. Теоретически, чем больше внутренних слоев и нейронов внутри внутренних слоев будет иметь нейронная сеть, тем более точная она будет, однако, при двух слоях, где в каждом внутреннем слое содержится всего несколько нейронов, количество связей будет приумножаться в разы. При 10000 входных данных, количество связей будет равно нескольким миллионам, отчего сложность и время обучения нейронной сети возрастает в геометрической прогрессии.

Перед обучением нейронной сети все веса создаются случайно в заданном диапазоне. Для распознавания иероглифической черты при получении изображения во входной слой системы потребуются найти значения нейронов на внутренних слоях, в результате чего получится значение на выходном слое, соответствующее идентификатору соответствующей иероглифической черты.

Для нахождения нейронов на первом внутреннем слое воспользуемся формулой:

$$\varphi_i^{(q)} = \sigma(\sum(w_i^q a_j) + b_i^q), \quad (3)$$

где $\varphi_i^{(q)}$ – значение нейрона i -го нейрона в слое q ;

σ – функция активации;

a_j – значение яркости j -го пикселя;

w_i^q – вес связи i -го нейрона q -го слоя;

b – смещение i -го нейрона q -го слоя.

Формула функции активации σ вычисляется данным образом:

$$\sigma = f(S) = \frac{1}{1 - e^{-aS}}, \quad (4)$$

где a – константа;

S – взвешенная сумма входных сигналов нейрона $\varphi_i^{(q)}$.

В результате вычисления значений каждого нейрона на первом внутреннем слое получается значение, зависящее от количества пикселей изображения, для придания значения нейрона в диапазоне от 0 до 1 используется функция активации.

Для нахождения значения нейронов на остальных внутренних слоях формула 3 приобретает вид:

$$\varphi_i^{(q)} = \sigma\left(\sum(w_i^q \varphi_i^{(q-1)}) + b_i^q\right), \quad (5)$$

где $\varphi_i^{(q)}$ – значение i -го нейрона в слое q ;

σ – функция активации;

$\varphi_i^{(q-1)}$ – значение i -го нейрона $(q-1)$ -го внутреннего слоя;

w_i^q – вес связи i -го нейрона q -го слоя;

b – смещение i -го нейрона q -го слоя.

Выходной слой содержит значения распознавания, например, для распознавания иероглифической черты выходной слой будет равен 29 нейронам, каждый нейрон соответствует конкретной иероглифической черте. Значение выходного слоя вычисляется по заданной формуле:

$$\varphi_i^{\text{вых}} = \sigma\left(\sum(w_i^{q_n} \varphi_i^{(q_n)}) + b_i^{\text{вых}}\right), \quad (6)$$

где $\varphi_i^{\text{вых}}$ – значение i -го нейрона в выходном слое;

σ – функция активации;

$\varphi_i^{(q_n)}$ – значение i -го нейрона последнего внутреннего слоя;

$w_i^{q_n}$ – вес связи i -го нейрона последнего внутреннего слоя;

b – смещение i -го нейрона выходного слоя.

После получения всех значений нейронов выходного слоя, находится наибольшее значение среди всех нейронов, например, если наибольшее значение нейрона у нейрона № 13, значит, система распознает иероглифическую черту как черту с идентификационным номером 13.

Обсуждение результатов. После распознавания иероглифической черты, результат распознавания записывается в лист иероглифических черт иероглифа L^{pez} .

Данный цикл распознавания каждой черты продолжается до тех пор, пока иероглиф не будет написан целиком, после завершения написания всех иероглифических черт в иероглифе происходит сравнение количества черт в листе иероглифических черт $L^{точ}$., из которых состоит иероглиф с листом распознанных черт L^{pez} .

Если количество черт не совпадает, то пользователь получает сообщение о том, что количество черт не совпадает. После этого, каждая i -я черта листа распознанных иероглифических черт сравнивается с i -й чертой иероглифа, в случае несоответствия распознанной черты, пользователь получит сообщение о том, какая конкретная черта написана неправильно:

$$L_i^{pez} = L_i^{точ}. \quad (7)$$

Следующим шагом системы является сравнение i -го направлений правильно распознанных черт D_i^{pez} с i -ми точными направлениями черт в иероглифе $D_i^{точ}$:

$$D_i^{pez} = D_i^{точ}. \quad (8)$$

В случае несоответствия направления черты пользователь получит сообщение о том, какая конкретно черта по направлению написана некорректно. После определения корректности количества черт, их направлений и написания происходит распознавание иероглифа в целом, аналогичное по формулам с распознаванием иероглифической черты, описанное в пункте 1.2, разницей распознавания будет являться лишь количество внутренних слоев, количество нейронов на внутренних слоях и на выходном слое.

После распознавания иероглифа в целом, в случае корректного распознавания пользователь получит сообщение, что иероглиф написан корректно, однако это не исключает тот факт, что направление черт, их написание и количество черт может не совпадать, в результате пользователь получит множество корректирующих сообщений о том, как усовершенствовать свои навыки написания иероглифических черт.

Модель обучения нейронной сети с использованием алгоритма обратного распространения ошибки представляет собой по классификации нейронную сеть с учителем.

При обучении с учителем предполагается, что есть внешняя среда, которая предоставляет обучающие примеры (значения входов и соответствующие им значения выходов) на этапе обучения или оценивает правильность функционирования нейронной сети и в соответствии со своими критериями меняет состояние нейронной сети или поощряет (наказывает) нейронную сеть, запуская тем самым механизм изменения ее состояния. При обучении без учителя примеры подаются без выходных значений, из-за чего нейронная сеть при распознавании определяет лишь конкретную группу, без обозначения того, что эта группа из себя представляет [14, 15].

В данной системе на вход подается изображение размером 100x100 пикселей, из-за чего входной слой состоит из 10000 нейронов, сеть имеет 2 внутренних слоя по 50 нейронов, выходной слой состоит из 29 нейронов на выходе. Для реализации обучения нейронной сети требуется на вход системы подать изображение с чертой и явно указать на выходное значение нейронной сети. После чего система выполнит первое распознавание, а так как система не обучена, результат, скорее всего, окажется неверным после выполнения всех действий распознавания из пункта 1.2, после получения всех значений на выходном слое вычисляется функция ошибки искусственной нейронной сети $E(w)$ (ИНС):

$$E(w) = \frac{1}{2} (1 - \varphi_i^{вых})^2 \quad (9)$$

Значение ошибки ИНС задается изначально и является условием остановки обучения нейронной сети. Если значение ошибки превышает требуемый порог, система считается необученной, значит, обучение должно продолжаться. После чего, находится ошибка на выходном слое $\partial_{вых}$: $\partial_{вых} = \varphi_i^{вых} (1 - \varphi_i^{вых}) * (\varphi_i^{вых} - 1)$. (10)

Ошибка выходного слоя несет в себе информацию о том, насколько наша система неправильно распознала черту или иероглиф, от нее зависит то, насколько сильно нужно

корректировать веса и смещения нейронной сети. На основе ошибки выходного слоя находим ошибки последнего (q-го) внутреннего слоя:

$$\partial_{\text{полс}} = \varphi_i^q (1 - \varphi_i^q) * \partial_i^{\text{ВЫХ}} * w_i^q, \quad (11)$$

и ошибки остальных внутренних слоев:

$$\partial_q = \varphi_i^{q+1} (1 - \varphi_i^{q+1}) * (\varphi_i^{(q)} + w_i^q * \partial_i^{q+1}). \quad (12)$$

Зная ошибки значений нейронов на слоях, можно провести корректировку весов и смещений нейронной сети. Изменение веса между выходным значением и значением значения нейрона на последнем внутреннем слое вычисляется следующим образом:

$$w_i^{\text{ВЫХ}} = -0.1 * \partial_{\text{ВЫХ}} * \varphi_i^q + w_i^{\text{ВЫХ}}. \quad (13)$$

Корректировка смещения для всех слоев вычисляется по формуле:

$$b^q = b^q - 0.1 * \varphi_i^q * 1. \quad (14)$$

Изменение веса между остальными слоями:

$$w_i^q = -0.1 * \partial^{q+1} * \varphi_i^q + w_i^q. \quad (15)$$

После завершения корректировки весов и смещений считается, что произошло обучение нейронной сети на одном примере, обучение происходит до тех пор, пока ошибка ИНС по формуле 9 не станет меньше заданной [16-18].

Вывод. Описана программная реализация системы обучения написания китайских иероглифов, включающая контроль написания китайских иероглифов с учетом большинства особенностей китайской письменности, таких как направление написания черт, учет количества черт в написанном иероглифе, корректное написание каждой черты иероглифа и иероглифа в целом.

Представлено описание распознавания китайской иероглифической черты и ее направления, а также иероглифа в целом, модель обучения нейронной сети с использованием алгоритма обратного распространения ошибки [19,20].

Библиографический список:

1. Лучшие приложения для изучения китайского языка. Топ 7. [Электронный ресурс]: сайт.– Режим доступа: <https://studyinchinas.com/ru/приложения-для-изучения-китайского/>, свободный (дата обращения 27.01.20).
2. 15 мобильных приложений для изучения китайского языка [Электронный ресурс]: сайт.– Режим доступа: <https://kj.media/obuchenie/prilozheniya-dlya-izucheniya-kitayskogo-yazyka/>, свободный (дата обращения 29.01.20).
3. Учим китайский! 9 лучших приложений [Электронный ресурс]: сайт.– Режим доступа: <https://laowai.ru/uchim-kitajskij-9-luchshix-prilozhenij/>, свободный (дата обращения 29.01.20).
4. World Intellectual Property Organization [Электронный ресурс]: сайт.– Режим доступа: <https://laowai.ru/uchim-kitajskij-9-luchshix-prilozhenij/>, свободный (дата обращения 03.05.20).
5. Ивченко Т.В. Новые горизонты интегральный курс китайского языка [Текст] / Т.В. Ивченко. – Пекин : «EducationalSciencePublishingHouse», 2012 – 184с.
6. ComputerWorld : История глубинного машинного обучения [Электронный ресурс] : электронный журнал. – Режим доступа: <http://www.computerworld.ru/articles/Istoriya-glubinnogo-mashinnogo-obucheniya>, свободный (дата обращения 17.06.18).
7. MachineLearning.ru: Профессиональный информационно–аналитический ресурс, посвященный машинному обучению, распознаванию образов и интеллектуальному анализу данных [Электронный ресурс] : электронная энциклопедия. Режим доступа: <http://www.machinelearning.ru>, свободный (дата обращения 13.06.17).
8. Горбачевская Е. Н. Классификация нейронных сетей [Текст] / Е. Н. Горбачевская // Вестник Волжского университета им. В. Н. Татищева. – 2012. – № 2. – с. 128–134.
9. Круглов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика [Текст] / В. В. Круглов, В. В. Борисов. – 2-изд. // Горячая линия – Телеком. – Москва. – 2002.–382 с. –ISBN 5-93517-031-0.
10. The Elements of Statistical Learning. DataMining, Inference, and Prediction [Текст] / TrevorHastie, RobertTibshirani, JeromeFriedman //Springer. – 2009. – 764с. - ISBN-10: 0387848576.
11. Лагунов Н.А. Применение сверточных нейронных сетей в задачах распознавания многопараметрических объектов [Текст] / Н. А. Лагунов. // Пространство и время – Москва. – Институт философии РАН. – 2013. – №3 – с. 194–197.
12. Обзор свёрточных нейронных сетей для задачи классификации изображений [Текст] / сост. : Сикорский О.С. //МГТУ им. Н.Э. Баумана – 7с.
13. Adam: A Method for Stochastic Optimization [Текст] / Diederik P. Kingma, Jimmy Lei Ba // The International Conference on Learning Representations.–San Diego. – 2015. – 15 с.

14. Рейнгольд Э. Комбинаторные алгоритмы. Теория и практика [Текст] / Э. Рейнгольд, Ю. Нивергельт, Н. Део. – М. : Мир, 1980. – 476 с.
15. Левитин А.В. Алгоритмы: введение в разработку и анализ [Текст] / А. В. Левитин – М. : Издательский дом «Вильямс», 2006. – 576 с.
16. Adam: A Method for Stochastic Optimization [Текст] / Diederik P. Kingma, Jimmy Lei Ba // The International Conference on Learning Representations.–San Diego. – 2015. – 15 с.
17. Haykin S. Neural Networks: A Comprehensive Foundation Simon [Текст] / S. Haykin. : Macmillan, 1994. – 696 с.
18. Scansi S. Introduction to Deep Learning [Текст] / S. Scansi. : Springer, 2018. – 204 с.
19. Rojas R. Neural Networks: A Systematic Introduction [Текст] / R. Rojas : Springer, 1996. – 522 с.
20. Bishop M. Pattern Recognition and Machine Learning [Текст] / M. Bishop : Springer, 2006. – 738 с.

References:

1. The best apps for learning Chinese. Top 7. Electronic resource]: site. Access mode: <https://studyinchinas.com/ru/apps-learning-Chinese/>, free (accessed 27.01.20). (In Russ)
2. 15 mobile applications for learning Chinese [Electronic resource]: site. Access mode: <https://kj.media/obuchenie/prilozheniya-dlya-izucheniya-kitayskogo-yazyka/>, free (accessed 29.01.20). (In Russ)
3. Learn Chinese! 9 best applications [Electronic resource]: site. - Access mode: <https://laowai.ru/uchim-kitajskij-9-luchshix-prilozhenij/>, free (accessed 29.01.20). (In Russ)
4. World Intellectual Property Organization [Электронный ресурс]: site.– Access mode: <https://laowai.ru/uchim-kitajskij-9-luchshix-prilozhenij/>, free (accessed 03.05.20).
5. Ivchenko T.B. New Horizons Integral Chinese Course [Text] / T.B. Ivchenko. – Beijing : «EducationalSciencePublishingHouse», 2012 – 184p.
6. ComputerWorld : History of deep machine learning [Electronic resource] : electronic journal. – Access mode: <http://www.computerworld.ru/articles/Istoriya-glubinnogo-mashinnogo-obucheniya>, free (date of the application 17.06.18).
7. MachineLearning.ru: Professional information and analytical resource dedicated to machine learning, pattern recognition and data mining [Electronic resource] : electronic encyclopedia. Access mode: <http://www.machinelearning.ru>, free (date of the application 13.06.17).
8. Gorbachevskaya E. N. Classification of neural networks [Text] / E. N. Gorbachevskaya , V.N. Tatishchev *Volga University Bulletin*. 2012; 2: 128–134. (In Russ)
9. Kruglov V. V. Artificial neural networks. Theory and practice [Text] / B. B. Kruglov, V. V. Borisov. – 2-edition. Hot line . Telecom. Moscow. 2002; 382 . (In Russ)
10. The Elements of Statistical Learning. DataMining, Inference, and Prediction [Text] TrevorHastie, RobertTibshirani, JeromeFriedman. *Springer*. 2009; 764. - ISBN-10: 0387848576.
11. Lagunov N.A. Application of convolutional neural networks in problems of recognition of multiparameter objects [Text] *Space and time*. Moscow. Institute of Philosophy RAS. 2013; 3: 194–197. (In Russ)
12. An Overview of Convolutional Neural Networks for Image Classification Problem [Text] / made. : Sikorsky O.S. Bauman Moscow State Technical University.7. (In Russ)
13. Adam: A Method for Stochastic Optimization [Text] / Diederik P. Kingma, Jimmy Lei Ba. The International Conference on Learning Representations.–San Diego 2015; 15 .
14. Reingold E. Combinatorial algorithms. Theory and practice [Text] / E. Reingold, Yu. Nivergelt, N. Deo. – М. : World, 1980; 476. (In Russ)
15. Levitin A.V. Algorithms: An Introduction to Design and Analysis[Text]M.: Publishing House «Williams», 2006; 576. (In Russ)
16. Adam: A Method for Stochastic Optimization [Text] / Diederik P. Kingma, Jimmy Lei Ba. The International Conference on Learning Representations.–San Diego. 2015; 15.
17. Haykin S. Neural Networks: A Comprehensive Foundation Simon [Text] : Macmillan, 1994; 696.
18. Scansi S. Introduction to Deep Learning [Text] / S. Scansi. : Springer, 2018; 204 .
19. Rojas R. Neural Networks: A Systematic Introduction [Text] / R. Rojas : Springer, 1996; 522.
20. Bishop M. Pattern Recognition and Machine Learning [Text] / M. Bishop : Springer, 2006; 738.

Сведения об авторе:

Губанов Николай Владимирович, аспирант, кафедра прикладных информационных технологий и программирования, ragescapicorn@gmail.com

Information about author:

Nikolai V.Gubanov, Postgraduate Student, Department of Applied Information Technologies and Programming, ragescapicorn@gmail.com

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов/The author declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 18.04.2023.

Одобрена после рецензирования/ Reved 16.05.2023.

Принята в печать/Accepted for publication 16.05.2023.