

УДК 612.8: 681.5

А.И. Неврев, канд. техн. наук, доц.,  
А.Ю. Запорожец, магистр,  
Одес. нац. политехн. ун-т

## ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

*А.И. Неврев, А.Ю. Запорожец.* **Эффективный метод попереднього перетворення даних для нейронних мереж.** Розглянута проблема, коли природне подання даних не дозволяє безпосередньо використовувати методи нейронних мереж для класифікації та розпізнавання об'єктів. Запропоновано метод спектрального перетворення даних, що дозволяє ефективно використовувати нейронні мережі. Вивчено застосування методу для задачі класифікації радіотехнічних сигналів істотно різної довжини. Показана висока ефективність нейронних мереж з використанням запропонованого методу перетворення сигналів.

*Ключові слова:* нейронна мережа, спектральне перетворення, радіотехнічні сигнали.

*А.И. Неврев, А.Ю. Запорожец.* **Эффективный метод предварительного преобразования данных для нейронных сетей.** Рассмотрена проблема, когда естественное представление данных не позволяет напрямую использовать методы нейронных сетей для классификации и распознавания объектов. Предложен метод спектрального преобразования данных, позволяющий эффективно использовать нейронные сети. Изучено применение метода для задачи классификации радиотехнических сигналов существенно различной длины. Показана высокая эффективность нейронных сетей с использованием предложенного метода преобразования сигналов.

*Ключевые слова:* нейронная сеть, спектральное преобразование, радиотехнические сигналы.

*A.I. Nevrev, A.Yu. Zaporozhets.* **Effective method of converting data for neural networks.** The problem when the natural data representation can't be directly used in the neural networks is discussed. A method of spectral data conversion, allowing efficient use of neural networks is proposed. The method implementation for classification radio signals with different lengths is studied. It is shown the high efficiency of neural networks with the use of the proposed method of signal transformation.

*Keywords:* neural network, spectral data conversion, radio signals.

Системы распознавания и классификации сигналов, основанные на нейронных сетях используются для решения самых разнообразных задач в области науки, техники, экономики, компьютерных сетей и телекоммуникаций [1, 3, 4].

Обладея способностью к самообучению, нейронные сети эффективно решают задачи распознавания и классификации, в то время как альтернативные методы требуют при этом либо большего времени, либо больших вычислительных затрат на принятие решения.

Нейронные сети обучаются на классифицированных выборках-эталонах входных данных. Рабочее использование нейронных сетей подразумевает, что на их вход подается вектор исходных данных той же размерности, что и обучающие вектора. Нейронная сеть, будучи обученной на выборках-эталонах размерности  $N$ , способна проводить работу по распознаванию и классификации с векторами только той же размерности  $N$ .

В ряде случаев это может служить серьезным препятствием к использованию нейронных сетей. Примерами могут служить ситуации распознавания фрагментов речи существенно различной длины. Другой пример — распознавание изображений в поисковых системах. Здесь найденные изображения имеют различный размер, детализацию, степень сжатия и так далее.

В работе рассматривается задача распознавания радиотехнических сигналов существенно различной длины с использованием нейронных сетей.

Радиотехнические сигналы представлены двумя классами импульсных сигналов. Первый класс — это пачечные импульсные сигналы, представляющие пачку элементарных импульсов.

Структура пачки чаще всего задается кодовой последовательностью из "0" и "1", например кодом Баркера или *M*-последовательностью [5, 6]. Второй класс — это простые импульсные сигналы, представляющие периодически повторяющийся импульс.

В типичных радиолокационных и радионавигационных применениях скважность таких сигналов составляет тысячи и десятки тысяч. [2, 5, 6]. Импульс или пачка импульсов следуют друг за другом с очень большим периодом повторения. При цифровой обработке сигналов период дискретизации обычно на порядок меньше длительности элементарного импульса, и, таким образом, объем выборки для распознавания может составить порядка  $10^5 \dots 10^6$  отсчетов сигнала. Сложность и время работы нейронных сетей для таких объемов данных становится неприемлемым [3, 4].

Другая трудность заключается в переменном объеме данных. Так, если для распознавания сигнала требуется оцифровать и записать 3...5 периодов его повторения, то, при априори неизвестной скважности сигнала, объемы выборок отсчетов могут различаться в десятки и сотни раз.

Для преодоления этих обстоятельств, препятствующих эффективному использованию нейронных сетей, в работе предложен метод предварительного преобразования входных данных, позволяющий существенно сократить размерность входных векторов сигналов с сохранением в них достаточного количества информации для успешной классификации и распознавания сигнала.

В качестве такого метода предложен и исследован метод спектрального представления входных данных. Метод предварительной спектральной обработки широко используется в алгоритмах эффективного сжатия изображений, например в классическом формате JPEG. Такого рода кодирование или преобразование с потерями позволяет существенно уменьшать объем данных за счет контролируемых потерь информации в исходном изображении.

В рассматриваемой задаче распознавания радиотехнических сигналов прием и оцифровка сигналов происходит на фоне помех и шумов, которые в работе рассматриваются как воздействие белого гауссового шума различной интенсивности.

В этих условиях для спектрального преобразования сигналов необходимо использовать оценки спектральной плотности мощности сигнала (СПМ) [7, 8].

Необходимый объем отсчетов СПМ определяется предварительным анализом полного спектра обучающих образцов — эталонов сигналов в той части, где спектры простого импульсного и пачечного сигнала существенно отличаются. При этом размерность оценки СПМ редуцируется до разумно необходимой величины. Разумность определяется допустимой размерностью вектора входных данных нейронной сети и допустимым ухудшением различия СПМ для двух исследуемых классов сигналов.

Эффективность предложенного метода предварительного преобразования данных была исследована на примере работы нейронной сети, построенной для решения задачи распознавания простых и пачечных импульсных радиосигналов.

В исходной постановке, длительность импульса простого сигнала изменялась в пределах 1...15 мкс. Период повторения выбирался равным 200, 400, 800 мкс. В пачечном сигнале пачка состояла из 3...7 импульсов той же длительности и с тем же периодом повторения. Амплитуда огибающей сигнала была равна 1, к сигналу добавлялся нормальный шум интенсивностью от 0,1 до 1. Типичный вид простого и пачечного сигнала без шумов и с шумом интенсивностью 0,3 представлен на рисунках 1 и 2.

Для самого протяженного сигнала число отсчетов составило 24000, для самого короткого порядка 6000. Для таких размерностей входных данных построение, обучение и эффективная работа нейронных сетей представляет значительные трудности [1, 3, 4].

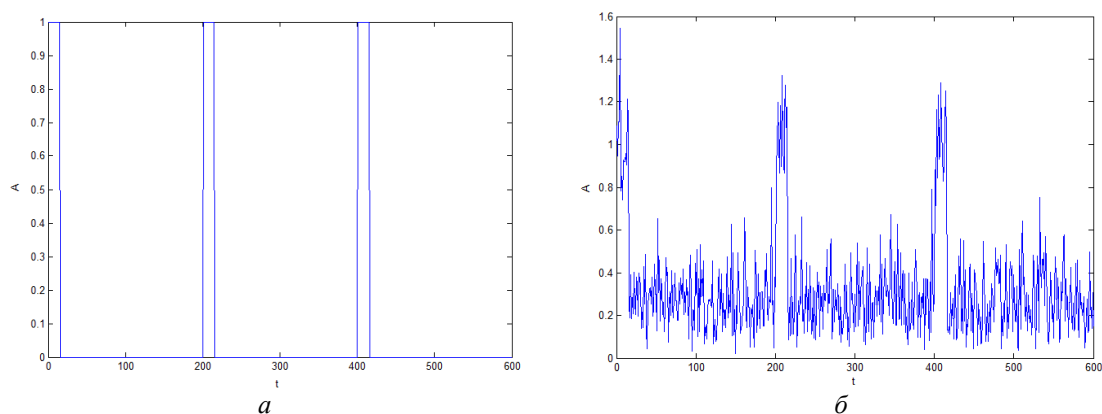


Рис. 1. Простой импульсный сигнал (длительность импульса – 15, период повторения сигнала – 200) без шума (а) и с гауссовым шумом интенсивностью 0,3 (б)

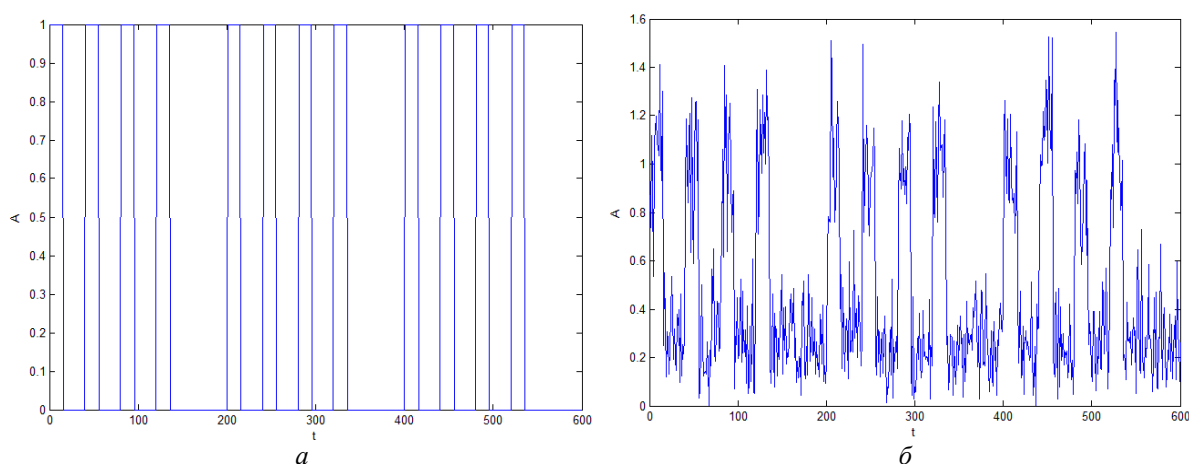


Рис. 2. Пачка импульсных сигналов (длительность импульса – 15, период импульсов в пачке – 40, период сигнала – 200) без шума (а) и с гауссовым шумом интенсивностью 0,3 (б)

Однако анализ спектральной плотности мощности этих сигналов показал, что такая размерность входных данных является излишней. Для сокращения размерности входного вектора использовалась оценка СПМ по периодограммному методу Уэлча [9]. Анализ полученных оценок СПМ для двух рассматриваемых классов сигналов показал, что для адекватного представления спектра достаточно всего 64 отсчета спектральной оценки. В дополнение к существенному уменьшению размерности такой объем сегмента данных в оценке Уэлча позволяет произвести эффективную оценку СПМ за счет большего числа сегментов входного сигнала, участвующих в усреднении результата оценки. При этом, согласно [5, 6], происходит суммарное увеличение отношения сигнал/шум в отсчетах СПМ в  $\sqrt{M}$  раз, где  $M$  — число сегментов сигнала, участвующих в формировании оценки СПМ.

Внешний вид СПМ для сигналов, показанных выше, для размерности вектора СПМ  $N=64$  представлены на рис. 3. Явное различие в спектрах представленных сигналов позволяет прогнозировать эффективную работу нейронных сетей, построенных для их классификации.

Оценка эффективности предложенного метода предварительного преобразования данных проводилась на примере работы нейронных сетей трех типов. Первой была рассмотрена классическая двухслойная сеть прямого распространения [3, 4, 8]. Второй была рассмотрена сеть вероятностного типа PNN, структура и построение которой обеспечивают наибольшую скорость обучения [8]. Третья сеть — двунаправленного типа с кластеризацией обучающих

векторов типа LVQ, особенностью которой является большое время обучения [8]. Каждая из рассмотренных сетей обладает своими преимуществами и недостатками, рассмотрение которых не является предметом данной работы.

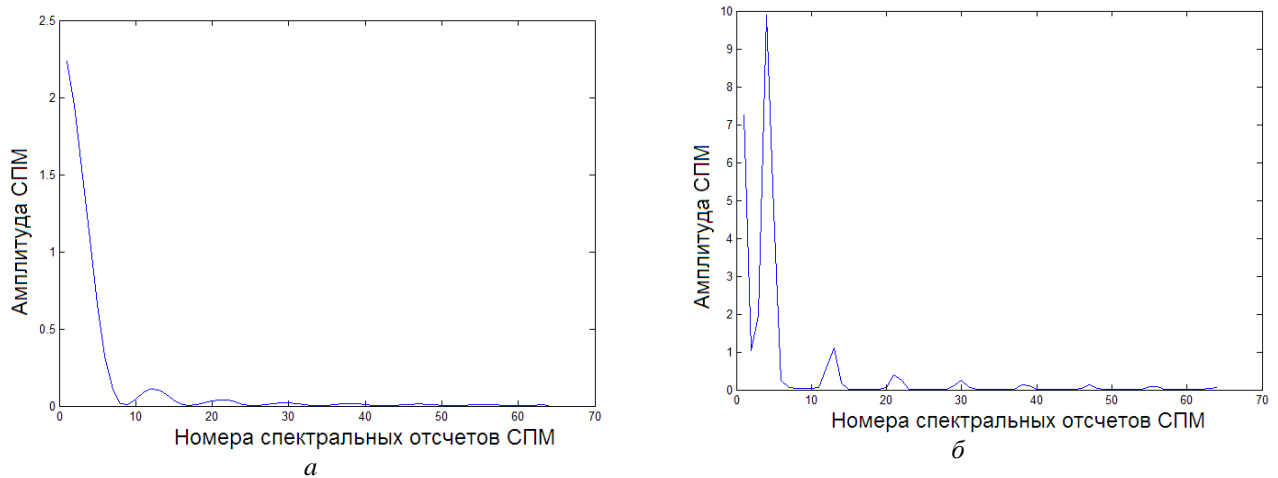


Рис. 3. Оценка СПМ с помощью метода Уэлча для простого импульсного сигнала (а) и пачечного импульсного сигнала (б)

Построенные сети обучались по представительским выборкам из 30-ти радиотехнических сигналов первого и второго типа.

Качество работы нейронных сетей оценивалось по проценту правильной классификации предъявляемых сигналов в зависимости от СКО гауссового шума, добавляемого к входным выборкам сигнала. График качества классификации для НС первого типа приведена на рис. 4.

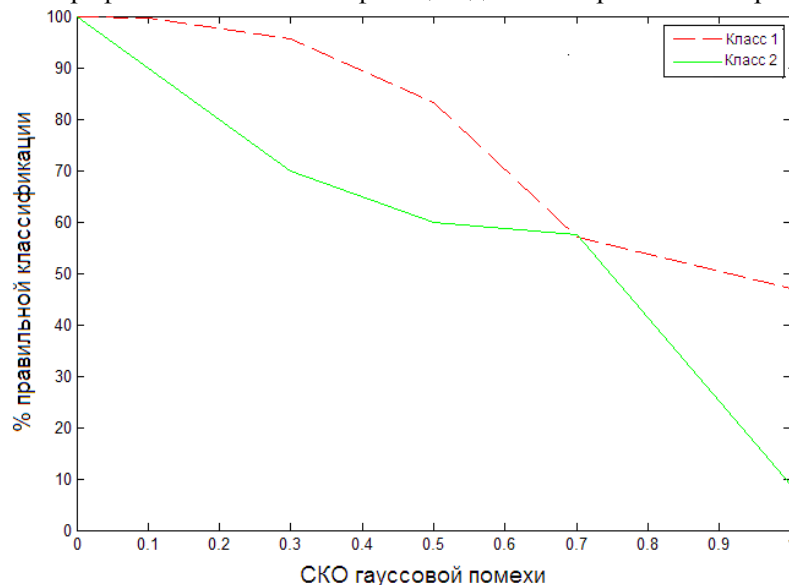


Рис. 4. График оценки достоверности классификации для двухслойной нейронной сети

При этом видно, что пачка импульсов (класс 1) классифицируется лучше, чем простой импульсный сигнал (класс 2).

На рис. 5 показан график качества классификации НС второго типа (вероятностная нейронная сеть).

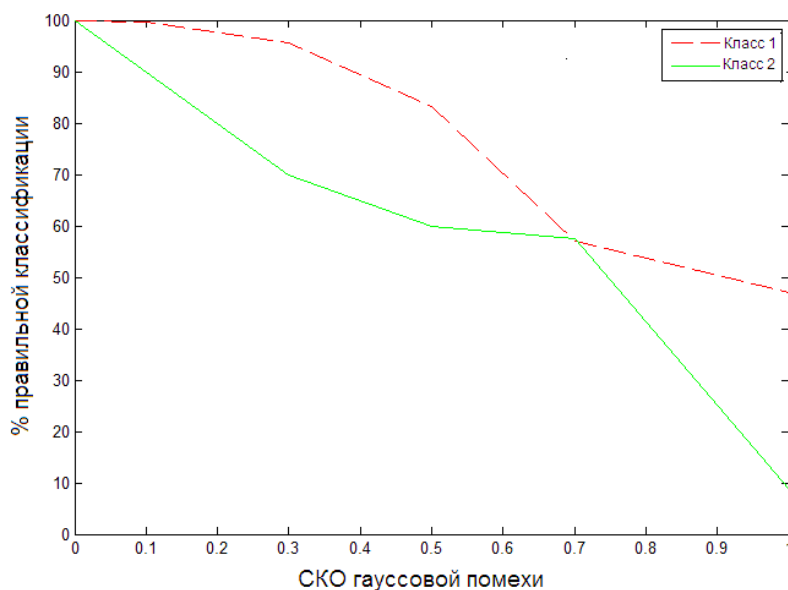


Рис. 5. График оценки достоверности классификации для вероятностной нейронной сети

По сравнению с НС классического типа пачка импульсов классифицируется лучше, чем простой импульсный сигнал до значения SKO помехи 0,7.

Качество классификации сигналов для НС третьего типа LVQ представлено на рис. 6.

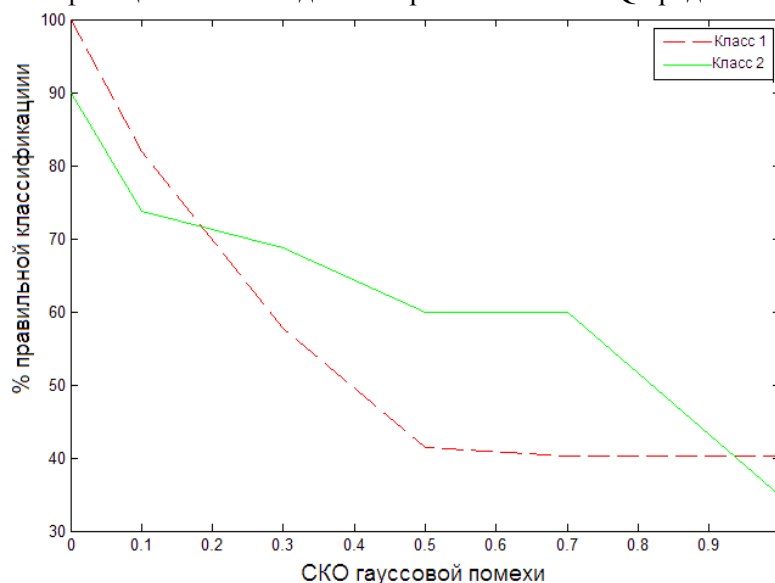


Рис. 6. График оценки достоверности классификации для LVQ-сети

В отличие от двух предыдущих НС, сеть LVQ лучше классифицирует простые импульсные сигналы при больших уровнях помехи.

Представленные результаты моделирования типовых нейронных сетей различного типа для решения задачи классификации и распознавания радиотехнических сигналов показали достаточно высокую эффективность метода предварительного спектрального преобразования сигналов.

Предложенный метод вместе с существенным сокращением размерности решаемой задачи показал высокое качество классификации сигналов в нейронных сетях и может быть

рекомендован в качестве универсального метода сокращения размерности решаемых задач при сохранении высокой достоверности качества классификации и распознавания сигналов.

### Литература

1. Павлов, С.В. Пошаговое выделение классов и классификационных формул инфокоммуникационных услуг / С.В. Павлов // Научный сборник ДонНТУ. — 2009. — № 147. — С. 68 — 71.
2. Зырянов, Ю.Т. Основы радиотехнических систем / Ю.Т. Зырянов, О.А. Белоусов, П.А. Федюнин. — Т.: ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. — 144 с.
3. Минский, М. Перцептроны / М. Минский, С. Пейперт. — М.: Мир, 1971. — 262 с.
4. Применение нейронных сетей для задач классификации [Электронный ресурс] / BaseGroup Labs — статья. Режим доступа: <http://www.basegroup.ru/library/analysis/neural/classification>. — 01.12.12.
5. Сколник, М. Справочник по радиолокации / М. Сколник. — М.: Сов. радио, 1976. — 78 с.
6. Трухачев, А.А. Радиолокационные сигналы и их применение / А.А. Трухачев. — М.: Воениздат, 2005. — 320 с.
7. Марпл, С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения / С.Л. Марпл. — М.: Мир, 1990. — 265 с.
8. Потёмкин, В.Г. Нейронные сети. MATLAB 6 / В.Г. Потёмкин, В.С. Медведев. — М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. — 496 с.

### References

1. Pavlov, S.V. Poshagovoe vyidelenie klassov i klassifikatsionnyih formul infokommunikatsionnyih uslug [Step-by-step selection of classes and classification formulas infocommunication services] / S.V. Pavlov // Naukovyj zbirnyk DonNTU [Scientific articles of DonNTU]. — 2009. — # 147. — pp. 68 — 71.
2. Zyryanov, Yu.T. Osnovy radiotekhnicheskikh sistem [Fundamentals of Radio Systems] / Yu.T. Zyryanov O.A. Belousov, P.A. Fedyunin. — Tambov, 2011. — 144 p.
3. Minsky, M. Perseptrony [Perceptrons] / M. Minsky, S. Papert. — Moscow, 1971. — 262 p.
4. Primenenie neyronnyih setey dlya zadach klassifikatsii [Application of neural networks for classification tasks] [Electronic resource] / BaseGroup Labs — article. Access: <http://www.basegroup.ru/library/analysis/neural/classification>. — 01.12.12.
5. Skolnick, M. Spravochnik po radiolokatsii [Handbook of radar] / M. Skolnick. — Moscow, 1976. — 78 p.
6. Trukhachev, A.A. Radiolokatsionnyie signaly i ih primeneniye [Radar signals and their application] / A.A. Trukhachev. — Moscow, 2005. — 320 p.
7. Marple, S.L. Tsifrovoy spektralnyiy analiz i ego prilozheniya [Digital Spectral Analysis and its Applications] / S.L. Marple. — Moscow, 1990. — 265 p.
8. Potemkin, V.G. Neyronnyie seti. MATLAB 6 [Neural networks. MATLAB 6] / V.G. Potemkin, V.S. Medvedev. — Moscow, 2002. — 496 p.

Рецензент канд. техн. наук, доц. Одес. нац. политехн. ун-та Болтёнков В.А.

Поступила в редакцию 24 декабря 2012 г.