

УДК 621.376

НЕЙРОСЕТЕВОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННОГО СИГНАЛА ПО ФАЗОВОЙ ЛИНИИ

© 2007 г.

О.А. Морозов, П.Е. Овчинников, Ю.А. Семин

Научно-исследовательский физико-технический институт
Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского

ope@nifti.unn.ru

Поступила в редакцию 9.04.2007

Представлен метод детектирования фазоманипулированного сигнала по его фазовой линии, основанный на применении многослойного персептрона. Представлены результаты компьютерного моделирования применения данного метода при различных параметрах сигнала: соотношениях сигнал/шум, несущих частотах.

Введение

Способность искусственных нейронных сетей (ИНС) обучаться на экспериментальном материале и обобщать полученную информацию позволяет строить алгоритмы обработки сигналов различной природы. В данной работе рассматривается применение ИНС для обработки радиосигналов. Движение источников и приёмников радиосигналов, изменение состояния атмосферы и прочие факторы, меняющие параметры принимаемого сигнала, требуют от алгоритма обработки адаптивности. Алгоритм, основанный на применении ИНС, может подстраиваться к относительно медленно изменяющимся условиям за счет дообучения. Рассматриваемые в работе фазоманипулированные (ФМ) сигналы широко распространены в системах связи благодаря высокой помехоустойчивости. Однако процедура их детектирования при ухудшении качества сигнала становится трудно формализуемой, особенно в случае использования многопозиционной фазовой манипуляции. Использование ИНС позволяет заменить формальный алгоритм обучением на примерах реального сигнала.

Метод детектирования ФМ-сигнала при помощи многослойного персептрона

Для использования нейронной сети задача детектирования ФМ-сигнала может быть сформулирована как задача распознавания моментов изменения фазы. Существует ряд структур нейронных сетей; для задач распознавания, состоящих в классификации с заранее определенным набором классов, удобен многослойный персептрон [1]. Он представляет собой обучаемый конечный автомат,

позволяющий аппроксимировать нелинейное отображение. Известно, что если персептрон асимптотически обучается как 1-из-N классификатор с использованием критерия среднеквадратичного отклонения, то его выходы аппроксимируют апостериорные вероятности отнесения к классам [2].

При использовании персептрона в качестве классификатора может быть построена следующая схема детектирования (рис.1). Дискретизованный ФМ-сигнал может быть описан как:

$$s(n) = A_0 \sin(2\pi nT(f_0 + \Omega(nT)) + \Phi(nT)) + g(nT),$$

где n – номер отсчета, T – период дискретизации, A_0 – амплитуда, f_0 – несущая частота, $\Omega(nT)$ – изменение частоты, вызванное различными факторами, в том числе эффектом Доплера, $g(nT)$ – шум,

$\Phi(nT) = \frac{2p}{M} i$ – изменение фазы, обусловленное манипуляцией, здесь M – размер алфавита (число позиций манипуляции), i – передаваемый символ (принимает значения от 0 до $M - 1$).

Набор отсчетов текущей фазы (для краткости назовём его фазовой линией) может быть получен различными способами [3]. В данной работе фазовая линия выделяется посредством квадратурной демодуляции, состоящей в выделении синфазной (I) и квадратурной (Q) компонент. IQ компоненты выделяются из модулированного сигнала цифровым приемником. Далее на вход персептрона подается набор значений фазы, вычисленных по IQ компонентам:

$$j(m) = \arctg \frac{Q(m)}{I(m)} + \begin{cases} 0, & I(m) \geq 0; \\ p, & I(m) < 0, \end{cases} \quad (1)$$

где m – номер отсчета.

По выходу персептрона определяется тип скачка фазы на данном участке сигнала. Число выходов персептрона равно числу возможных

восстанавливаются биты передаваемой информации.

Для проведения численных экспериментов в работе использовалась программная реализация многослойного персептрона. В качестве процедуры обучения применен алгоритм обратного распространения ошибки. Для

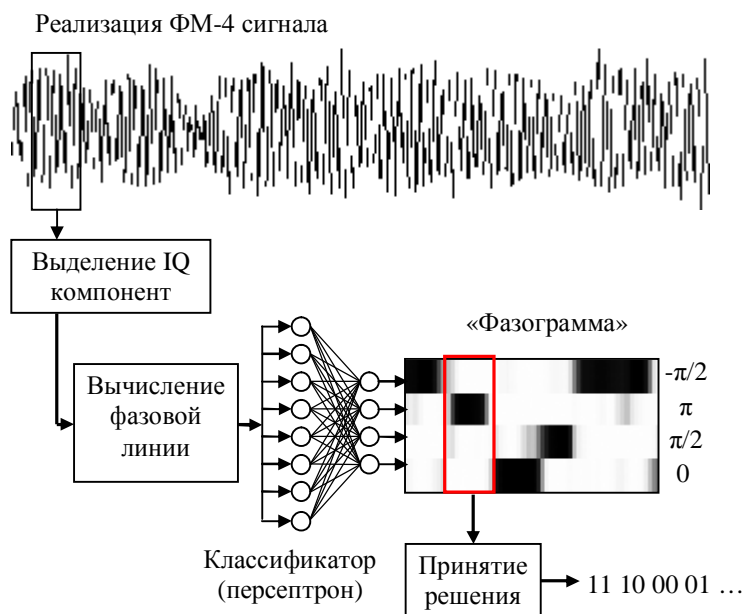


Рис. 1. Схема детектирования ФМ-4 сигнала с использованием персептрона

изменений фазы, в частности для ФМ-4 сигнала оно равно четырем. При скольжении входом персептрона по синусоидальному сигналу на его выходе формируются сигналы, отражающие вероятности скачкообразных изменений фазы в зависимости от времени. Будем называть совокупность этих сигналов фазограммой. Пример фазограммы представлен на рис. 1. На фазограмме значения на выходах персептрона показаны цветом: белый – 0, чёрный – 1. Для уменьшения влияния шумов каждый из сигналов фазограммы сглаживается по времени при помощи свертки с прямоугольным окном. После сглаживания фазограмма дискретизируется с частотой равной частоте манипуляций. При наличии значительного эффекта Доплера при дискретизации необходимо учитывать изменение временных интервалов бит, например, возможно применение схем слежения за задержкой, однако это не является предметом рассмотрения данной статьи. Результатом дискретизации является набор векторов, где каждый вектор соответствует одной манипуляции. Тип данной манипуляции, т.е. величина скачкообразного изменения фазы, определяется по наибольшему значению в соответствующем векторе, таким образом

обучения персептрона в задачах распознавания требуется набор пар «вход-выход», поэтому обучающая выборка формировалась из специально сгенерированных сигналов. Поскольку детектирование должно осуществляться в условиях аддитивных шумов и возможного отклонения несущей частоты от априорно известного значения, то в выборку для обучения были включены фрагменты зашумленных сигналов и сигналов с несущей частотой, отличающейся от базовой.

Компьютерное моделирование

В работе проводилось детектирование ФМ-4 сигнала (возможные изменения фазы: $0, \pi/2, \pi, -\pi/2$). Параметры сигнала: спектральная полоса – 40 кГц, частота манипуляций – 16000 бит/с, частота дискретизации фазовой линии – 192 кГц. На вход персептрона одновременно подавались 12 отсчетов фазы вычисленных по формуле (3), что соответствует отрезку сигнала, содержащему один период манипуляции. После каждого сдвига по времени на один отсчет производилась новая подстановка и вычисления, связанные с обработкой сигнала нейронной сетью. Таким образом достигалась

максимальная детализация фазограммы по времени, а именно 12 выходных векторов персептрона на один период манипуляции.

Для большинства практических задач существует проблема точного определения размеров персептрона, т.е. числа слоев и количества нейронов в каждом слое [4]. В данной работе размер персептрона был определен опытным путём. Экспериментально было установлено, что для данной задачи наиболее подходящим является двухслойный

персептрон со следующими параметрами: число нейронов в выходном слое – 4 (по числу классов), 16 нейронов в скрытом слое, 12 входов, сигмовидные функции активации для всех нейронов.

Для определения чувствительности построенной системы к шуму перед детектированием на сигнал налагался аддитивный шум в той же спектральной полосе, что и сигнал.

Для определения чувствительности построенной системы к изменению несущей

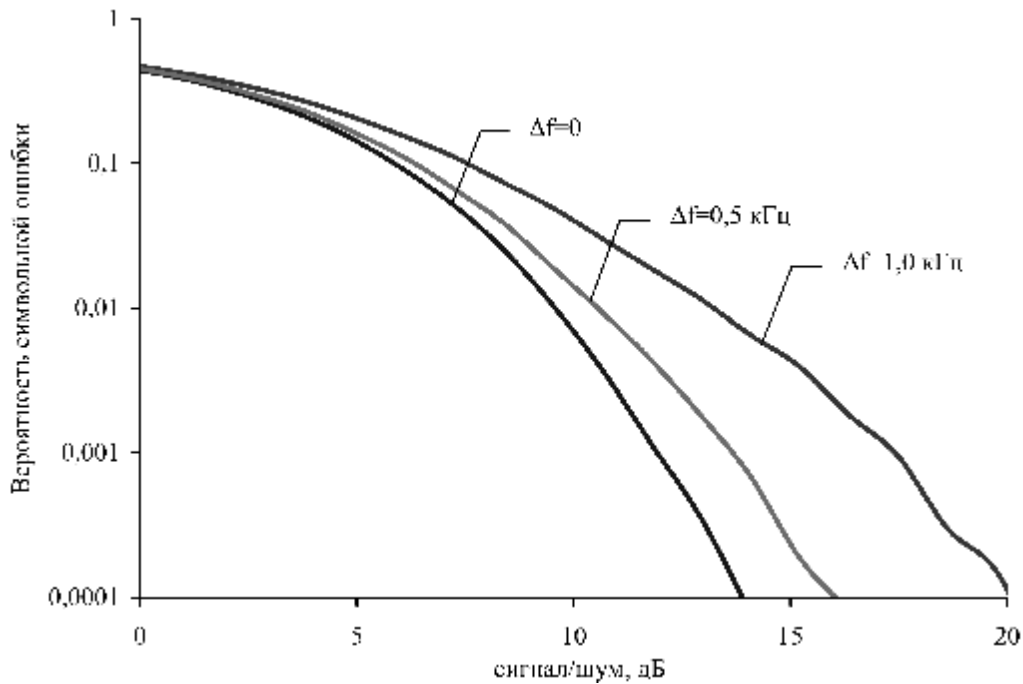


Рис. 2. Зависимость вероятности ошибки от соотношения сигнал/шум

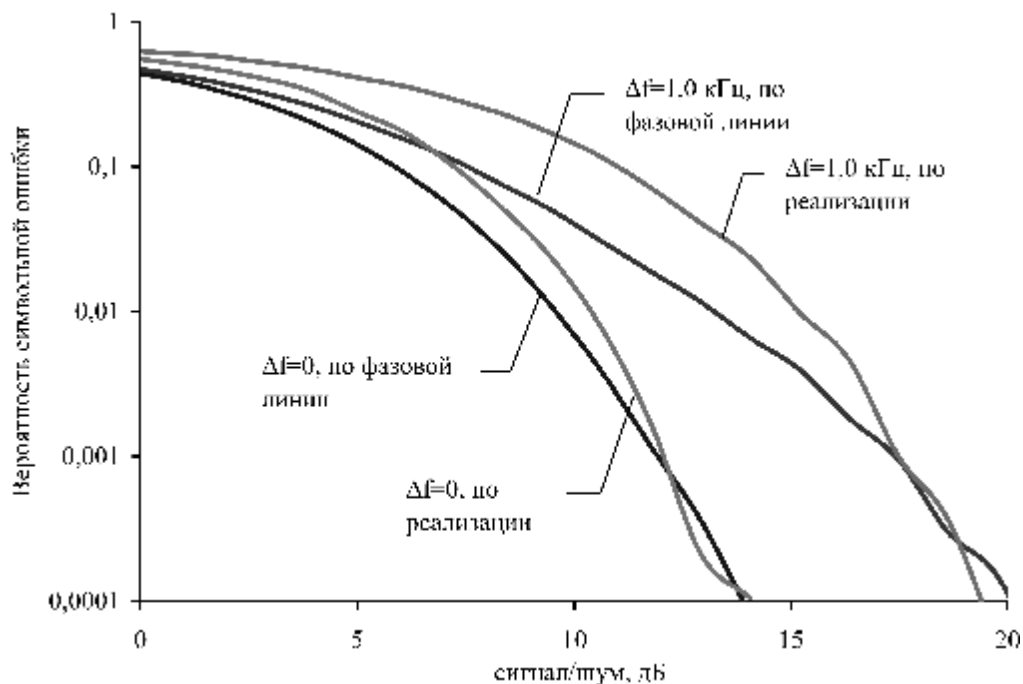


Рис. 3. Зависимости вероятности ошибки от соотношения сигнал/шум для двух методов детектирования

частоты были произведены испытания при несущих частотах, отличающихся от базовой. Результаты статистических испытаний предложенного метода детектирования представлены на рис. 2. На рисунке показаны графики зависимости вероятности ошибки от соотношения сигнал/шум для тестовых сигналов с различными несущими частотами. Для наглядности на рис. 2 представлены графики для сигналов с несущей частотой, превышающей заданную, в случае отрицательного отклонения частоты графики аналогичные.

На рис. 3 приведены зависимости вероятности ошибки для рассматриваемого метода детектирования и для метода нейросетевого детектирования без выделения фазовой линии [5]. Видно, что выделение фазовой линии позволяет уменьшить вероятность символьной ошибки и повышает устойчивость алгоритма к изменению несущей частоты сигнала по сравнению с нейросетевым детектированием непосредственно по отсчетам модулированного сигнала.

Заключение

Представлен метод детектирования фазоманипулированных сигналов с применением нейронной сети. Проведено компьютерное

моделирование для сигналов ФМ-4. Полученные результаты сопоставлены с результатами применения другого нейросетевого метода детектирования.

Проведенное компьютерное моделирование показало, что использование фазовой линии в качестве входных данных нейронной сети позволяет повысить устойчивость нейросетевого метода при высоких уровнях шума (отношение сигнал/шум меньше 12 дБ).

Список литературы

1. Lippmann, R.P. // IEEE ASSP Magazine. April / R.P. Lippmann. – 1987. – V. 4. – P. 4–22.
2. Hampshire, J. / J. Hampshire, B. Pearlmutter. Equivalence Proofs for Multi-Layer Perceptron Classifiers and the Bayesian Discriminant Function. Proc. of the 1990 Connectionist Models Summer School, Morgan Kaufmann Publishers.
3. Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
4. Gupta, M.M. Static and Dynamic Neural Networks / M.M. Gupta, L. Jin, N. Homma. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2003. – 722 p.
5. Морозов, О.А. // Вестник ННГУ. Радиофизика / О.А. Морозов, П.Е. Овчинников, Ю.А. Семин. – 2005. – Вып. 1(3).

NEURAL-NETWORK DETECTING OF PSK SIGNAL BY ITS PHASE LINE

O.A. Morozov, P.E. Ovchinnikov, Yu.A. Semin

A method for detecting a PSK signal by its phase line based on the application of a multilayered perceptron is presented. Results of computer modeling of application of the method are given for various signal parameters, namely signal-to-noise ratios and carrier frequencies.