УЗБЕКСКОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ
ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

На правах рукописи
УДК 681.327.8

ЯКОВЛЕВА Юлия Алексеевна

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В НАГРУЖЕННЫХ БЕСПРОВОДНЫХ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СЕТЯХ НА ОСНОВЕ РЕАЛИЗАЦИИ НЕЙРОАДАПТИВНЫХ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ

05.13.13 – Телекоммуникационные системы и компьютерные сети

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ташкент – 2012

Работа выполнена на базе Ташкентского университета информационных технологий.

Научный руководитель:	доктор технических наук, профессор **Касымов Садыкжан Сабирович**
Официальные оппоненты:	доктор технических наук, **Мухаммадиева Дилноза Тулкуновна**
	кандидат технических наук, **Абдукадыров Алишер Хабибуллаевич**
Ведущая организация:	Ташкентский государственный технический университет

Защита диссертации состоится «____» _____ 2012 г. в _____ часов на заседании специализированного совета _____ при Ташкентском университете информационных технологий по адресу: 100084, г. Ташкент, ул. А. Темура, 108.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Ташкентского университета информационных технологий.

Автореферат разослан «____» _____ 2012 г.

Ученый секретарь
специализированного совета Зайнидинов Х. Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

Актуальность работы. В настоящее время можно наблюдать повсеместное интенсивное развитие беспроводных широкополосных сетей передачи данных, обусловленное гибкостью архитектуры сети, включая поддержку мобильности, быстроту проектирования и низкие затраты на обслуживание. Рост числа пользователей беспроводных сетей, а также объёмов передаваемой информации вызвал появление новых высокоскоростных технологий.

На сегодняшний день наиболее популярными технологиями построения высокоскоростных сетей выступают Wi-Fi (стандарт IEEE 802.11) и WiMAX (стандарт IEEE 802.16). Особый интерес проявляется к локальным беспроводным сетям, применяемым для организации как домашних, так и корпоративных сетей, требующих высокого уровня надежности, безопасности и качества предоставляемых услуг, под которым понимается достижение определенных показателей производительности и надежности при передаче данных по беспроводной сети. В последних версиях стандартов появился ряд механизмов поддержки качества обслуживания.

Однако требуются детальные исследования эффективности этих и других механизмов, для чего необходимо выполнить анализ качественных и количественных характеристик функционирования беспроводных широкополосных сетей и добиться оптимизации работы последних.

В этой связи задача анализа, разработки и оптимизации механизмов автоматического управления работой беспроводных широкополосных сетей передачи информации представляется актуальной и своевременной.

Степень изученности проблемы. Активный рост числа беспроводных локальных сетей выдвигает в ряд первоочередных задач разработку методов оптимизации их функционирования, реализации новых алгоритмов управления, а также оценки качества их работы. Проблеме разработки математических моделей сетей передачи данных посвящено значительное количество работ.

Среди наиболее известных работ, посвященных этой проблеме, следует отметить исследования и разработки отечественных и зарубежных ученых: Д.А. Абдуллаева, С.С. Касымова, Р.П. Абдурахманова, Т.Н. Нишинбаева, Н. А. Игнатьева, Ш. Ф. Мадрахимова, О.М. Брехова, В.А. Васенина, В.М. Вишневского, В.С. Жданова, М.О. Колбанева, Р.А. Минлоса, А.Н. Назарова, А.В. Печинкина, В.К. Попкова, В.В. Рыкова, С.Н. Степанова, G. Balbo, S.C. Bruell, L. Fratta, L. Kleinrock, M. Olivetty, H. Takagi, S.C. Borst, O.J. Boxma и др. Среди аналитических работ, посвященных исследованию протоколов IEEE 802.11 и IEEE 802.16, а также оценке производительности построенных на их базе беспроводных сетей, наиболее значимыми являются работы В.М. Вишневского, А.И. Ляхова, G. Bianchi, F. Cali, M. Conti, E. Gregory, J. Weinmiller, A.L. Wilson, A. Lenaghan, R. Malyan.

Особенности локальных беспроводных сетей при оценке их производительности достаточно полно отражены в ряде работ, однако в них не уделено достаточного внимания методам повышения качества функционирования беспроводных широкополосных сетей (БШС), а также оценке их характеристик, влияющих на качество предоставляемых услуг, хотя именно они являются наиболее важными на сегодняшний момент, когда растет количество пользователей и объемы передачи мультимедийного трафика по беспроводным сетям.

Таким образом, реферируемая диссертационная работа посвящена восполнению образовавшегося пробела - анализу качественных характеристик и разработке механизмов управления потоками данных, а также разработке методов и средств повышения качества передачи данных в нагруженных беспроводных широкополосных сетях на основе реализации нейроадаптивных алгоритмов управления.

Связь диссертационной работы с тематическими планами НИР.

Диссертационная работа выполнена в рамках государственных научно-технических программ Комитета по координации развития науки и технологий при Кабинете Министров Республики Узбекистан ГНТП А-14-123 «Электронные инструментальные средства по направлению бакалавриатуры и специальности магистратуры «Информационные технологии» (2006 – 2008 г.г.), ГНТП 17-005 «Организация тренинга в интеллектуальных автоматизированных обучающих системах» (2009 -2011 г.г.) и включена в текущие сводные планы госбюджетных НИОКР Ташкентского университета информационных технологий.

Цель исследования заключается в разработке метода повышения качества работы беспроводной широкополосной сети за счет управления потоками данных в нагруженных беспроводных широкополосных сетях.

Для достижения поставленной цели в диссертации необходимо решить следующие основные **задачи исследования:**

- анализ действующих методов и средств обеспечения высокого качества функционирования широкополосных беспроводных сетей и выявление основных параметров качества передачи данных;
- анализ механизмов повышения эффективности передачи информации в высокоскоростных беспроводных сетях, функционирующих под управлением семейства протоколов IEEE 802.11;
- разработка методов обеспечения требуемого качества передачи трафика в широкополосных беспроводных сетях на основе нейроадаптивных алгоритмов управления;
- разработка многоуровневой модели для исследования и реализации действенных механизмов повышения эффективности передачи информации в высокоскоростных широкополосных беспроводных сетях с учетом влияния помех и на основе требований, предъявляемых к качеству обслуживания;
- экспериментальная проверка предложенных методик и разработок.

Объект и предмет исследования. *Объектом исследования* являются процессы, отражающие качество функционирования нагруженных беспроводных широкополосных сетей стандарта IEEE 802.11x. *Предмет исследования* составляют нейроадаптивные алгоритмы управления трафиком в беспроводных широкополосных локальных сетях.

Методы исследования. Для достижения поставленной цели используются методы теории вероятностей, теории массового обслуживания, теории оптимизации, имитационного моделирования, математической статистики, кластерного анализа и теории искусственных нейронных сетей.

Гипотеза исследования. Повышение качества функционирования широкополосных беспроводных сетей может быть достигнуто за счет разработки новых методов повышения эффективности использования среды передачи данных беспроводных широкополосных сетей, и алгоритмов синтеза современных систем управления на основе нейроадаптивных технологий.

Основные положения, выносимые на защиту:

- результаты анализа механизмов повышения эффективности и качества передачи данных в широкополосных беспроводных сетях;
- многоуровневая модель для анализа механизмов повышения эффективности передачи информации в беспроводных сетях;
- метод оценки качества прохождения классифицированных данных в беспроводной среде на основе эталонных моделей;
- система управления, реализованная в виде программного продукта, позволяющего анализировать и управлять параметрами беспроводных интерфейсов точек доступа.

Научная новизна. Научная новизна диссертационной работы состоит в применении методов нейроинформационных технологий к решению задач повышения эффективности работы широкополосных беспроводных сетей с процедурами обучения, самообучения и адаптации к условиям окружающей среды.

В процессе выполнения диссертации получены следующие *новые научные результаты*:

- предложен способ повышения качества беспроводных широкополосных сетей за счет управления потоками данных в нагруженных широкополосных беспроводных сетях;
- разработан метод оценки качества прохождения классифицированных данных в беспроводной среде, отличающийся от существующих тем, что данный подход позволяет адекватно оценивать функционирование беспроводной сети в реальном масштабе времени;
- разработан механизм управления потоками данных с элементами нейросетевого прогнозирования в широкополосных беспроводных сетях, функционирующих под управлением семейства протоколов IEEE 802.11;
- предложена многоуровневая модель управления параметрами качества функционирования беспроводных широкополосных сетей,

позволяющая вести контроль и управление на всех этапах передачи информации.

Научная и практическая значимость результатов исследования состоит в следующем:

- предложен метод повышения качества беспроводных широкополосных сетей, функционирующих под управлением стандарта IEEE 802.11g;
- разработаны механизмы управления потоками данных в беспроводных широкополосных сетях на основе нейроадаптивных алгоритмов;
- синтезирована система управления потоками данных на основе разработанной методики повышения качества работы широкополосных беспроводных сетей;
- полученые результаты исследования реализованы в виде логического устройства - блока анализа точки доступа, позволяющего управлять параметрами работы устройств сети на уровне беспроводных интерфейсов.

Реализация результатов. Теоретические и практические результаты работы использованы кафедрой «Информационные технологии» Ташкентского университета информационных технологий при выполнении НИР в рамках государственных научно-технических программ Республики Узбекистан. А также, результаты работы внедрены на беспроводной сети ООО «Sharq Telekom».

Разработки диссертации используются в учебном процессе кафедрами «Информационные технологии» и «Системы и сети передачи данных» ТУИТ при изучении студентами курсов дисциплин «Системы искусственного интеллекта» и «Управление в телекоммуникационных сетях».

Апробация работы. Результаты диссертации были представлены и обсуждались на следующих научных семинарах и конференциях:

- Республиканская научно-практическая конференция аспирантов, магистрантов и студентов (Ташкент, ТУИТ 2006, 6-7 апреля);
- Международная женская конференция (Ташкент, ТУИТ, 22 ноября, 2007).
- Республиканская научно-практическая конференция аспирантов, магистрантов и студентов (Ташкент, ТУИТ, 4-5 марта, 2008);
- Шестая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов государств-участников РСС «Техника и технологии связи» (Ташкент, 9-10 октября 2008);
- Республиканская научно-практическая конференция аспирантов, магистрантов и студентов (Ташкент, ТУИТ, 9-10 апреля 2009);
- Международная конференция «Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий – Аль Хорезми 2009» (Ташкент, «НУУз им. М. Улугбека», «Филиал МГУ им. М.В. Ломоносова»,18-21 сентября 2009);

- Международная конференция «IT Promotion in Asia-2009» (Ташкент, ТУИТ, 22-25 сентября 2009);

- Седьмая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов государств-участников РСС «Техника и технологии связи» (Алматы, 14-16 октября 2009).

- Республиканской научно-техническая конференции докторантов, аспирантов, магистрантов и студентов «Инфокоммуникационные технологии и проблемы телекоммуникаций», (Ташкент, ТУИТ, 21-22 апреля 2011).

Опубликованность результатов. По результатам диссертации опубликовано 19 научных работ, в том числе в виде 1 препринта, 5 статей в научных журналах, и получено авторское свидетельство.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 107 наименований и приложения. Работа изложена на 146 страницах машинописного текста, содержит 33 рисунков и 9 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации; освещена степень изученности решаемой научно-технической задачи; отражена связь диссертационной работы с тематическими планами научно-исследовательских работ; сформулированы цели и задачи исследования; охарактеризованы объект и предмет исследования, методы исследования; сформулирована исходная гипотеза исследования; изложены основные научные положения, выносимые автором на публичную защиту; перечислены основные новые научные результаты диссертации; показана научная и практическая значимость результатов исследования; отражена степень реализации полученных результатов и выполненных разработок; приведены сведения об апробации работы, опубликовании результатов исследования, структуре и объеме диссертации, а также дано краткое описание содержания глав диссертационной работы.

В первой главе диссертации выполнен анализ современного состояния методов и средств повышения качества функционирования беспроводных широкополосных сетей передачи данных, проанализированы тенденции их дальнейшего развития и совершенствования: рассмотрены факторы, влияющие на качество работы беспроводных локальных сетей; проанализированы методы и средства обеспечения качества передачи информации в беспроводных широкополосных сетях; описаны стандартные механизмы обеспечения требуемого качества обслуживания, а также методы обеспечения безопасности высокоскоростных беспроводных сетей; проанализированы технологии управления потоками данных в беспроводных широкополосных сетях, основанных на IP- протоколе.

Применение беспроводных информационных технологий обеспечивает гибкость архитектуры, включая поддержку мобильности, быстроты

проектирования и низкие затраты на реализацию беспроводных широкополосных сетей. Рост числа пользователей беспроводных сетей, а также объемов передаваемых данных обусловлено появлением новых высокоскоростных технологий.

За последние десять лет скорость передачи данных в беспроводных сетях выросла с 1-2 Мбит/с до 50-70 Мбит/с. В ближайшее время ожидается появление устройств беспроводного доступа со скоростями до 500 Мбит/с.

Современные беспроводные протоколы должны обеспечивать не только высокоскоростную передачу данных, но и качественную доставку голосовой и видеоинформации в условиях неизбежных помех.

Развитие телекоммуникационных технологий характеризуется повышением требований к качеству предоставляемых услуг связи. Обеспечение качества последних всегда опиралось на государственную концепцию качества, регламентируемую и приводимую в жизнь в области телекоммуникаций и связи государственными организациями. В настоящее время требуются новые подходы к эксплуатации беспроводных сетей.

В первую очередь, это связано с тем, что при поиске сбоев и отказов в современных системах передачи информации наибольшее время тратится на выявление причин, которые связаны с характеристиками каналов и линий связи, внутрисистемным и межсистемным взаимодействием, а также непреднамеренными или преднамеренными действиями персонала или посторонних лиц.

Во-вторых, под качеством понимается также достижение определенных показателей производительности и надежности при передаче данных по беспроводной сети. В последних версиях стандартов беспроводных сетей появился ряд механизмов поддержки качества обслуживания. Однако требуется дополнительные исследования эффективности этих механизмов, для чего необходимо разработать соответствующие методы оценки качества, производительности и надежности передачи данных. Ядром таких подходов является представление о том, что естественные биологические нейроны можно моделировать простыми искусственными автоматами, а вся сложность человеческого мозга, его гибкость в обработке информации и другие его качества, определяются связями между нейронами; при этом каждая связь представляется как простой элемент, служащий для обмена сигналами.

Для описания устройств и алгоритмов функционирования нейронных сетей разработана специальная системотехника (нейроны, дендриты, сумматоры, синапсы), предусматривающая объединение простейших устройств в функционально ориентированные сети, предназначенные для решения конкретных задач.

Одна из заманчивых особенностей нейроинформационных технологий состоит в возможности сформулировать стандартный способ решения многих нестандартных задач. При этом вместо программирования применяются различные процедуры обучения; труд программиста

заменяется трудом учителя (в некоторых случаях в качестве учителя может выступать имитационная или аналитическая модель).

Анализ фактического материала, привлеченного в этой главе, позволяет на основе сформулированной выше гипотезы исследования обосновать уточненную основную цель и вытекающие из нее задачи исследования.

Вторая глава диссертационной работы посвящена разработке методов повышения качества передачи данных в нагруженных беспроводных широкополосных сетях. Приведено систематизированное описание показателей качества функционирования широкополосных каналов связи, отражены нормы на параметры качества в IP-сетях. Разработана модель многоуровневого механизма управления трафиком в беспроводных широкополосных сетях. Описан предложенный метод оценки качества прохождения классифицированных данных в беспроводной среде на основе эталонных моделей. Предложена аналитическая модель функционирования многоуровневой системы управления потоками данных в беспроводной среде. Выполнено имитационное моделирование поведения беспроводной широкополосной сети при высокой нагрузке. Проанализированы результаты имитационного моделирования исследуемого объекта.

Процесс передачи сообщения в дискретном канале включает две основные операции: сопоставление каждого сообщения с несущей сигнала конечной длительности, поступающим в радиолинию, и идентификацию (распознавание) сигнала, который поступает с выхода радиолинии на вход приемника.

Для структурной схемы дискретного канала справедливо следующее отображение:

$$\{a_i\} = L_3\{x_i(t)\} = L_3\{L_1 L_2[\{a_i\} + [n_i(t)]]\}, \qquad (1)$$

где L_1 -оператор передатчика, превращающего преобразование сообщения $\{a_i\}$- в сигналы $\{S_i\}$; L_2 - оператор линии связи; L_3- оператор приемника, превращающего сигнал в решения $\{a_i\}$; *n(t)* - аддитивные помехи и шум, действующие на входе приемника; $x_i(t) = L_2\{S_i(t) + n_i(t)\}$ - смесь сигнала и помехи на входе приемника.

Рассмотренная методика позволяет производить расчет покрытия сетей широкополосного доступа на практике, нарабатывая тем самым опыт внедрения технологий широкополосного доступа с обеспечением качества работы и внедрения конкурентоспособных услуг.

Одной из важных задач совершенствования техники передачи дискретной информации по радиоканалам в системах связи является обеспечение высокой достоверности передачи данных с помощью помехоустойчивого кодирования. Одновременно с этим повышаются требования к алгоритмам исправления ошибок в каналах с шумами, что вызывает необходимость создания методов надежного декодирования

дискретных каналов с эффективностью, близкой к оптимальной по энергетике канала.

Для разработки и апробации таких методов требуется математическая модель канала связи, позволяющая проводить исследование помехоустойчивости этого канала с применением корректирующих кодов, обеспечивающих высокую достоверность передачи данных. В основу модели целесообразно положить понятие предельной помехоустойчивости, которая описывает значение нижней границы соотношения «сигнал-шум» в канале передачи сигналов (выход модулятора - вход модулятора) при заданном критерии точности воспроизведения сигнала источника на прямом конце канала. Значение нижней границы находится с помощью теоремы кодирования Шеннона для передачи сообщения от непрерывного источника по каналу с шумом при заданном критерии точности. В этой теореме постулируется, что желаемая точность воспроизведения достигается с помощью соответствующего кодирования при условии $R(E) \le C$, где R(E) - скорость передачи информации; C - пропускная способность канала передачи кодовых символов канального алфавита; $C = C_c / T_c$; C_c - пропускная способность передачи символов в единицах измерения информации за длительность кодового сигнала.

Отношение « сигнал- шум» в канале передачи на кодовый символ

$$n_c^2 = t_c P_{cp} / N_0 . \qquad (2)$$

Можно получить выражение для нижней границы отношения «сигнал-шум» в идеальном канале передачи при заданном искажении ε:

$$P_{cp} / N_0 = R(\varepsilon) / (C_c / n_c^2), \qquad (3)$$

где C_c / n_c^2 нормированная по n_c^2 – пропускная способность, которая позволяет сопоставлять различные каналы по их предельной помехоустойчивости при одинаковых источниках и требованиях к точности воспроизведения.

Оценка предельной помехоустойчивости в реальном канале должна производиться по (3), но с учетом значений нормированной пропускной способности этих каналов. Скорость передачи информации R(ε) зависит от статистики источника и заданного критерия точности воспроизведения.

Рассмотренная модель позволяет определить предельную помехоустойчивость передачи информации по каналам с реальными характеристиками при заданном критерии точности воспроизведения сигнала источника на прямом конце и оценить степень приближения реальной помехоустойчивости к предельно достижимой для данных источника и канала, а также принятой системы кодирования.

В работе также приведены нормы на параметры качества IP - сетей и численные значения оценок параметров качества работы широкополосных сетей (задержек, доступа, потерь и гарантий), используемых в IP сетях.

Разработана модель многоуровневого механизма управления трафиком в БШЛС, обеспечивающая контроль, анализ и управление всеми процессами, протекающими в системе связи на всех этапах жизненного цикла сети. За

эталон качества для БШС принята проводная Ethernet-сеть. Такой подход позволяет анализировать изменения качества беспроводной сети при различной загруженности и передаче различных видов трафика. Статистические данные, снятые с беспроводной сети, сравниваются с эталоном. Полученные данные классифицируются и обрабатываются динамически. Как только появляется проводной сегмент, в режиме реального времени строится эталонная модель. На основе эталона осуществляется обучение искусственной нейронной сети и строится плановый прогноз. Эталоном качества беспроводной широкополосной сети выступает проводная локальная сеть. Нейронная сеть обучается прогнозированию движения данных в беспроводной сети.

Использование оценки качества прохождения данных на основе эталонных моделей с использованием элементов нейросетевого моделирования дает возможность оценивать качество прохождения классифицированных данных в беспроводной сфере. Такой подход к предсказанию поведения сети на основе эталонных моделей позволяет управлять потоками данных в сети и обеспечивать необходимый уровень качества трафика, размера потока данных в свободные точки доступа. Достигается оптимизация параметров одновременно в режиме реального времени. В этом процессе сокращаются потери, а также снижается уровень задержек.

В работе показано, что механизмы, функционирующие и управляющие трафиком лишь на одном уровне иерархии, не позволяют решать все возникающие проблемы, поскольку требуется корректировка сразу нескольких параметров на разных уровнях иерархии. Предлагаемая система управления ориентирована на работу на четырех уровнях модели DoD: на уровне сетевого доступа, на уровне Internet, транспортном (хост-хост) и на уровне процессов.

На уровне сетевого доступа решения принимаются на основании прогнозного анализа трафика, передаваемого по сети. На базе прогноза поведения системы на следующий момент времени система управления формирует управляющее воздействие по собственному внутреннему протоколу для управляющего агента.

На уровне Internet осуществляется управление отделами подсети, определяются маршруты пересылки пакетов от источника к пункту назначения – в зависимости от загрузки сети. Система управления получает данные посредством libcap, анализирует и обрабатывает их с помощью системы принятия управленческих решений и обеспечивает управление агентами посредством Telnet/SSH/Protocol/RCP механизмов. Алгоритм выбора оптимального узла доступа предусматривает определение характеристик радиоканала и оценку пропускной способности на основе соотношения «сигнал-шум», а также данных о загруженности узла. Такой подход позволяет распределить нагрузку со стороны пользователей по

множеству узлов доступа и повысить общую эффективность функционирования сетей.

Транспортный уровень обеспечивает по защищенному каналу связи прием данных от верхних уровней иерархии, позволяя разбить их на сигналы и передать данные сетевому уровню, гарантируя, что информация в правильном виде прибудет по назначению. Управление происходит посредством агентов системы управления (отдельное самостоятельное приложение – Linuxbased AP, системный SNMP- агент, настроенный соответствующим образом QoS/agent или iptables htb).

Наконец, *на уровне процессов* на основе анализа данных, получаемых от агентов, происходит управление полосой пропускания (htb) и осуществляется анализ влияния разнородного трафика на работоспособность системы, что позволяет анализировать параметры модели DoD и управлять устройствами системы на втором уровне сетевого взаимодействия, где в зависимости от характера трафика возможно изменение настроек сетевых устройств для корректировки маршрута трафика при перегрузках на узлах системы.

В работе аналитическими приемами разработана математическая модель многоуровневой системы управления потоками данных в беспроводной среде.

Предложена имитационная модель процессов поведения трафика в беспроводной сети при высокой нагрузке, позволяющая поддерживать «многопоточность», т.е. возможность генерировать трафик в несколько потоков одновременно. При этом показана целесообразность подхода, основанного на использовании некоторых особенностей построения TCP/IP стека ядер Linux ветки 2.4 с использованием netfilter. Предлагается производить некий специальный Network Address Translation – таким образом, что с внешней стороны (со стороны роутеров или точек доступа) это выглядит как работа многонитевой программы. Scheduling policy в данном случае идет отдельной реализацией, что позволяет более точно моделировать трафик.

Для сравнения репрезентативности экспериментов были исследованы и сопоставлены серии из четырех экспериментов для каждой из настроек точки доступа. Сравнение внутри этих серий показало, что выбранные параметры эксперимента позволяют получать устойчивые, сопоставимые результаты. Выбранная для экспериментов беспроводная сеть состояла из одной точки доступа и девяти беспроводных устройств, находящихся в зоне охвата точки доступа. В свою очередь, последняя была подключена к высокоскоростной проводной сети Ethernet , что позволило одновременно анализировать данные как проводного, так и беспроводного участка сети. Полученные данные обрабатывались с помощью пакета прикладных программ MATLAB.

При имитационном моделировании локальная беспроводная сеть стандарта 802.11g рассматривалась как черный ящик, на вход которого подаются параметры сети, полученные при экспериментальных измерениях:

время отправки пакета; процент потерянных пакетов и задержка пакетов. На выходе получаем искажения, возникающие при передаче трафика, а также дополнительный параметр, вносимый задержкой пакета. Установлено, что наибольшее влияние на загрузку канала и качество работы сети оказывают соответственно видео и голосовой трафик.

В третьей главе работы отражена разработка метода повышения качества передачи данных в беспроводных широкополосных сетях на основе нейроадаптивных алгоритмов управления. Изложено применение нейронных сетей для целей оперативного краткосрочного прогнозирования. Осуществлен выбор модели нейронной сети для прогнозирования поведения потоков данных. Отражено применение алгоритма обучения с обратным распространением ошибки для реализации нейронных сетей, осуществляющих оперативное краткосрочное прогнозирование. Разработан алгоритм оперативно-прогнозного управления потоками данных в нагруженной беспроводной сети с элементами нейросетевого прогнозирования. Обоснована методика определения параметров качества при управлении беспроводной средой передачи информации. Отражена реализация метода повышения качества передачи данных в беспроводных сетях на основе нейроадаптивных алгоритмов управления.

Изучены свойства искусственных нейронных сетей с целью определения целесообразности их применения для реализации механизма управления с использованием процедуры прогнозирования входящей нагрузки, и с помощью микроконтроллера точки доступа при формировании потока данных. Даны основные понятия и предложена классификация исскуственных нейронных сетей. Выполненный анализ позволил остановить выбор на алгоритме обучения нейронных сетей, основанном на процедурах обратного распространения ошибки.

Для эффективного управления процессом выделения каналов контроллер точки доступа беспроводной сети анализирует в реальном времени целый ряд радиочастотных характеристик. Так, при принятии решений общесистемного характера контроллер беспроводной сети анализирует сведения о радиочастотных характеристиках и использует полученные результаты работы интеллектуальных алгоритмов. Для разрешения конфликтов между запросами применяются мягкие метрики решений, гарантирующие оптимальный выбор решения для минимизации сетевых помех. Конечным результатом является оптимальное распределение каналов в трехмерном пространстве; определение мощности передачи точек доступа в сети, в котором все точки доступа размещены на полу и под потолком; наличие различного рода препятствий и помех на пути сигнала. Возможность регулирования мощности точки доступа, управления буфером и другими параметрами играет важную роль в общей конфигурации беспроводной сети, обеспечивая ее оптимальную работоспособность.

Качество обработки данных в среде передачи неразрывно связано с точностью настройки базовых систем приема/передачи. Одним из

механизмов обеспечивающих точность является низкоуровневое управление драйвером оборудования. Поэтому прогнозирование возможных параметров настройки и внесение соответствующих поправок в управление связано с качественным уровнем задачи управления.

В работе предлагается использовать НС в системах адаптивного управления для оценки состояния процесса управления по результатам косвенных распределенных измерений на среде передачи данных. Основываясь на выводах сделанных в этой работе, нами была предпринята попытка прогнозирования поведения различного трафика в гетерогенной сети с учетом непостоянства его основных характеристик. Исходные данные для выполнения анализа были получены по математической модели, которая в общем виде выглядит следующим образом:

$$q = \frac{1}{a \cdot k_*} \int_0^t F(t) e^{-h(t-\tau)} \sin k_* (t-\tau) d\tau$$

где q - линейное изменение среды передачи, a - обобщенный коэффициент потерь пакетов; k* - дивиация трафика; h - коэффициент, характеризующий устойчивость связи; F(t) – передаваемый трафик; t - время передачи.

Первоначально был выполнен выбор архитектуры и проведение обучения сети. Задача выбора архитектуры сети для большинства сетей является неформализованной. Для расчета числа нейронов на скрытых уровнях сети воспользовались следующей формулой:

$$\frac{N_y N_p}{1+\log_2(N_p)} \le N_w \le N_y \left(\frac{N_p}{N_x}\right)\left(N_x + N_y + 1\right) + N_y$$

Где N_x - размерность входного сигнала; N_y – размерность выходного сигнала; N_p – число элементов обучающей выборки.

N_p, N_x и N_y определились из условий экспериментов. Эксперименты проводились с допущениями, что обобщенные коэффициенты потерь и линейных изменений среды передачи являются переменными параметрами и могут меняться по нормальному закону распределения в пределах 1%, параметры дивиации могут меняться по тому же закону в пределах 5%. Сделано это было для внесения зашумления в рабочий сигнал. Согласно математической модели были получены интересующие нас входные и выходные параметры для систем управления по каждому из протоколов передачи и условий среды.

Графики изменения ошибки предсказания НС представлены на рис.1. На графике ось y– ошибка предсказания в %, ось x – элементы выборки. Для контроля ошибки предсказания использовались данные полученные из расчета по математической модели в системе «Mathcad». Вертикальные линии отмечают контролируемую выборку по диапазонам изменения времени. Первый – от 0 до 30 мс, второй - от 30 до 240 мс, третий - от 240 до 320 мс.

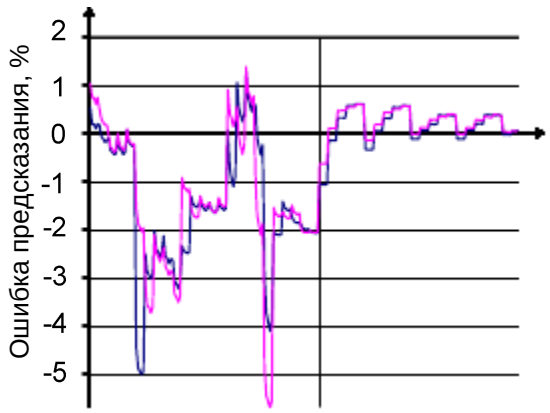

Рис.1. Графики изменения ошибки предсказания НС

Беспроводные устройства должны быть в состоянии переключаться с одного узла доступа на другой при возрастании загрузки беспроводной среды или при других подобных изменениях. Реализация таких динамических интеллектуальных функций требует алгоритмов с высокой степенью адаптивности, способных корректировать в реальном времени сразу несколько параметров. Использование данной технологии при проектировании сети позволяет значительно увеличить количество одновременно обслуживаемых абонентов и зафиксировать качество предоставляемых услуг на высоком уровне для каждого вида сервиса.

Схема функционирования предлагаемого механизма предсказания поступающей нагрузки от пользователя представлена на рис.2.

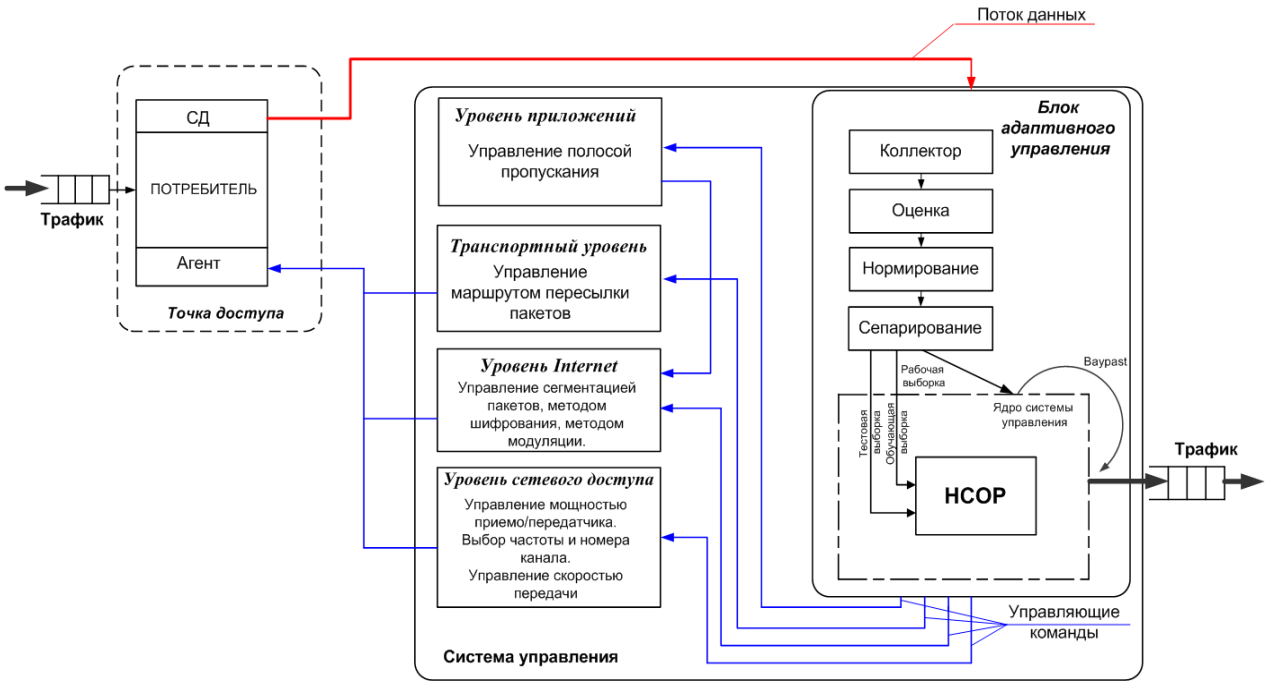

Рис. 2 Архитектура системы предсказания поступающей нагрузки с использованием НСОР.

Как видно из данной схемы, механизм коллекторов (программа «демон», собирающий данные о состоянии трафика сети) осуществляет сбор данных с сети (с беспроводных интерфейсов устройств сети), затем полученные данные оцениваются средним значением момента, и выбирается эталонный интерфейс, который в дальнейшем будет служить эталоном качества в данной беспроводной сети. По окончании процедуры оценки происходит нормирование параметров на соответствие полученных значений

эталону. Значениям происходит разделение полученных данных на три выборки: тестовую, обучающую и рабочую. Рабочая выборка поступает на выход СУ в обход ядра системы управления. Соответственно часть выборки отправляется на самообучение ядра СУ.

Данная система имеет распределенную архитектуру с централизованной системой управления. Такой подход позволяет улучшить эффективность работы СУ за счет использования одновременно централизованного и децентрализованного подходов к реализации структуры СУ. Таким образом, улучшается эффективность сети – она распределяет нагрузку, впрочем, не всегда архитектурно эффективно. Иными словами, если одна система работает с устройствами сети, то вторая сможет захватить управление только над новыми узлами и отдавать свою вычислительную мощность первой системе, что позволяет контролировать работу всех СУ в сети и обеспечить согласованность в работе устройств.

СУ реализована в виде программного комплекса, состоящего из 4х блоков написанных на языке C++, с кросплатформенной реализацией. Ядро системы управления реализовано на языке C++ с использованием библиотеки построения искусственных нейронных сетей Fast Artificial Neural Network Library (FANN).

Как отмечалось, для исследования характеристик беспроводной сети за эталон качества приняты характеристики проводной Ethernet-сети, что позволяет проанализировать изменения характеристик беспроводной сети при различной загруженности и передаче разного вида трафика. Полученные статистическим путем данные классифицируются и обрабатываются динамически - исходя из набора данных. Эталонная модель формируется динамически в режиме реального времени путем сбора статистических данных; на основе эталона производится обучение нейронной сети и строится плановый прогноз. Таким образом, существует возможность оценивать качество прохождения классифицированных данных в беспроводной среде и на основе полученного прогноза осуществлять оптимизацию параметров в режиме реального времени.

Система управления реализована в архитектуре «менеджер-агент», где менеджер выдает агентам команды на управляющие воздействия и получает извещения, а агент (как программная модель управляемого объекта) выполняет управляющие действия и порождает (при возникновении определенных событий) извещения от его имени.

Четвертая глава посвящена результатам экспериментальной проверки и практическому применению метода управления потоками данных в нагруженных широкополосных локальных сетях. Обоснованна методика проведения экспериментальных исследований, приведены результаты опытно-промышленных испытаний разработок диссертационной работы и отражено практическое применение результатов исследования. Обсуждены вопросы экономической эффективности от реализации разработок, выводов и конкретных рекомендации, сформулированных в работе.

Цель экспериментальных исследований состояла в определении оптимальных параметров функционирования беспроводной сети и выявлении возможности управлять данными, обеспечивающими достижение требуемых параметров качества функционирования сетей. Испытания проводились на тестовой площадке беспроводной сети Wi-Fi компании ЗАО «Shark Telekom» в Ташкентском городском парке им. А. Кадыри в течение шести месяцев.

На первом этапе проводилось исследование характера трафика в испытуемой сети. На следующем этапе изучено влияние загруженности сети на качество передаваемых данных, потерь и критичность к различным приложениям. Затем следует этап обучения ядра системы управления на действующей сети.

Проведенные исследования показали, что механизм управления потоками данных с применением нейроадаптивных алгоритмов позволяет повысить эффективность функционирования беспроводной сети. Оперативное прогнозирование поведения сети на основе эталонных моделей позволяет управлять потоками данных и обеспечивать необходимый уровень качества, регулируя и перенаправляя потоки данных свободной точке доступа, управляя мощностью сигнала точки доступа, а также автоматически выбирать оптимальный разночастотный диапазон.

Система управления с архитектурой «менеджер-агент» позволяет охватывать все устройства сети. В случае крупных распределенных сетей система управления может быть установлена на опорных точках доступа, что позволяет сократить время и затраты на внедрение. Предлагаемая распределено-централизованная система управления позволяет одновременно нескольким СУ функционировать в составе единой сети. Система управления сети имеет иерархическую структуру, а собственно сеть может содержать множество систем управления, каждая из которых отвечает за свой участок и за взаимодействие между своими точками доступа. При этом одна из систем управления выступает за мастера, назначаемого путем маркерного голосования и отвечающего за всю сеть в целом.

Показано, что эффективность функционирования сети повышается при использовании нейроадаптивных алгоритмов управления, реализованных в виде системы управления потоками данных. Испытания свидетельствуют, что качество работы широкополосной сети повышается в среднем на 20-30%. Благодаря использованию нейроадаптивных механизмов управления система может эффективно работать в сетях, функционирующих под управлением протокола IEEE 802.11.

В заключении приведены основные научные результаты, полученные в ходе выполнения работы.

В приложении приведены копии документов, удостоверяющих внедрение результатов диссертационной работы, а также таблицы, полученные на основе тестовых испытаний данных. Кроме того, приведены сравнительные таблицы, свидетельствующие об эффективности

предлагаемых методов и алгоритмов повышения качества передачи данных в нагруженных беспроводных широкополосных сетях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате теоретических и экспериментальных исследований разработаны, исследованы и реализованы методы повышения качества передачи данных в нагруженных беспроводных широкополосных сетях передачи данных, основанные на концепции оперативно-прогнозного управления с использованием нейросетевых технологий.

В ходе выполнения работы получены следующие основные научные результаты:

1. Разработан метод повышения качества передачи данных в беспроводной широкополосной сети на основе реализации нейроадаптивных алгоритмов управления, отличающийся от существующих тем, что данный подход позволяет обеспечить требуемый уровень качества за счет анализа и управления потоками данных на всех этапах передачи данных по сети.
2. Разработан метод оценки качества прохождения классифицированных данных в беспроводной среде, отличающийся от существующих тем, что предложенный подход позволяет адекватно оценивать функционирование беспроводной локальной сети в реальном масштабе времени.
3. Предложены алгоритмы краткосрочного оперативно-прогнозного управления трафиком в загруженной беспроводной широкополосной сети, основанные на искусственных нейронных сетей.
4. На основе проведенного анализа и исследований моделей нейронных сетей выбрана модель нейронной сети и алгоритм обучения с обратным распространением ошибки для использования в качестве прогнозатора в составе системы управления.
5. Обоснован и разработан многоуровневый механизм управления трафиком в широкополосных беспроводных сетях, обеспечивающий эффективный контроль, анализ и управление.
6. Получена имитационная модель поведения трафика в широкополосной беспроводной сети при высокой нагрузке, отражающая характер влияния загруженности сети на качество предоставляемых услуг для различных видов трафика.
7. Отражены результаты опытно-эксплуатационных испытаний разработок диссертационной работы и осуществлено практическое их применение в широкополосных сетях. Расчеты показали, что ожидаемый экономический эффект от внедрения системы управления беспроводными широкополосными сетями потоками данных на беспроводной сети “Sharq Telekom” составит 4,6 млн. сум в год, за счет увеличения количества ее абонентов без расширения сети.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Ю.А. Яковлева. «Перспективы использования беспроводных технологий в образовании». Сборник тезисов Республиканской научно-практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов, том 1, ТУИТ, Ташкент, 2006 - с. 287-290.
2. Ю.А. Яковлева. «Компьютерные средства моделирования беспроводных сетей». Том 3, ТУИТ, Ташкент, 2007 - с. 113-118.
3. Ю.А. Яковлева, Б.А. Зиямухамедов. «Качество предоставления услуг Triple Play в широкополосных беспроводных сетях Wi-Fi». Республиканская научно-практическая конференция аспирантов, магистрантов и студентов, ТУИТ, Ташкент, 2008 - с. 86-87.
4. С.С. Касымов, Ю.А. Яковлева. «Оценка качества WLAN методом эталонных моделей». Труды IV международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов государств участников РСС «Техника и технологии связи», Ташкент, 2008 - с. 281-282.
5. С.С. Касымов, Ю.А. Яковлева. «Применение нейронных сетей для управления потоками данных в беспроводных сетях 802.11», Вестник ТУИТ Ташкент. 2009. №1 - с.7-10.
6. Ю.А. Яковлева. «Интеллектуальные механизмы управления трафиком в загруженной беспроводной широкополосной сети», Вестник ТУИТ, №2/2009 - с. 29-32.
7. S.S. Kasimov, Yu. A. Yakovleva. «Introduction of data traffic management systems in IP protocol based networks and its perspectives». Тезисы международной научной конференции «Актуальные проблемы математики и информационных технологий-Аль Хорезми 2009», Ташкент, 2009. - с. 126-127.
8. С.С. Касымов, Ю.А. Яковлева. «Перспективы внедрения систем управления потоками данных в сетях на основе IP-протокола». Труды международной научной конференции «Актуальные проблемы математики и информационных технологий-Аль Хорезми 2009», том 2, Ташкент, 2009. - с. 124-127.
9. С.С. Касымов, Ю.А. Яковлева. «Методы и средства обеспечения качества работы беспроводных широкополосных сетей стандарта IEEE 802.11». (Препринт, Р8-191), Институт математики и информационных технологий АН РУз. Ташкент, 2009. - 50 с.
10. Yu. A. Yakovleva, S.S. Kasimov, R. Asimov. «Recursive Algorithm of Signals Sources Isolation», Proceedings of conference ITPA-2009, September 21-25, 2009 - pp. 134-137.
11. Sh.M. Gulyamov, Yu. A. Yakovleva, S.S. Kasimov, F.Z. Fahrutdinov. «Quality Indicators of Broadband Connection Channels», Proceedings of conference ITPA2009, September 21-25, 2009 - pp.233-236.

12. Yu. A. Yakovleva. «Methods Productivity Development of IEEE 802.11 Wireless Broadband Networks», Proceedings of conference ITPA2009, September 21-25, 2009 - pp. 229-232.

13. Ю.А. Яковлева, «Алгоритм оперативно-прогнозного управления потоками данных в загруженных беспроводных сетях», Журнал «Химическая технология. Контроль и управление». ТГТУ, Ташкент. 2009. №6 - с.88-91.

14. Ю.А. Яковлева, С.С. Касымов, Е.В. Марченко. «Особенности развертывания беспроводных сетей 802.11g масштаба города в условиях плотной городской застройки и недружественной эфирной среды». II Международный научно-технический симпозиум "Новые технологии в телекоммуникациях", ГУИКТ - Карпаты, 2009. с.62-63.

15. Ю. А. Яковлева, С.С. Касымов Х. Хакимов. «Механизмы управления трафиком в беспроводных широкополосных сетях». Труды IIV Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов-государств участников РСС «Техника и технологии связи», Алматы 2009 - с. -18-20.

16. Ю.А. Яковлева, Х. Хакимов. «Сетевые системы управления передачи информации по каналам множественного доступа». Сборник тезисов Республиканской научно технической конференции «Научно-технические проблемы севременного машиностроения». Ташкент. 2010. с.112-116.

17. Ю.А. Яковлева. «Использование аппарата нейронных сетей в системах управления в связи и машиностроении». Сборник тезисов Республиканской научно технической конференции «Научно-технические проблемы современного машиностроения». Ташкент. 2010. с.175-179.

18. Ю.А. Яковлева, Х. Хакимов. «Особенности развертывания беспроводных сетей 802.11g в масштабах города». Журнал «Вестник ТУИТ». Ташкент. 2010. №2- с.10-13.

19. Ю.А. Яковлева, С.С. Касымов, М.Б. Зайнутдинова. «Формирование решающего правила классификатора сигналов». Журнал «Химическая технология. Контроль и управление». ТГТУ, Ташкент. 2010. №6 - с.64-67.

РЕЗЮМЕ

диссертации Яковлевой Юлии Алексеевны на тему: «Повышение качества передачи данных в нагруженных беспроводных широкополосных сетях на основе реализации нейроадаптивных алгоритмов управления» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.13 – «Телекоммуникационные системы и компьютерные сети».

Ключевые слова: нейронные сети, сети передачи данных, оперативное прогнозирование, управление потоками данных.

Объекты исследования: процессы, отражающие качество функционирования нагруженных беспроводных широкополосных сетей стандарта IEEE 802.11.

Цель работы: разработка методов повышения качества работы широкополосной беспроводной сети за счет управления потоками данных в нагруженных беспроводных широкополосных сетях передачи данных на основе нейроадаптивных алгоритмов управления.

Методы исследования: методы теории вероятностей, теории массового обслуживания, теории оптимизации, имитационного моделирования, математической статистики, кластерного анализа и теории искусственных нейронных сетей.

Полученные результаты и их новизна:

- разработка метода оценки качества прохождения классифицированных данных в беспроводной среде, отличающегося от существующих тем, что данный подход позволяет адекватно оценивать функционирование беспроводной локальной сети в реальном масштабе времени;
- разработка механизмов управления потоками данных с элементами нейросетевого прогнозирования в широкополосных беспроводных сетях, функционирующих под управлением семейства протоколов IEEE 802.11;
- использование разработок диссертационной работы в задачах анализа качества работы беспроводных широкополосных сетей в реальном масштабе времени;
- определение на базе предлагаемых механизмов управления оптимальных параметров качества предоставляемых услуг, обеспечивающих существенное повышение качества работы беспроводной сети.

Практическая значимость: разработанные методы и программные продукты могут быть использованы при эксплуатации, проектировании, построении и модернизации беспроводных широкополосных сетей передачи данных.

Степень внедрения и экономическая эффективность: Результаты работы внедрены на беспроводной сети ООО «Sharq Telekom» и используются в учебном процессе ТУИТ по дисциплинам «Системы искусственного интеллекта» и «Управление в телекоммуникационных сетях».

Область применения: беспроводные широкополосные сети передачи данных стандартов IEEE802.11 и 802.16.

Техника фанлар номзоди илмий даражасига талабдор Яковлева Юлия Алексеевнанинг «Телекоммуникацион тизимлар ва компьютер тармоқлар» - ихтисослиги бўйича 05.13.13. «Бошқаришнинг нейроадаптив алгоритмлари реализацияси асосидаги юкланган симсиз кенг полосали тармоқларда маълумотларни узатиш сифатини ошириш» мавзусидаги диссертациясининг

РЕЗЮМЕСИ

Таянч (энг муҳим) сўзлар: нейрон тармоқлар, маълумотларни узатиш тармоқлари, маълумотлар оқимини бошқариш, сифат, нейроадаптив механизмлар.

Тадқиқот объектлари: IEEE 802.11. стандартининг юкланган, симсиз кенг полосали тармоқлари иши сифатини акс этувчи жараёнлар.

Ишнинг мақсади: Кенг полосали симсиз тармоқлар ишининг нейроадаптив бошқариш алгоритмлари асосидаги маълумотларни узатиш юкланган симсиз кенг полосали тармоқларда маълумотларни бошқариш ҳисобига сифатини ошириш усулларини ишлаб чиқиш.

Тадқиқот методлари: Қуйилган мақсадга эришиш учун эҳтимоллар назарияси, оптимизациялаш назарияси, имитацион моделлаштириш, математик статистика, кластер таҳлил ва сунъий нейрон тармоқлар назарияси усулларидан фойдаланилди.

Олинган натижалар ва уларнинг янгиликлари: Симсиз кенг полосали тармоқлар иши сифатини юкланган кенг полосали симсиз тармоқларда маълумотлар оқимини бошқариш ҳисобига ошириш усули ишлаб чиқилган; таснифланган маълумотларнинг мавжуд мавзулардан фарқланувчи симсиз муҳитда утиш сифатини баҳолаш усули ишлаб чиқилган бўлиб, ушбу ёндашув симсиз тармоқларнинг реал вақт масштабида ишлашини адекват баҳолаш имконини беради; IEEE 802.11. протоколлар оиласининг бошқаруви остида ишловчи кенг полосали симсиз тармоқларда нейротармоқли башоратлаш элементлари иштирокидаги маълумотлар оқимини бошқариш механизми ишлаб чиқарилган; симсиз кенг полосали тармоқларнинг ахборотни тармоқда узатишнинг барча босқичларида назорат қилиш ва бошқариш имконини берувчи сифат параметрларини бошқаришнинг кўп даражали модели таклиф қилинган.

Амалий аҳамияти: Ишлаб чиқилган усуллар ва дастурий маҳсулотлар маълумотларни узатиш симсиз кенг полосали тармоқларини эксплуатация қилиш, лойиҳалаштириш, қуриш ва модернизациялашда қўлланилиши мумкин.

Тадбиқ этиш даражаси ва иқтисодий самарадорлиги: Ишнинг натижалари «Sharq Telekom» МЧЖ симсиз тармоғига тадбиқ этилган ва ТАТУда «Сунъий интеллект тизимлари» ва «Телекоммуникацион тармоқларда бошқарув» фанлари бўйича ўқув жараёнларида қўлланилади.

Қўлланиш (фойдаланиш) соҳаси: Маълумотларни узатиш сифатини оширишнинг диссертация ишида ишлаб чиқилган усул ва механизмлари IEEE 802.11. стандартининг маълумотларни узатиш симсиз кенг полосали тармоқларини эксплуатация қилиш ва модернизациялашда қўлланилмоқда.

RESUME

Thesis of Yakovleva Yulia Alekseevna on the scientific degree competition of the doctor of philosophy in technical on specialty 05.13.13 – «Telecommunication Systems and Computer Networks» on the subject: «Improving of the quality of data transmission in the loaded wireless broadband networks on the basis of implementation of neuro-adaptive control algorithms ».

Key words: neural networks, data transfer network, operational forecasting, data streams management.

Subject of research: the processes reflecting the quality of functioning of loaded wireless broadband of IEEE 802.11 standard.

Purpose of work: to develop the methods of improving the quality of the broadband wireless network by controlling data flow in loaded wireless broadband data networks on the basis of neuro-adaptive control algorithms.

Methods of research: methods of probability theory, theory of waiting lines systems, theory of controlled Markov processes, optimization theory, simulation modeling, mathematical statistics, cluster analysis and the theory of artificial neural networks.

The results obtained and their novelty:

- Development of a method for assessing the quality of passing classified data in a wireless environment, which differs from the existing ones that this approach makes it possible to assess adequately the functioning of the wireless LAN in real time;
- Development of mechanisms to manage the flow of data with elements of the neural network prediction in broadband wireless networks that operate under the control of a family of protocols IEEE 802.11;
- Usage of development of the thesis for analysis of quality of wireless broadband networks in real time;
- Determination on the basis of the proposed mechanisms of controlling of the optimal parameters of the quality of services providing a significant improvement of the quality of a wireless network.

Practical value: developed methods and software can be used in the operation, design, construction and upgrading of wireless broadband data networks.

Degree of embed and economic effectivity: the results of the work were implemented on a wireless network in place at the company «Sharq Telekom» LLC, and are used in teaching process in the disciplines of TUIT "Artificial Intelligence Systems" and "Management in telecommunication networks."

Field of application: wireless broadband data network standard IEEE802.11 and 802.16.