

С. В. Молчанов, А. И. Захаров

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ С ЦЕЛЬЮ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОСИГНАЛА

Рассмотрена возможность применения искусственных нейронных сетей с целью прогнозирования потерь при распространении электромагнитных волн, определения статистических параметров: стандартное отклонение уровня сигнала, вероятность покрытия площади и превышения порогового уровня. Созданы нейронные сети для прогнозирования таких параметров. Оценена их точность.

Possibility of artificial neural networks application in purpose of propagation loss prediction and defining of statistics parameters: standard deviation of signal level, probability of area coverage and probability of exceeding of threshold is examined. Neural networks were created for prediction of these parameters. Performed accuracy is estimated.

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, оценка параметров, модели распространения радиоволн.

Key words: artificial neural network, features estimation, radio wave propagation models.

Поиск наилучшего возможного решения задачи прогнозирования потерь при распространении электромагнитных волн, расчета бюджета радиоканала и дальности связи актуален для развития сетей мобильной



радиосвязи. К факторам, влияющим на распространение сигнала, относятся: потери сигнала в свободном пространстве, отражения и эффект многолучевого распространения, дифракция или эффект затенения, проникновение сигнала внутрь помещений и автомобилей, распространение сигнала над водой и через растительность, интерференция. Для расчета потерь радиосигнала при его распространении в мобильных средствах связи используются полуэмпирические модели, наиболее известными из которых выступают модели Окамура-Хата, COST231-Hata, Уолфиша-Икегами, Кся-Бертони, Альсбрука и Парсона [1].

При прогнозировании потерь при распространении радиоволн пользуются также статистическими методами, согласно которым изменение уровня принятого сигнала можно классифицировать в зависимости от движения мобильной станции относительно базовой станции [2]. Проблемы прогнозирования во многих областях успешно решаются с применением искусственных нейронных сетей. Например, для прогнозирования стоимости валюты, в промышленном производстве, для определения цены продукта [3].

Цель данной работы — использовать преимущества нейросетевого метода для выполнения задачи проектирования и моделирования сети мобильной связи. Существует множество разновидностей нейронных сетей, которые можно классифицировать по различным признакам: многослойности, наличию задержки, обратной связи, самоорганизуемости и т. д. Различные виды нейронных сетей используются для решения различных задач: нейронные сети с временной задержкой используются для решения задачи восстановления формы временной функции, например формы сигнала, самоорганизующиеся нейронные сети применяются для решения задачи разделения данных по классам. Для целей прогнозирования более всего подходит нейронная сеть с прямым распространением сигнала (feed forward network), которая представляет собой многослойную нейронную сеть без обратных связей и задержек и способна установить функциональную связь между исходными и прогнозируемыми данными [4]. В общем виде нейронная сеть с прямым распространением сигнала представлена на рисунке 1, где во входном, скрытом и выходном слоях N , M и K нейронов соответственно, IW (Input Weight) — веса для сигнала из входного слоя, LW (Layer Weight) — веса для сигнала из скрытого слоя, V — весовой коэффициент для единичного сигнала, с помощью изменения которого можно регулировать работу нейрона с поступающими сигналами, а X и Y — входной и выходной векторы.

Данная нейронная сеть может точно воспроизводить функции с конечным числом точек разрыва, если задать достаточное количество нейронов скрытого слоя.

С целью обучения нейронной сети созданы обучающие выборки на основе перечисленных моделей. Для выбора оптимальной конфигурации нейронной сети были протестированы нейронные сети с прямым распространением сигнала с различным количеством скрытых слоев и нейронов в них. Выбрана оптимальная трехслойная нейронная сеть с 9 нейронами в первом слое, 8 нейронами во втором и 1 нейроном в тре-



твом, которая вносит минимальную ошибку в определение прогнозируемых параметров. Ошибка обучения нейронной сети – основной параметр оценки качества ее работы, представляющий собой разность целевого значения (target) и выходного значения (output).

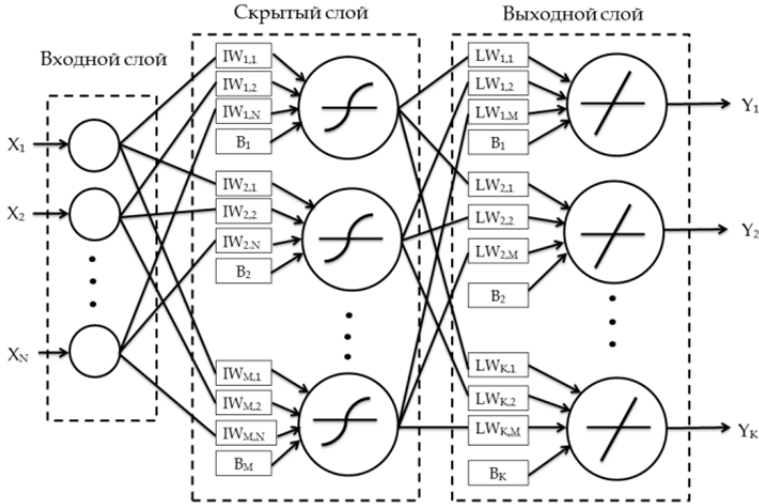


Рис. 1. Нейронная сеть с прямым распространением сигнала

Для каждого элемента тестирующей выборки рассчитано свое значение ошибки. По полученной выборке ошибок проведено исследование работы нейронной сети: построены графики плотности вероятности, подобрана функция распределения плотности вероятности, подходящая для полученных выборок (рис. 2), оценены параметры подобранных функций распределения.

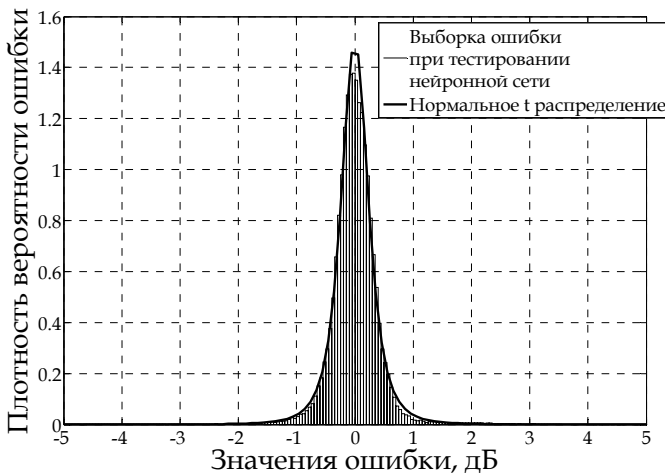


Рис. 2. Статистическая оценка ошибки прогнозирования нейронной сети при работе с моделью Окамура-Хата



В качестве функции распределения выбрано распределение t location-scale, похожее на распределение Стьюдента и имеющее вид

$$f(x) = \frac{\Gamma\left(\frac{\nu+1}{2}\right)}{\sigma\sqrt{\nu\pi}\Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right)} \left[\frac{\nu + \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}{\nu} \right]^{-\left(\frac{\nu+1}{2}\right)},$$

где μ – параметр расположения (математическое ожидание), σ – параметр масштаба, ν – параметр формы (степень свободы). Если переменная x имеет функцию распределения t location-scale с параметрами μ , σ и ν , тогда переменная $(x - \mu) / \sigma$ имеет функцию распределения Стьюдента со степенью свободы ν .

Оценена точность аппроксимации распределения ошибки подобранным распределением. Параметры оценки и их значения сведены в таблицу.

Оценка параметров функций распределения

Модель	Параметр	Значение
Альсбрука-Парсона	μ	-0,039315
	σ	0,514419
	ν	2,30768
Кся-Бертони	μ	-0,00754698
	σ	0,166953
	ν	3,6536
Окамура-Хата	μ	-0,00222371
	σ	0,243982
	ν	2,77659
Уолфиша-Икегами	μ	-0,0621849
	σ	1,55506
	ν	3,73478

Определяемые моделями значения лежат в диапазоне десятков и сотен децибел. Значения математического ожидания близки к нулю и составляют величины порядка сотых и тысячных долей децибел, среднеквадратического отклонения – значения порядка десятых долей или единиц децибел, что составляет порядка процента от определяемых величин. Значения получены для тестирующих выборок, включающих 100 000 элементов. Для выборок с меньшим до 100 количеством элементов нейронная сеть показала такие же результаты.

Важной характеристикой нейронной сети на практике служит минимальное приемлемое количество элементов в обучающей выборке – минимальное число элементов, при котором нейронная сеть показывает эффективную работу. При тестировании нейронной сети, обученной с помощью модели Окамура-Хата в диапазоне выборок от 50 до 2000 элементов, относительная ошибка составила не более 1 % при ис-



пользовании 200 элементов и выше, а при уменьшении количества элементов от 200 до 50 относительная ошибка резко возрастает. В реальных условиях имеет место погрешность измеряемых величин, которая вносит случайную составляющую в измеренные значения. В ходе моделирования зашумленности входных значений обучающей выборки с помощью шума с равномерным законом распределения выявлена зависимость, представленная на рисунке 3.

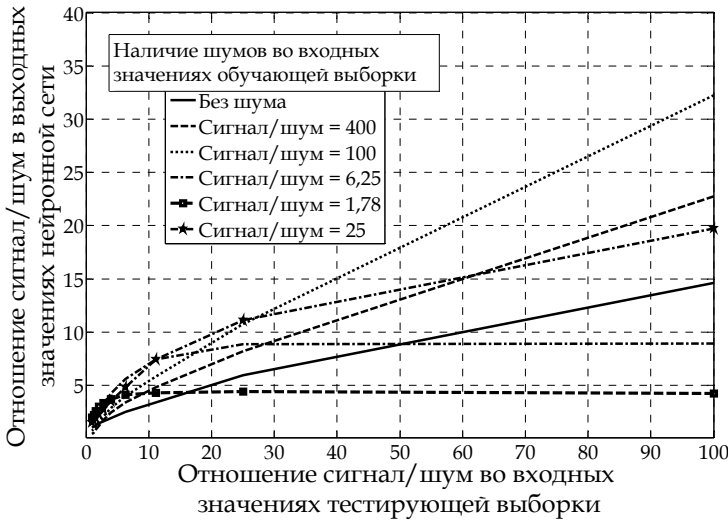


Рис. 3. Исследование работы нейронной сети в условиях зашумленности входных значений

Нейронная сеть показывает наилучшие результаты тестирования в условиях зашумленности, если обучение проводилось в условиях зашумленности входных значений с отношением сигнал/шум, равным 400 и 100. При сильном уменьшении отношения сигнал/шум в обучающей выборке до значений порядка 10 нейронная сеть показывает низкое отношение сигнал/шум при тестировании.

Рассмотрены четыре модели, которые различаются по границам применимости, количеству параметров, сложности. Метод прогнозирования с помощью нейронных сетей позволяет достаточно точно предсказать результат моделирования. Нейронные сети обладают адаптивными свойствами и способны устанавливать функциональные связи в условиях неточности проводимых измерений. Нейросетевой метод может применяться для решения задач прогнозирования уровня радиосигнала и частотно-территориального планирования на практике.

Список литературы

1. Печаткин А. В. Системы мобильной связи. Рыбинск, 2008. Ч. 1.
2. Perez Fontan F. Modeling the wireless propagation channel: a simulation approach with MATLAB. Spain, 2008.



3. *Медведев В. С., Потемкин В. Г.* Нейронные сети. MATLAB 6 / под общ. ред. В. Г. Потемкина. М., 2002.

4. *Mark Hudson Beale, Martin T. Hagan, Howard B. Demuth.* Neural Network Toolbox User's Guide. The MathWorks. 2014.

Об авторах

Сергей Васильевич Молчанов – канд. физ.-мат. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канга, Калининград.

E-mail: svmol@rambler.ru

Артем Игоревич Захаров – магистрант, Балтийский федеральный университет им. И. Канга, Калининград.

E-mail: arteom_zakharov@rambler.ru

About the authors

Sergei Molchanov – PhD, Ass. Prof., I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: svmol@rambler.ru

Artem Zakharov – PhD student, I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: arteom_zakharov@rambler.ru