

На правах рукописи

РАССКАЗОВА Инесса Олеговна

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ
В СЕТЯХ РАДИОСВЯЗИ**

Специальности: 05.13.13 – «Телекоммуникационные системы
и компьютерные сети»
05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и
устройства телевидения»

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань 2006

Работа выполнена на кафедре вычислительной и прикладной математики Рязанского государственного радиотехнического университета и на кафедре автоматизированных систем управления войск и связи Рязанского высшего военного командного училища связи имени маршала Советского Союза М.В.Захарова.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Пылькин Александр Николаевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук
Золотарев Валерий Владимирович
кандидат технических наук, доцент
Суснина Алла Васильевна

Ведущая организация: **ОАО «Рязанский радиозавод»,
г. Рязань**

Защита диссертации состоится 15 декабря 2006 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д 212.211.02 в Рязанском государственном радиотехническом университете по адресу: 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Рязанского государственного радиотехнического университета.

Автореферат разослан 12 ноября 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
канд.техн.наук, доцент

И.А.Телков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время телекоммуникационные системы радиосвязи получили очень широкое распространение, как в военном деле, так и в народном хозяйстве, причем четко прослеживается тенденция использования сетей радиосвязи, в особенности пакетной радиосвязи.

Одними из важнейших характеристик телекоммуникационных систем радиосвязи являются качество связи и пропускная способность. Дальнейшее совершенствование существующих и вновь разрабатываемых телекоммуникационных систем радиосвязи с целью улучшения этих характеристик является актуальной задачей. Причем для характеристики качества радиосвязи актуальным является также и совершенствование методик ее оценки.

Для оценки качества радиосвязи используют количественные величины, получившие название показателей эффективности радиосвязи. Одним из важнейших показателей является вероятность обеспечения радиосвязи с достоверностью не хуже заданной. Знание этого показателя позволяет, с одной стороны, оценить, возможно ли в данных условиях (например, времени года и суток, рельефе местности) и при данных параметрах системы (например, частоте или типе антенны) установление радиосвязи, а с другой стороны позволяет подобрать такие параметры системы радиосвязи, при которых бы связь стала возможной в данных условиях. Существующие методики оценки показателей эффективности радиосвязи основаны на громоздких вычислениях с использованием десятков и даже сотен таблиц и графиков, требующих много времени при ручном расчете. Главный же недостаток классических методик состоит в том, что они способны учесть лишь ограниченное количество факторов, влияющих на качество радиосвязи, что снижает адекватность и точность оценки. Для учета большего числа факторов целесообразно привлечь опыт экспертов в области радиосвязи, например, квалифицированных связистов, способных более адекватно оценить показатели эффективности радиосвязи, основываясь на своем опыте и интуиции. Таким образом, актуальной задачей является разработка системы, способной выполнять оценку показателей эффективности радиосвязи, как по классическим методикам, так и с использованием опыта экспертов. Перспективным путем решения проблемы является разработка экспертных систем для оценки показателей эффективности радиосвязи с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС).

При организации сетей пакетной радиосвязи обязательно приходится решать задачу организации множественного доступа к радиоканалу. С этой целью разрабатывают протоколы множественного доступа. В настоящее время наибольшее распространение получили протоколы случайного множественного доступа, в особенности с контролем занятости канала. Основными характеристиками протоколов случайного множественного доступа являются пропускная способность и задержка распространения пакета. Таким образом, чем совершенней протокол множественного доступа, тем выше пропускная способность телекоммуникационной системы в целом. Следовательно, для повышения пропускной способности телекоммуникационных систем радиосвязи актуальным является улучшение существующих протоколов множественного доступа. Одним из путей их совершенствования также является применение нейросетевых технологий, что стало возможным благодаря появлению производительных нейропроцессоров, в том числе отечественного нейропроцессора Л1879ВМ1.

Цель диссертационной работы состоит в увеличении пропускной способности протоколов множественного доступа к радиоканалу и повышении адекватности и точности оценки показателей эффективности радиосвязи.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ существующих методик оценки показателей эффективности радиосвязи для КВ и УКВ диапазонов с целью выявления их достоинств и недостатков.
2. Разработать методику применения ИНС для решения задачи оценки показателей эффективности КВ радиосвязи.
3. Разработать методику применения ИНС для решения задачи оценки показателей эффективности УКВ радиосвязи.
4. Разработать экспертную систему для оценки показателей эффективности радиосвязи с использованием ИНС, позволяющую учесть опыт экспертов в области радиосвязи.
5. Провести анализ существующих протоколов управления множественным доступом к радиоканалу, с целью выявления их достоинств и недостатков.
6. Разработать методику применения ИНС для совершенствования алгоритмов управления существующих протоколов случайного множественного доступа к радиоканалу.
7. Разработать методики программной и аппаратной реализации ИНС при их использовании применительно к задачам радиосвязи.

Методы исследования. Разработка и исследование проводилось на основе теории вероятностей, математической статистики, понятий и выводов теории нейронных сетей, математического и имитационного моделирования, технологии объектно-ориентированного программирования.

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов подтверждается:

- корректностью использования адекватного математического аппарата;
- достаточной апробацией материалов диссертации;
- сравнением результатов оценки показателей эффективности радиосвязи с помощью ИНС с результатами расчетов по классическим методикам;
- сравнением результатов имитационного моделирования существующих и усовершенствованных протоколов управления множественным доступом к радиоканалу с результатами аналитических исследований известных протоколов;
- реальной программной системой Neuro Expert для оценки показателей эффективности радиосвязи.

Научная новизна. В рамках диссертационной работы были получены следующие результаты, обладающие научной новизной, которые выносятся на защиту:

1. Впервые разработана методика применения ИНС для решения задачи оценки показателей эффективности КВ радиосвязи, позволяющая учесть большее, по сравнению с классическими методиками, количество факторов, влияющих на качество радиосвязи, за счет использования опыта экспертов в области радиосвязи при обучении ИНС, и тем самым повысить адекватность и точность оценки показателей эффективности радиосвязи.

2. Впервые разработана методика применения ИНС для решения задачи оценки показателей эффективности УКВ радиосвязи, позволяющая учесть большее, по сравнению с классическими методиками, количество факторов, влияющих на качество радиосвязи, за счет использования опыта экспертов в области радиосвязи при обучении ИНС, и тем самым повысить адекватность и точность оценки показателей эффективности радиосвязи;

3. Разработаны новые нейросетевые алгоритмы протоколов управления случайным множественным доступом к радиоканалу, позволяющие повысить пропускную способность протоколов на 5...7% по сравнению с классическими протоколами;

4. Разработана нейросетевая экспертная система для оценки показателей эффективности радиосвязи.

Практическая ценность работы. Результаты диссертации нацелены на увеличение пропускной способности сетей радиосвязи и повышение адекватности и точности оценки показателей эффективности радиосвязи, обеспечивая при этом:

- повышение адекватности и точности оценки показателей эффективности КВ и УКВ радиосвязи за счет применения методики использования ИНС для учета опыта экспертов в области радиосвязи;
- повышение пропускной способности протоколов случайного множественного доступа к радиоканалу на 5...7% за счет использования нейросетевых алгоритмов управления.

Внедрение результатов. Протоколы множественного доступа с применением ИНС используются в ОАО "Рязанский радиозавод" для совершенствования систем радиосвязи.

Методики использования ИНС для учета опыта экспертов при расчете показателей эффективности радиосвязи легли в основу нейросетевой экспертной программной системы Neuro Expert, которая применяется в учебном процессе вузов:

- в Рязанском высшем военном командном училище связи при изучении курсантами специальных дисциплин;
- в Рязанском государственном радиотехническом университете в качестве примера реальных систем на основе ИНС при изучении дисциплин "Нейрокомпьютерные системы" и "Вычислительные системы, сети и телекоммуникации".

Апробация работы. Результаты работы докладывались на следующих конференциях и семинарах:

1. 9-ая Международная научно-техническая конференция "Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций", г. Рязань, май 2000 г.

2. Всероссийский научно-практический семинар "Сети и системы радиосвязи", г. Рязань, май 2005 г.

3. 13-ая международная научно-техническая конференция "Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций", г. Рязань, май 2005 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 работ, из них 6 в авторстве. В их числе:

- 1 статья в сборнике, включенном в список ВАК;

- 2 статьи в межвузовских сборниках;
- 1 статья представлена на депонирование в ВИМИ;
- 3 доклада на международных и всероссийских конференциях и семинарах;
- 1 учебно-методическое пособие;
- 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения. Содержит 184 страницы, 16 таблиц, 59 рисунков. Список литературы состоит из 61 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность выбора темы диссертации, формулируются цель исследований, научная новизна и практическая ценность основных результатов диссертации.

В первой главе проведен анализ проблем, связанных с организацией телекоммуникационного взаимодействия в сетях радиосвязи. Получены следующие основные результаты и выводы:

1. Проанализированы требования, предъявляемые к современным системам радиосвязи. Сделан вывод, что дальнейшее совершенствование систем радиосвязи возможно, в том числе, за счет улучшения качества радиосвязи и повышения пропускной способности сетей радиосвязи. Отмечено также, что ценностью обладает не только повышение качества радиосвязи, но и совершенствование методик его оценки.

2. Рассмотрены критерии, по которым оценивается качество радиосвязи, выявлены основные показатели эффективности радиосвязи, которым относятся:

- вероятность обеспечения радиосвязи с достоверностью не хуже заданной;
- вероятность своевременной передачи сообщения.

Отмечено, что наиболее важно уметь оценивать вероятность обеспечения радиосвязи с достоверностью не хуже заданной. Отмечена перспективность применения ИНС для повышения адекватности и точности оценки показателей эффективности радиосвязи.

3. Показано, что наиболее перспективным способом организации радиосвязи считается построение сетей пакетной радиосвязи. Выявлено, что при построении сетей пакетной радиосвязи важным вопросом является организация множественного доступа к радиоканалу.

4. Приведена классификация существующих протоколов множественного доступа к радиоканалу. Отмечено, что для наземной радиосвязи наиболее актуальным является использование протоколов случайного множественного доступа.

5. Рассмотрены критерии оценки эффективности протоколов множественного доступа.

6. Отмечено, что для повышения пропускной способности протоколов случайного множественного доступа перспективно использовать ИНС.

Во второй главе рассмотрены вопросы использования ИНС для оценки показателей эффективности радиосвязи. Классические методики определения значений показателей эффективности радиосвязи способны учесть лишь часть всего множества факторов, влияющих на качество радиосвязи. Чтобы повысить адекватность и точность определения значений показателей эффективности радиосвязи требуется учесть большее количество факторов. Для этого можно использовать опыт экспертов в области радиосвязи, которые могут сообщить, что при таких-то значениях факторов ожидается такое-то значение показателя эффективности. Перспективным путем решения данной задачи является использование ИНС.

На вход ИНС (рис.1) подается вектор X значений $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, состоящий из факторов, влияющих на показатели эффективности связи. На выходе сети получается вектор Y выходных значений $\{y_1, y_2, \dots, y_m\}$, представляющий собой один или несколько показателей эффективности связи.



Рис.1

Как правило, на выходе ИНС будем получать одно значение y , соответствующее вероятности обеспечения радиосвязью с достоверностью не хуже заданной в зависимости от некоторых условий, в которых осуществляется радиосвязь.

Задачу исследования можно сформулировать так: создать и обучить ИНС с минимально достаточным количеством нейронов, позволяющую получить результаты вычисления показателей эффективности радиосвязи с заданной точностью, соответствующие экспертным оценкам или результатам вычисления по классическим методикам за время не более заданного.

Требование поиска минимально достаточного количества нейронов обуславливается тем, что чем меньше нейронов содержит сеть, тем меньше требуется вычислительных ресурсов для ее реализации.

Результатом исследований является методика применения ИНС к решению задачи вычисления показателей эффективности радиосвязи, а также программная реализация ИНС, построенных по этой методике. Суть методики применения ИНС к решению поставленной задачи заключается в следующем:

- в выборе нейросетевой парадигмы;
- в выборе векторов X и Y входных и выходных факторов;
- в составлении необходимого множества обучающих наборов;
- в выборе оптимальной структуры ИНС, обеспечивающей получение правильных результатов при минимальном количестве нейронов в составе ИНС;

- в выборе значений параметров (скорости обучения, импульса, начальных значений весов), позволяющих обучить ИНС за приемлемое время.

При выборе нейросетевой парадигмы в результате анализа предметной области было установлено следующее:

1. В процессе практического использования обученной ИНС дальнейшее обучение сети не предполагается, следовательно, можно использовать обучение «с учителем».

2. Путем использования опыта экспертов или классических методик расчета показателей эффективности радиосвязи можно получить необходимое количество обучающих наборов.

3. Таким образом, задача может быть решена путем использования ИНС обратного распространения ошибки.

На основе анализа классических методик расчета показателей эффективности радиосвязи были определены минимальные множества входных факторов, влияющих на качество КВ и УКВ радиосвязи. В таблице 1 приведен пример минимального вектора входных факторов для КВ радиосвязи. При необходимости повышения адекватности и точности расчетов минимальные множества входных факторов могут быть расширены.

Таблица 1

Наименование фактора	Тип	Диапазон допустимых значений	Единица измерения	Категория
Длина трассы	Непрерывный	100–2000	Км	Входной
Время года	Дискретный	{зима, весна, лето, осень}		Входной
Время суток	Дискретный	{день, ночь}		входной
Вид сигнала	Дискретный	{телеграф, телеграф}		входной
Тип антенны	Дискретный	{Штырь, симметричный вибратор, наклонный вибратор ВН 13/9, наклонный вибратор ВН 40/12}		входной
Рабочая частота	Непрерывный	3–40	МГц	входной
Вероятность обеспечения радиосвязи	Непрерывный	0–100	%	выходной

Для проверки работоспособности методики были получены множества обучающих наборов с помощью расчетов по классическим методикам. На практике обучающие наборы можно получить не только с помощью расчетов по классическим методикам, но и путем опроса экспертов, т.е. опытных связистов, способных дать интуитивную оценку показателя эффективности радиосвязи при заданных условиях.

С помощью разработанной соискателем программы Neuro Expert были проведены исследования по определению оптимальной структуры ИНС, позволяющей получить оценки показателей эффективности для КВ и УКВ радиосвязи, аналогичные результатам полученным с помощью классических методик. Характеристики ИНС для КВ и УКВ радиосвязи приведены в табл.2.

N п/п	Характеристика	Вид связи	
		КВ	УКВ
1.	Количество входов	6	8
2.	Количество выходов	1	1
3.	Количество внутренних слоев	2	2
4.	Количество нейронов во внутренних слоях	32	42
5.	Тип активационной функции	сигмоид	Сигмоид
6.	Точность обучения, %	5	5
7.	Количество обучающих наборов	128	512
8.	Количество проходов обучения	450	1380
9.	Коэффициент скорости обучения	0,70	0,65
10.	Коэффициент импульса	0,2	0,2

ИНС с такими структурами и набором основных параметров устойчиво обучаются и выдают правильные результаты во всем диапазоне значений исходных факторов.

В третьей главе рассмотрены вопросы совершенствования известных протоколов управления множественным доступом к радиоканалу путем использованием ИНС. В качестве базовых протоколов рассматривались:

- протокол множественного доступа с контролем занятости радиоканала и распределением очередности передачи между конфликтующими абонентами (МДКЗ-Р);
- р-настойчивый протокол множественного доступа.

Протокол МДКЗ-Р является синхронным, т.е. передача пакета любым из абонентов начинается в строго определенный момент времени. Перед началом передачи пакета абонент проверяет наличие несущей в радиоканале. Если сигнал несущей не обнаружен, то начинается цикл передачи пакета. В противном случае передача откладывается на более позднее время, определяемое задержкой, которую либо выбирают случайным образом из определенного интервала (гибкий МДКЗ-Р), либо считают равной одному такту (жесткий МДКЗ-Р). Задача автоматического выбора гибкого или жесткого режимов работы протокола ранее не была решена.

Пропускная способность протокола S существенно зависит от суммарного потока запросов на передачу G . При этом жесткий протокол оказывается более эффективным для значений G близких к 1, а гибкий, соответственно, – для $G > 1$. Зная текущее значение суммарного потока запросов на передачу G , можно переключаться между жестким и гибким режимами протокола, что позволяет добиться максимальной в данных условиях пропускной способности протокола S . Проблема заключается, в определении текущего значения G . Таким образом, необходимо разработать процедуру выбора оптимального в данных условиях варианта протокола: жесткого или гибкого.

Представим последовательность результатов проверки занятости канала внутри цикла передачи в виде вектора целых чисел P длиной K (K – максимальное число очередности в цикле передачи). При этом каждый i -й элемент вектора P будет принимать одно из значений в соответствии со сложившейся ситуацией: 0, если временное окно пусто; 1, если была выполнена передача чужого пакета; 2, если была выполнена успешная передача своего пакета; 3, если был выявлен конфликт при передаче своего пакета.

Поскольку не в каждом цикле нами передается пакет, то и значения 2 и 3 элементов вектора будут появляться не в каждом цикле. Совместное появление значений 2 и 3 в одном цикле исключается, т.к. каждый абонент передает в цикле только один пакет.

Агрегируем информацию, полученную в векторе P . Для этого найдем количество появлений каждого из возможных значений элементов вектора, объединив их в кортеж V из 4-х элементов:

$$V = (v_0, v_1, v_2, v_3),$$

где v_0 – количество пустых окон внутри цикла, $v_0 \in \{0, 1, \dots, K\}$; v_1 – количество занятых окон внутри цикла, включая и ситуации, когда был успешно передан свой пакет или был выявлен конфликт при передаче пакета, $v_1 \in \{0, 1, \dots, K\}$; v_2 – количество успешно переданных пакетов, $v_2 \in \{0, 1\}$; v_3 – количество выявленных конфликтов в передаче пакетов, $v_3 \in \{0, 1\}$.

Между циклами передачи возможны периоды простоя, когда пакеты не передаются. Информацию о периоде простоя также можно представить в виде кортежа V . При этом вид кортежа будет следующим:

$$V = (v_0, 0, 0, 0),$$

где v_0 – количество тактов внутри периода простоя, $v_0 \in \{0, 1, \dots, K\}$. Будем условно считать, что если период простоя превышает K тактов, начинается новый период простоя и, соответственно, формируется новый кортеж.

Возьмем выборку из m кортежей V , т.е. информацию за m циклов передачи и периодов простоя. Соответственно, сформируем вектор Z , состоящий из m кортежей V .

Для повышения универсальности представления данных нормализуем значения элементов v_0 и v_1 кортежа V по K , т.е:

$$\hat{v}_0 = \frac{v_0}{K}, \hat{v}_0 \in [0, 1] \text{ и } \hat{v}_1 = \frac{v_1}{K}, \hat{v}_1 \in [0, 1].$$

Представим вектор Z в виде образа, где по столбцам располагаются кортежи V , значения элементов которых изображены градациям серого цвета (рис.2).

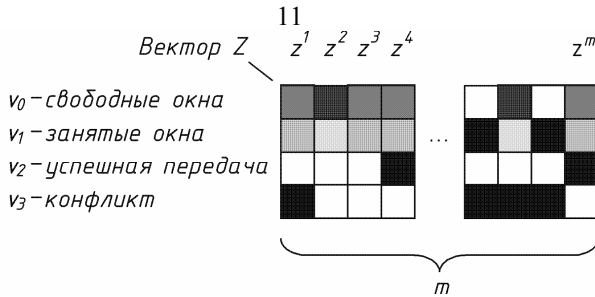


Рис.2

При этом черным цветом обозначены значения равные 1, белым – 0, а градациями серого цвета – промежуточные значения из диапазона $[0,1]$. Чем ближе к 1 находится значение, тем темнее цвет, а чем ближе к нулю, тем, соответственно, светлее.

Попытаемся в результате анализа вектора Z получить рекомендацию по выбору протокола (гибкий или жесткий).

Простое суммирование соответствующих свободных, занятых, успешных и конфликтных элементов кортежей не позволяет непосредственно вычислить указанные величины, т.к. неизвестно, сколько абонентов участвует в конфликтной ситуации, и в каких из занятых окон возникали конфликты. Т.е. статистика работы системы является сложной, и обычными статистическими методами решить задачу не представляется возможным. Попытаться получить рекомендацию по выбору протокола можно путем анализа вектора Z как такового, поставив в соответствие различным образам вектора Z соответствующую рекомендацию по выбору жесткого или гибкого протокола.

По сути задача сводится к разделению образов на два класса. Очевидным решением задачи классификации является использование ИНС в силу их способности к обобщению фактов.

Подадим вектор Z на вход ИНС. На выходе будем получать значение рекомендации по выбору гибкого (значение 0) или жесткого (значение 1) протоколов (рис.3).

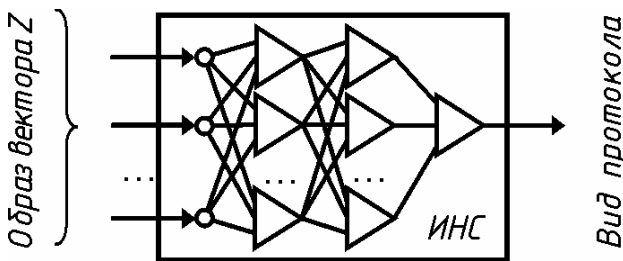


Рис.3

Таким образом, ИНС будет иметь один выход и $4 \cdot m$ входов, для элементов вектора Z . Оценить объем выборки m аналитически не представляется возможным. В результате имитационного моделирования удалось установить

минимальный объем выборки $m = 32$, позволяющий уверенно выбирать жесткий или гибкий протокол, для различных K .

На рис.4 показан пример результатов анализа пропускной способности усовершенствованного с помощью предложенной методики протокола МДКЗ-Р для $K = 10$.

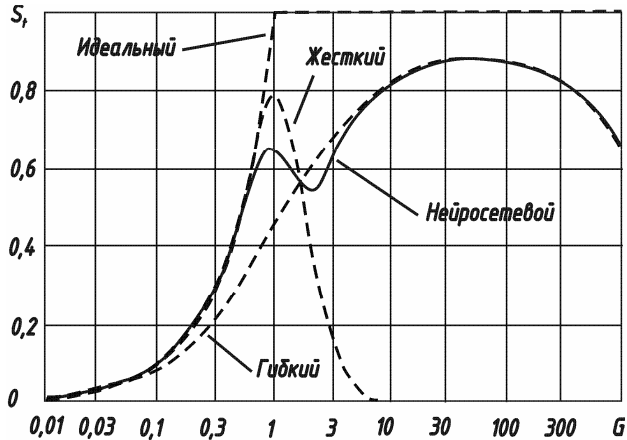


Рис.4

Анализ проведен с помощью имитационного моделирования. Как видно из графиков, усовершенствованный протокол сочетает в себе достоинства жесткого и гибкого протоколов: высокую пропускную способность как при G близком к 1 (это характерно для жесткого протокола), так и при больших значениях G , что характерно для гибкого протокола. В среднем выигрыш в пропускной способности составляет порядка 5-7 %.

В качестве ИНС использовалась сеть обратного распространения, структура которой приведена на рис.3. В результате исследований удалось выявить оптимальные (в смысле минимального необходимого количества нейронов) характеристики ИНС, которые представлены в табл.3.

Таблица 3

п/п	Характеристика	Знач.
1.	Количество входов	128
2.	Количество выходов	1
3.	Количество внутренних слоев	2
4.	Количество нейронов во внутренних слоях	512
5.	Тип активационной функции	Сигмоид
6.	Точность обучения, %	5
7.	Количество обучающих наборов	400
8.	Количество проходов обучения	251
9.	Коэффициент скорости обучения	0,70
10.	Коэффициент импульса	0,25

P -настойчивый протокол множественного доступа является синхронным протоколом со случайным доступом к каналу и контролем сигнала несущей. Все пакеты имеют равную длину и передаются за условное время длительностью 1. После передачи пакета выделяется время на получение подтверждения о принятии пакета. Если пакет принят с ошибкой, то подтверждение не присылается. Начало передачи пакета каждым абонентом возможно только в начале такта, длина которого составляет a и определяется максимальным временем распространения сигнала между двумя абонентами сети a . Если пакет готов к передаче и радиоканал находится в свободном состоянии, то пакет передается с вероятностью p , а с вероятностью $1-p$ передача задерживается на один такт. Если и в очередном такте обнаружено свободное состояние радиоканала, то процесс, описанный выше, повторяется.

Пропускная способность p -настойчивого протокола зависит от значения вероятности существенно зависит вероятности передачи пакета p и суммарного потока запросов на передачу G . Поэтому актуальным является разработка метода подбора такого p^{OPT} , при котором обеспечивалась бы максимальная в данных условиях пропускная способность канала S . Как и в случае с протоколом МДКЗ-Р, проблема заключается, в определении текущего значения G .

Для решения задачи можно применить ИНС. Будем проверять занятость канала в начале каждого такта, не зависимо от того, требуется ли нам передать пакет в этот момент или нет. На вход ИНС будем подавать вектор результатов подтверждения принятия своих пакетов, на выходе получим оценку оптимальной вероятности передачи пакета p^{OPT} (рис.5).

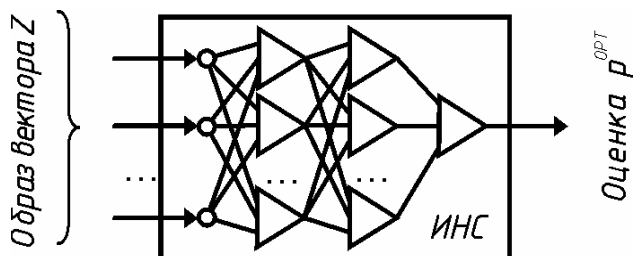


Рис.5

На рис.6 показаны результаты имитационного моделирования классического и нейросетевого p -настойчивых протоколов для $a = 0,01$.

Как видно из рисунка, выбор оптимальной вероятности передачи пакета существенно влияет на пропускную способность канала. В среднем удавалось достичь выигрыша в производительности порядка 6%.

В результате исследований были найдены оптимальные характеристики ИНС.

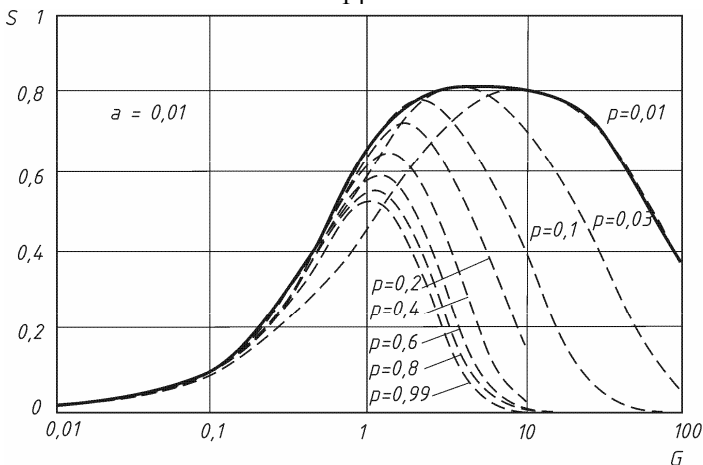


Рис.6

В четвертой главе рассматриваются вопросы реализации ИНС при решении задач управления радиосвязью. Основная проблема, возникающая при реализации ИНС, – это обеспечение требуемой производительности как при работе ИНС, так и при ее обучении. При этом стремятся достичь необходимой производительности системы при минимальной ее сложности и, соответственно, стоимости.

Рассматривались два основных способа реализации ИНС:

1. Программными средствами, когда выполняется эмуляция ИНС при помощи вычислительных средств, имеющих микропроцессоры общего назначения. К такому способу относят использование различных нейропакетов, нейросетевых библиотек или специализированных программных систем, работающих на обычных персональных или промышленных компьютерах.

2. Аппаратными средствами с помощью нейропроцессоров.

При решении задачи оценки показателей эффективности радиосвязи целесообразно использовать программную реализацию, по следующим причинам:

- предельное время вычисления выходных значений ИНС составляет десятые доли секунды, что доступно для программной реализации;
- требуется развитый интерфейс пользователя, которому необходимо в удобной форме вводить исходные данные об условиях радиосвязи.

При реализации нейросетевых протоколов множественного доступа возможно лишь их аппаратная реализация по следующим причинам:

- предельное время вычисления выходных значений ИНС может достигать десятых долей миллисекунд, что недоступно для программной реализации;
- протоколы множественного доступа реализуется в законченном устройстве, например, в радиомодеме, в который проблематично встроить персональный или промышленный компьютер.

Для использования в системах управления радиосвязью военного назначения, целесообразно использовать отечественные нейропроцессоры, единственными представителями которых являются процессоры фирмы “Модуль”. В системах радиосвязи для гражданских нужд применение отечественных разра-

боток также весьма актуально. На сегодняшний момент полностью отлаженным и доступным к использованию нейропроцессором этой фирмы является микросхема L1879VM1, или, в западной нотации, NM6403.

Была выполнена реализация ИНС на процессоре L1879VM1 применительно к протоколам множественного доступа в виде программы, написанной на языке С. Отдельные фрагменты программы написаны на ассемблере. Для отладки программы использовался инструментальный модуль МС4.31.

Характеристики производительности программы приведены в табл.4. При этом использовалась сеть со 128 входами, одним выходом и двумя внутренними слоями. Весовые коэффициенты представлялись 16 битными целыми числами.

Таблица 4

Количество нейронов в скрытых слоях	Время выполнения в тактах микропроцессора	Время выполнения, мс
128	6750	0,17
256	12900	0,33

Как видно из таблицы, время решения сети составляет менее 1 мс, что достаточно для работы протоколов множественного доступа.

С целью реализации методики применения ИНС для оценки показателей эффективности установления радиосвязи, изложенной в главе 2, была разработана нейросетевая экспертная система оценки качества установления радиосвязи Neuro Expert.

Программа Neuro Expert является инструментальным средством, предназначенным для построения и целевого использования нейросетевых экспертных систем. Как следствие, она обладает полностью модифицируемой предметной областью. То есть, это экспертная система, основанная на примерах, использующая ИНС в качестве логического базиса и обладающая возможностями для описания и использования различных предметных областей. Однако изначально программа Neuro Expert настроена на эффективную работу с предметной областью «Оценка качества установления радиосвязи».

Рассматривая основные возможности и характеристики Neuro Expert следует выделить, что программа:

- может быть использована как экспертная система «Оценка качества установления радиосвязи»;
- позволяет полностью изменять и создавать новые предметные области и образовывать вместе с ними новые нейросетевые экспертные системы средней сложности;
- позволяет описывать предметные области с различными типами факторов;
- позволяет выражать прямые зависимости между факторами предметной области в виде аппарата ограничений;
- позволяет осуществлять ввод данных для обучения и тестирования системы, максимально используя информацию о факторах предметной области;
- предоставляет средства для визуального и табличного проектирования ИНС, лежащей в основе вычислительного аппарата каждой создаваемой экспертной системы;

- позволяет использовать неполносвязные и негомогенные ИНС;
- использует два алгоритма обучения ИНС: обобщённый алгоритм обучения персептрона и алгоритм обратного распространения ошибки;
- осуществляет тестирование образованной экспертной системы по указанию пользователя с возможностью сохранения кратких и полных отчётов о тестировании на машинных носителях;
- обладает средствами для предотвращения нарушений структуры готовой экспертной системы неопытным пользователем;
- позволяет осуществлять целевое использование подготовленной экспертной системы с возможностью сохранения результатов работы на машинных носителях;
- обладает интуитивно-понятным интерфейсом;
- может быть легко расширена, поскольку была построена в соответствии с принципами ООП;
- обладает подробной интерактивной справочной системой.

На рис.7 показана общая структура системы.

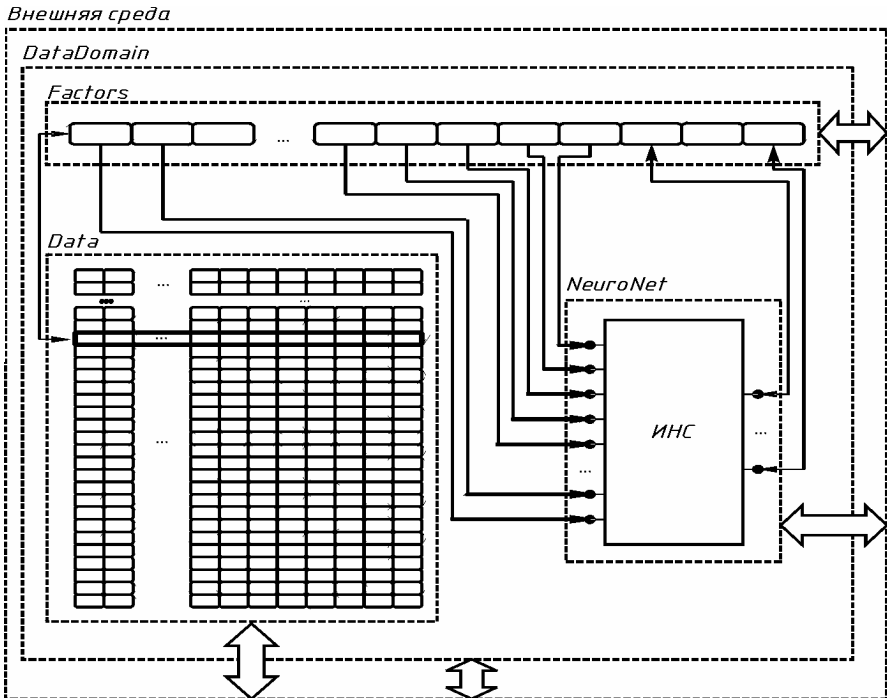


Рис.7

Система состоит из трёх ключевых компонентов:

1. Компонент системы «Factors» (факторы ПО) – содержит описание предметной области и может принимать конкретное её состояние.

2. Компонент системы «Data» (хранилище данных) – содержит числовые данные для обучения и тестирования и предоставляет возможности для работы с этими данными, как с таблицей числовых значений.

3. Компонент системы «NeuroNet» – содержит структуру ИНС и имеет функции для обучения, тестирования и целевого использования.

Программа Neuro Expert зарегистрирована в отраслевом фонде алгоритмов и программ (ОФАП), о чем получено свидетельство о регистрации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволяют сформулировать основные выводы и результаты:

1. Впервые предложено использовать ИНС для оценки показателей эффективности радиосвязи с целью повышения адекватности и точности оценки за счет учета большего числа параметров, используя опыт экспертов в области радиосвязи.

2. Разработаны методики применения ИНС к решению задачи расчета показателей эффективности КВ и УКВ радиосвязи.

3. Разработана нейросетевая экспертная система оценки показателей эффективности радиосвязи.

4. Предложена методика использования ИНС для расчета вероятности повторной передачи пакета для r-настойчивого протокола МДКН с целью достижения максимальной пропускной способности канала. С использованием данной методики получен нейросетевой алгоритм управления r-настойчивым протоколом МДКН, позволяющий повысить пропускную способность протокола в среднем на 6%.

5. Предложена методика использования ИНС для выбора жесткого или гибкого протоколов МДКЗ-Р в зависимости от условий передачи с целью достижения максимальной пропускной способности канала. С использованием данной методики получен нейросетевой алгоритм управления протоколом МДКЗ-Р, позволяющий повысить пропускную способность протокола в среднем на 5–7%.

6. Показана возможность реализации нейросетевых алгоритмов управления протоколами множественного доступа с помощью нейропроцессора LI879BM1.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ОСНОВНЫМ РЕЗУЛЬТАТАМ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, включенных в список ВАК:

1. Благодаров А.В., Рассказова И.О. Использование искусственных нейронных сетей для повышения эффективности протокола множественного доступа к радиоканалу // Вестник РГРТУ. Вып.19. Рязань, 2006.

Публикации в прочих изданиях:

2. Новиков Г.А., Пылькин А.Н., Рассказова И.О. Интеллектуальные системы управления сложными объектами // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: Материалы 9-й Международной науч.-техн. конф. Рязань: Рязан. обл. институт развития образования, 2000.

3. Нейрокомпьютерные системы: Методические указания к лабораторным работам / Рязан. гос. радиотехн. акад.; Сост.: Благодаров А.В., Новиков Г.А., Овечкин Г.В., Суснина А.В., Рассказова И.О.; Под ред. А.Н.Пылькина. Рязань, 2000.–62с.

4. Бережнев А.В., Новиков Г.А., Рассказова И.О., Пылькин А.Н. Свидетельство об официальной регистрации в отраслевом фонде алгоритмов и программ (ОФАП) программы для ЭВМ “Neuro Expert”. № ОФАП – 1933, № госрегистрации 50200200160. Зарегистрировано 29.04.2002 г.

5. Новиков Г.А., Пылькин А.Н., Рассказова И.О. Прогнозирование эффективности функционирования системы радиосвязи с помощью нейросетей // Экономические преобразования в России: проблемы и перспективы: Межвузов. сб. науч. трудов. Вып.3.–Спб.: Изд-во СПбГТУ, 2002.

6. Рассказова И.О. Моделирование процессов функционирования систем радиосвязи на основе нейросетей // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: Материалы 13-й Международной науч.-техн. конф. Рязань: Рязан. обл. институт развития образования, 2004.

7. Рассказова И.О. Направления повышения эффективности управления системой радиосвязи // Сети и системы радиосвязи: Материалы Всероссийского научно-практического семинара. Рязань: Рязанское высшее военное командное училище связи имени маршала Советского Союза М.В.Захарова, 2005.

8. Рассказова И.О. Использование нейроускорителей на базе процессора NM6403 для оценки качества установления радиосвязи // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем: Межвуз. сб. науч. тр. – М.: Горячая линия - Телеком, 2006.

9. Благодаров А.В., Рассказова И.О. Использование искусственных нейронных сетей при решении задачи оценки качества установления радиосвязи. Рязань, РГРТУ, 2006. –7с. Деп. в ВИМИ 08.08.2006, №ДО-8989.

Р а с с к а з о в а И н е с с а О л е г о в н а

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ
В СЕТЯХ РАДИОСВЯЗИ**

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 10.11.2006. Формат бумаги 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,0.
Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 100 экз. Бесплатно.
Рязанский государственный радиотехнический университет.
391000, Рязань, ГСП, ул. Гагарина, 59/1.
Редакционно-издательский центр РГРТУ.