



пени значимости, чтобы они удовлетворяли выбранному решению. В третьей ситуации, при которой не существует таких комбинаций приоритетов критериев, ЛПР предлагается проранжировать альтернативы заново.

В результате работы интерактивной информационной системы возможно перейти к строгой системе предпочтений и использовать в новых аналогичных ситуациях для принятия решений без участия ЛПР. Также появляются безграничные интерактивные возможности моделирования системы критериев при принятии решений.

### Литература

1. Лотов А.В., Поспелова И.И. Многокритериальные задачи принятия решений: Учебное пособие. – М.: МАКС Пресс, 2008. – с. 197.
2. Официальный сайт СППР «Мыслитель» [Электронный ресурс]. – Информация о программе. – Режим доступа: <http://spirit-prog.ru/>.
3. Саати Т. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – с. 167-188.
4. Сайт центра изучения и развития информационных технологий и автоматизированных систем [Электронный ресурс]. – СППР «Выбор». – Режим доступа: <http://ciritas.ru/product.php?id=10#39>.
5. Пиявский С.А. Технология ПРИНН для моделирования слабо структурированных систем // Информационные технологии в моделировании и управлении: Труды II Международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург, 2000. – с. 295-297.

Кузенная А.М.

## РАСПОЗНАВАНИЕ РУКОПИСНЫХ ЦИФР ПРИ ПОМОЩИ МНОГОСЛОЙНОГО ПЕРСЕПТРОНА

(Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет))

Цель данной работы: проектирование и реализация системы распознавания рукописных цифр на основе многослойного персептрона с одним скрытым слоем для экспериментальной оценки работы данного вида сети.

Все тесты велись с использованием базы рукописных цифр MNIST [1]. Система реализована на платформе Neuro Network Tool в среде разработки MATLAB.

Структура сети показана на рисунке 1. Входные данные поделены на две части: эталонные представления цифр и те же цифры, но с искажениями. Эталонные буквы используются для обучения нейронной сети. Вторая часть используется для тестирования и оценки эффективности сформированной нейронной сети.

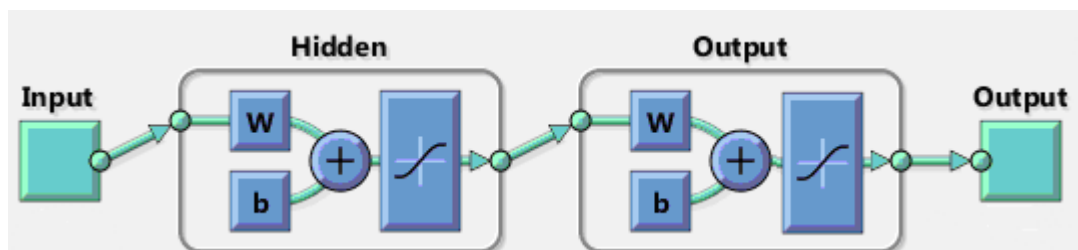


Рис. 1. Структура многослойного персептрона с одним скрытым слоем

Входной слой представляет собой вектор входных признаков изображения, который представляет собой вектор пикселей размером 28\*28. Каждый компонент входного вектора связан со всеми нейронами скрытого слоя, а все нейроны скрытого слоя связаны со всеми из выходного. В разработанной модели нейронной сети количество нейронов в скрытом слое – 10 000, а в выходном – 10 нейронов, таким образом, связь между скрытым и выходным слоями определяется 100 000 весов нейронных соединений.

Обучающие и тестовые данные представлены в виде файлов формата \*.gz. Сначала следует 60 000 эталонных изображений, а затем 10 000 тестовых. Изображения отцентрированы: цифра располагается в квадрате 20\*20, вокруг нее создана рамка шириной 8 пикселей. Программы обучения и распознавания работают с числовыми представлениями цифр. Для обработки файлов такого формата используются вспомогательные функции из раздела «mnistHelper»[2].

После обработки сигнала сетью программа выбирает выход с максимальным сигналом – номер этого нейрона и определяет ответ.

Выход каждого элемента рассчитывается по следующей формуле:

$$y_j^k = f(s_j^k),$$

где

$$f(x) = -0.5 + 1 / (1 + e^{-x}),$$
$$s_j^k = \sum_{i=1}^m x_i w_{ij}^k, j = 1, n_k,$$

m – число элементов (нейронов) в слое k – 1, принимает значения 784, 10 000, 10 поочередно для каждого слоя

$x_i$  – входные сигналы;

$n_k$  – число элементов в слое k;

$w_{kij}$  – соответствующий весовой коэффициент.

Задача обучения нейронной сети решается стохастическим методом с помощью функции случайного аргумента с распределением Коши по следующему алгоритму:

1. Параметрам нейронной сети придать случайные малые значения. Выбрать очередной вектор из обучающего множества и рассчитать фактический выход сети.

2. Вычислить ошибку на текущем шаге:

$$\varepsilon = \sum (y_i^* - y_i)^2$$

3. Скорректировать веса на небольшие малые значения. Если коррекция уменьшает ошибку, то новые веса сохранить, в противном случае оставить ста-



рые веса. Параметры, ведущие к увеличению ошибки, сохранить с вероятностью, заданной функцией распределения Коши

$$F_x(x) = \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg}\left(\frac{x-x_0}{\gamma}\right) + \frac{1}{2},$$

где

- $x_0 \in \mathbb{R}$  – параметр сдвига,
- $\gamma > 0$  – параметр масштаба.

В нашем случае параметр сдвига  $x_0 = 0$ , параметр же масштаба варьируется от 0.1 до 0.5. Для вычисления величины коррекции веса используется метод Монте-Карло:

$$x = \gamma W \operatorname{tg}(P(x))$$

выбирается случайное число из равномерного распределения на открытом интервале  $(-\pi/2, \pi/2)$  (необходимо ограничить функцию тангенса). Оно подставляется в формулу в качестве  $P()$ , и, используя текущий вес  $W$ , вычисляется величина скачка.

Приведенная процедура неоднократно повторяется для всего множества эталонных букв, образующих обучающую выборку. Процесс обучения завершается после превышения заданного порогового числа итераций.

Для тестирования были взяты следующие параметры сети: обучающая выборка – 60 000 изображений, входной слой – 784 нейрона, скрытый слой – 10 000, выходной – 10, параметр масштаба 0.5, обучение – по 500 итераций в эпохе. На рисунке 2 в качестве примера приведены изображения цифр из обучающей и тестовой выборки.

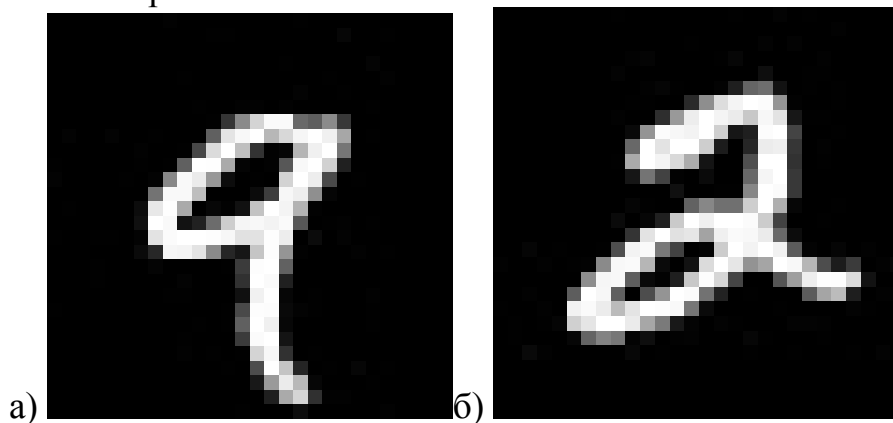


Рис. 2. а) случайная картинка из эталонной выборки;  
б) изображение из тестовой выборки

Тестирование сети проведено на 10 000 тестовых картинок, ошибка выявлена при распознавании 796 изображений. При указанных параметрах сеть неверно распознала цифры в 7,96% случаев.

Сравнивая результаты этого исследования с предыдущим, следует показать, что для маленькой выборки распознавание не стало более успешным, но для большой тестирование показало значительно более низкий процент ошибок, что показывает общность и робастность полученной нейронной сети:

Таблица 1. Зависимость процента ошибочно распознанных изображений от выбора сети и размера тестовой выборки



Выбранная сеть	Размер тестовой выборки	Результат
Многослойный персептрон, обучающийся методом обратного распространения ошибки	2 000	1,15%
	10 000	19,6%
Новый многослойный персептрон, обучающийся стохастическим методом	2 000	7,65%
	10 000	7,96%

В дальнейшем планируется изучение и применение новых алгоритмов обучения нейронных сетей, исследование зависимости ошибки от структуры сети и построение нейронных сетей более сложной структуры.

### Литература

- 1 LeCun, Y. The MNIST database of handwritten digits – <http://yann.lecun.com/exdb/mnist>.
- 2 Stanford. The MnistHelper functions – [http://ufldl.stanford.edu/wiki/index.php/Using\\_the\\_MNIST\\_Dataset](http://ufldl.stanford.edu/wiki/index.php/Using_the_MNIST_Dataset).
- 3 Осовский, С. Нейронные сети для обработки информации [Текст]/ С. Осовский.: Пер. с пол. Рудинского И.Д. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.: ил.
- 4 Солдатова О.П., Кузенная А.М. Распознавание рукописных цифр при помощи нейронной сети с одним скрытым слоем//Труды международной научно-технической конференции «Перспективные информационные технологии (ПИТ 2014)»(Самара, СГАУ, 30 июня-2 июля 2014 г.). – Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2014. – с. 161-165.

В.В. Кузьмин, Д.С. Косов, А.Л. Новиков, А.В. Иващенко

### ПОСТРОЕНИЕ ПЛАНОВ ОБСЛУЖИВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ ДИАГНОСТИКИ ОТКАЗОВ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

(ООО «ХАСКИ КОД», Самарский государственный аэрокосмический университет им акад С.П. Королева (национальный исследовательский университет))

Уровень отказов на крупных промышленных предприятиях настолько высок, что стоимость эксплуатации оборудования в течение одного года может превысить стоимость самого оборудования, что приводит к экономическим потерям и резко снижает эффективность использования. Снизить уровень отказов возможно за счет использования интеллектуальных информационных систем, позволяющих осуществить непрерывный мониторинг и контроль состояния сложных технологических объектов, их узлов и агрегатов. В данной статье рас-