



И.В. Козлов, И.В. Лёзина

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ РАДИАЛЬНО-БАЗИСНОЙ СЕТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ АРАБСКИХ ЦИФР

(Самарский университет)

Современный человек активно внедряет ЭВМ в свою жизнь для передачи и хранения информации в электронном виде. Электронный документооборот сильно облегчает процессы ведения и обработки необходимых документов, которые могут храниться как в специальных форматах, так и в виде изображений. В последнем случае для дальнейшей работы с информацией необходимо ее обработать.

В качестве примера ситуации, когда информацию необходимо перевести из изображения в текст, можно рассмотреть обработку анкет. Анкеты, созданные на компьютерах, распечатывают и раздают респондентам, которые заполняют анкеты и возвращают их. Такие анкеты сканируются, сохраняются и требуют обработки и перевода в цифровой формат. Когда количество заполненных анкет становится огромным, их обработка человеком может занимать много времени. Использование современных технологий для распознавания цифр могут сильно облегчить процесс обработки анкет с выбором ответов в формате цифр.

Задача распознавания арабских цифр относится к задачам распознавания образов.

Распознавания образов – это наука о методах и алгоритмах классификации объектов различной природы [1]. Образы – это множества объектов, обладающих характерным свойством, которое проявляется в том, что люди, ознакомившись с конечным числом множества объектов множества, оказываются способными узнавать сколь угодно большое число других его представителей [2].

Решение задачи распознавания арабских цифр относится к задаче классификации образов, которая состоит из двух этапов: процесс обучения и процесс распознавания. Для ее решения могут применяться искусственные нейронные сети – сеть искусственных нейронов, связанных между собой синаптическими связями. Искусственные нейронные сети представляют собой набор математических и алгоритмических методов для решения широкого круга задач [3].

Для решения задачи распознавания арабских цифр была выбрана радиально-базисная сеть (сеть радиально-базисных функций).

Радиально-базисные сети состоят из 3-х слоев: входной слой, скрытый слой с функциями активации Гаусса и выходной слой.

В качестве радиальной функции чаще всего используется функция Гаусса, определяемая по формуле [4]:



$$\varphi(x) = \varphi(\|x - c_i\|) = \exp\left(-\frac{\|x - c_i\|^2}{2\sigma_i^2}\right),$$

где  $\sigma_i$  – параметр, от которого зависит ширина функции,  $c_i$  – центр, в котором расположена функция.

Перед началом распознавания радиально-базисную сеть необходимо обучить. Обучение сводится к подбору центров и параметров формы базисных функций и подбору весов нейронов выходного слоя [4].

Подбор центров и параметров формы базисных функций обычно производится с помощью алгоритмов обучения без учителя.

Подбор весов нейронов выходного слоя обычно производится с помощью алгоритмов обучения с учителем.

В основе алгоритма обучения с учителем лежит алгоритм обратного распространения ошибки. Согласно этому алгоритму вычисление ошибки происходит по формуле:

$$E(w) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^M (y_k^{(j)} - d_k^{(j)})^2,$$

где  $p$  – количество обучающих выборок,  $M$  – количество выходных сигналов нейронной сети,  $y_k$  – фактический выходной сигнал,  $d_k$  – ожидаемый выходной сигнал [4].

При использовании одной обучающей выборки формула примет вид:

$$E(w) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^M (y_k - d_k)^2$$

Для подбора центров и параметров радиально-базисной нейронной сети можно использовать алгоритм  $k$ -усреднений или метод наискорейшего спуска с использованием алгоритма обратного распространения ошибки.

Алгоритм  $k$ -усреднений предполагает использование прямой версии  $k$ -усреднений, в котором после предъявления  $k$ -го вектора  $x_k$ , принадлежащего обучающему множеству, выбирается центр, ближайший к  $x_k$ , относительно евклидова расстояния. Ближайший центр уточняется в соответствии с алгоритмом WTA:

$$c_i(k+1) = c_i(k) + \eta(x_k - c_i(k)),$$

где  $\eta$  – коэффициент обучения, имеющий малое значение.

В качестве значения  $\sigma_i$   $i$ -й радиальной функции применяется евклидово расстояние между  $i$ -м центром и его  $R$  ближайшими соседями по формуле:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{R} \sum_{k=1}^R \|c_i - c_k\|^2}$$

Подбор весов осуществляется в соответствии с формулами:

$$\omega_i(k+1) = \omega_i(k) - \eta \frac{\delta E}{\delta \omega_i},$$



$$\frac{\delta E}{\delta \omega_i} = (y - d)\varphi(x_k).$$

При использовании метода наискорейшего спуска уточнение центров и параметров происходит по формулам:

$$c_j(k+1) = c_j(k) - \eta \frac{dE}{dc_j},$$
$$\sigma_j(k+1) = \sigma_j(k) - \eta \frac{dE}{d\sigma_j}$$

Программная реализация радиально-базисной нейронной сети была выполнена на языке программирования Python с использованием интегрированной среды разработки IntelliJ IDEA.

На вход нейронной сети подавались изображения 28x28 пикселей с рукописными арабскими цифрами из набора MNIST. Количество примеров в обучающей выборке составило 10000 изображений, количество примеров в тестирующей выборке составило 5000 изображений.

При использовании метода наискорейшего спуска наилучшая точность распознавания примеров тестирующей выборки составила 86,46% при следующих значениях параметров нейронной сети: количество эпох – 20, коэффициент обучения – 0,3, количество нейронов в скрытом слое – 300.

При использовании алгоритма k-усреднений наилучшая точность распознавания примеров тестирующей выборки составила 91,74% при следующих значениях параметров нейронной сети: количество эпох – 20, коэффициент обучения – 0,3, количество нейронов в скрытом слое – 290.

Из результатов проведенного исследования можно сделать вывод, что радиально-базисная сеть успешно распознает рукописные арабские цифры. Точность распознавания при использовании алгоритма k-усреднений выше, чем при использовании метода наискорейшего спуска. Причем количество нейронов скрытого слоя при использовании алгоритма k-усреднений оказалось меньше.

### Литература

1. Лепский, А.Е. Математические методы распознавания образов: курс лекций [Текст] / А.Е. Лепский, А.Г. Броневиц. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 154 с.
2. Аркадьев, А.Г. Обучение машины распознаванию образов [Текст] / А.Г. Аркадьев, Э.М. Браверман. – М.: Книга по требованию, 2012. – 110 с.
3. Заенцев, И.В. Нейронные сети: основные модели [Текст]: учебное пособие к курсу «Нейронные сети» для студентов / И.В. Зайцев. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 1999. – 76 с.
4. Осовский, С. Нейронные сети для обработки информации [Текст] / С. Осовский; пер. с польск. И.Д. Рудинского, рец. И.Б. Фоминых. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.:ил.