

РАСПОЗНАВАНИЕ ТИПА МОДУЛЯЦИИ ЦИФРОВЫХ РАДИОСИГНАЛОВ НЕЙРОННЫМИ СЕТЯМИ С ФИКСИРОВАННОЙ СТРУКТУРОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ NEURAL NETWORK TOOLBOX СИСТЕМЫ MATLAB

Пантелеев С.В., Сорокин А.В.

Муромский институт Владимирского государственного университета
602245, г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, 23
тел. (092-34)3-73-04, e-mail: vf@mivlgu.ru

Аннотация. В данной работе показана принципиальная возможность построения нейросетевой системы распознавания типа модуляции цифровых радиосигналов на примере выделения реальных сигналов с модуляцией QAM256.

1. Постановка задачи.

Требуется распознать сигнал с типом модуляции QAM256 от других. Принимается, что сигнал может быть промодулирован одним из трех типов модуляции: FM4, QAM16 и QAM256. Сигнал представляет из себя набор отсчетов мнимой и действительной части с частотой дискретизации 74 МГц (рисунок 1).

Представим нейросетевую постановку задачи.

Входной сигнал нейронной сети – это вектор значений отсчетов действительной и мнимой части сигнала длиной 32, т.е. вектор $\bar{X} = [S_1^{\text{Re}}, S_2^{\text{Re}}, \dots, S_i^{\text{Re}}, \dots, S_{32}^{\text{Re}}, S_1^{\text{Im}}, S_2^{\text{Im}}, \dots, S_i^{\text{Im}}, \dots, S_{32}^{\text{Im}}]^T$ размерностью 64 (рис. 1).

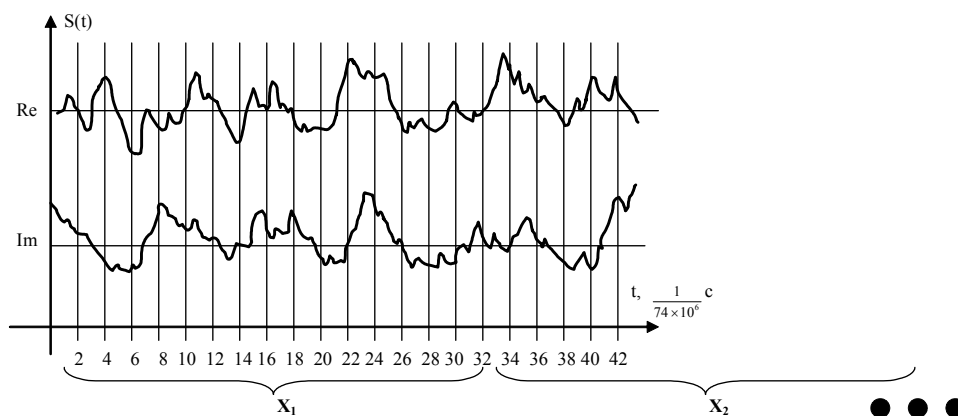


Рис. 1. Формирование обучающей выборки входного сигнала нейронной сети.

Вектора \bar{X}_i формируются с помощью непересекающихся отрезков двумерного сигнала. Возможно формирование этих отрезков через 1 такт дискретизации.

В дальнейшем (в случае плохого качества распознавания) размерность входного вектора можно увеличить.

Выходной сигнал нейронной сети для случая распознавания только модуляции QAM256 от других типов скаляр y , показывающий, имеет ли данный сигнал модуляцию QAM256 или нет.

Желаемый выходной сигнал нейронной сети – это скаляр \hat{y} (соответствующий выходному сигналу нейронной сети), единичные значения которого указывают, что данный сигнал имеет модуляцию QAM256.

Структуры нейронных сетей предполагается использовать только полносвязные двухслойные прямого распространения, варьируемым параметром в которых будет число нейронов в первом слое. В дальнейшем возможен переход к трехслойным и четырехслойным сетям.

В качестве функции активации в обоих слоях нейронной сети примем арктангенс.

Сигнал ошибки решения нейронной сети определяется в данном случае как разность между желаемым и действительным выходным сигналом нейронной сети в дискретный момент времени в пределах одной эпохи.

Функционалом оптимизации данной сети будет функция сигнала ошибки сети, минимум которого необходимо найти. В качестве такого функционала будем использовать минимум функции суммы квадратов ошибок (SSE), которая будет соответствовать оценке максимальной вероятности правильного распознавания типа модуляции сигнала. В будущем возможно при желании возможен ввод в функционал оптимизации таких понятий как априорная вероятность появления классов и матрицы потерь при отнесении одного класса к другому.

Метод поиска экстремума функционала оптимизации будет также выбран в процессе предварительных исследований и на данном этапе исследований из набора таких функционалов, реализованных в Neural Network Toolbox [1].

2. Эксперимент.

В эксперименте нейронная сеть обучалась определению сигнала с модуляцией QAM256 как на идеальных сигналах, так и на зашумленных сигналах. Для обучения использовались двухслойные сети прямого распространения с 64 и 128 нейронами в первом слое и 1 нейроном во втором в течении 1000 эпох обучения. Обучение сети с 256 нейронами в первом слое не проводилось по причине ограниченности объема памяти на ЭВМ, на которой производился эксперимент. Результаты для разных опытов с различными начальными условиями показаны в таблице 1.

Таблица 1.

| Число нейронов в 1 слое | Опыт | | | | | | | | | |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 64 | 54,5533 | 71,9822 | 63,8233 | 75,6489 | 59,7856 | 60,5633 | 70,8822 | 71,1444 | 76,9411 | 61,5244 |
| 128 | 54,1544 | 60,7278 | 55,6778 | 52,8289 | 74,0511 | 71,8078 | 60,2333 | 90,4733 | 56,0322 | 81,94 |

Далее наиболее лучший полученных выше случаев дообучался в течении некоторого количества эпох обучения и по полученной в результате сети проверялась вероятность правильного определения того, что данный сигнал имеет модуляцию QAM256. Оценка вероятности правильной классификации определялась по 10000 предъявляемых сети сигналов для каждого случая. Результаты показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Вероятность того, что данный сигнал имеет модуляцию QAM256

| Тип модуляции | Сигнал | Вероятность, % |
|---------------|--------------------------|----------------|
| | Отношение сигнал/шум, дБ | |
| FM4 | идеальное | 2,43 |
| | 13 | 0 |
| | 6 | 0 |
| QAM16 | идеальное | 0 |
| | 21 | 0 |
| | 18 | 0 |
| QAM256 | идеальное | 100 |
| | 36 | 100 |
| | 33 | 100 |

Как видно из таблицы 2 обученная нейронная сеть не пропустила ни одного сигнала с модуляцией QAM256, однако есть несколько ложных срабатываний. Этого можно избежать, увеличив количество нейронов в первом слое или переходом к трехслойной сети, но на данном этапе исследований ограничения по объему памяти не позволили этого сделать.

3. Выводы.

3.1. В данной работе исследовалась возможность нейронных сетей с фиксированной структурой распознавать тип модуляции радиосигналов. Основной упор делался на модуляцию QAM256, как наиболее сложно распознаваемую. Как видно из результатов нейронные сети способны довольно эффективно решать данную задачу. Полученный результат значительно лучше, чем любой из результатов, полученный в работах [2-4]. При этом при синтезе нейросетевых алгоритмов распознавания типа модуляции радиосигналов нет необходимости рассматривать характеристики шумов и их статистической связи с полезным сигналом, так как нейронная сеть является существенно нелинейной адаптивной системой и настраивается оптимально применительно к любым характеристикам шумов.

3.2. Выбранный здесь подход в распознавании К-го типа модуляции от всех прочих (К-1) по видимому наиболее целесообразен, так как при появлении новых типов модуляции сигналов для их распознавания легче построить новую К+1 нейронную сеть, чем переобучать уже существующую, предназначенную для распознавания К типов модуляции.

4. Литература.

1. **Медведев В.С., Потемкин В.Г.** Нейронные сети. MATLAB 6. / Под общ. ред. В.Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496 с.
2. **Drumright T.A., Ding Z.** (Dept. Of Electrical and Computer Engineering, Univ. Of California Davis, USA). A new algorithm for QAM signal classification in AWGN channels. // *IEEE International Symposium on Circuits and Systems ISCAS'02*, 2002.
3. **Taira S.** (Technical Research and Development Institute, Japan Defense Agency, Japan). Automatic classification of QAM signals by neural networks. // *International Conference on Acoustics, Speech & Signal Processing ICASSP'01*, 2001.
4. **Lesage S., Tournet J.-Y.** (ENSEEIH/TeSA, France), **Djuric P.M.** (Dept. Of Electrical and Computer Engineering, SUNY at Stony Brook, NY, USA). Classification of digital modulation by MCMC sampling. // *International Conference on Acoustics, Speech & Signal Processing ICASSP'01*, 2001.
5. **Azzouz E.E., Nandi K.K.** Automatic identification of digital modulation types. // *Signal Processing*, 47, 1995.

6. **Sills J.A.** Maximum-likelihood modulation classification for PSK/QAM. // *MILCOM'99*, 1999.
7. **Yang Y., Liu C.-H., Soong T.-W.** A log-likelihood function-based algorithm for QAM signal classification. // *Signal Processing*, 70, 1998.
8. **Taira S.** (Technical Research and Development Institute, Japan Defense Agency, Japan). Automatic classification of QAM signals in fading channel. // *VTC2000-Spring*, 2000.
9. **Грачев Л.В., Симоров С.Н.** Распознавание радиосигналов с помощью нейрокомпьютера, реализующего нейросетевую парадигму со случайными порогами. // *Нейрокомпьютер*, №3-4, 1998.
10. **Кузнецов А.В.** (Институт криптографии, связи и информатики). Применение нейросети для выделения полезного сигнала в канале связи на фоне помех. // *Материалы VI Всероссийской конференции «Нейрокомпьютеры и их применение»*, М: ИПРЖР, 2000.
11. **Карелов И.Н., Манойлов Д.В.** (Военный инженерно-космический университет имени А.Ф. Можайского). Нейросетевой метод определения вида модуляции несущей сигнала. // *Материалы VI Всероссийской конференции «Нейрокомпьютеры и их применение»*, М: ИПРЖР, 2000.

