

На правах рукописи

УДК 681.513.8



**МИНИН ВЛАДИМИР ЕВГЕНЬЕВИЧ**

**АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРАВИЛАМИ  
КОНКУРЕНТНОГО ДОСТУПА К СРЕДЕ  
ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА**

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и  
обработка информации (в науке и технике)

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Ижевск 2016

Работа выполнена на кафедре «Информационной безопасности в управлении» ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»

**Научный руководитель:** **Климов Игорь Зенонович**,  
д.т.н, профессор ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова»;

**Официальные оппоненты:** **Поршнев Сергей Владимирович**,  
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой радиоэлектроники информационных систем Уральского Федерального Университета им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина (ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»).

**Кузнецов Игорь Васильевич**,  
д.т.н., доцент, профессор кафедры телекоммуникационных систем Уфимского государственного авиационного технического университета (ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»).

**Ведущая организация:** **ОАО "Российский институт мощного радиостроения"** (ОАО "РИМР", Санкт-Петербург).

Защита состоится «22» декабря 2016 года в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.065.06 в Ижевском государственном техническом университете имени М.Т. Калашникова по адресу: 426033, г. Ижевск, ул. 30 лет Победы, 2, 5 корпус.

С диссертацией и авторефератом диссертации можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», <http://istu.ru>.

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных гербовой печатью, просим направлять на имя ученого секретаря диссертационного совета по адресу: 426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 7, ИжГТУ имени М.Т. Калашникова.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Вологдин Сергей Валентинович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Для решения текущих и перспективных задач в сложных коммуникационных системах актуальной является задача повышения эффективности информационного обмена. Применение цифровых методов формирования и обработки сигналов позволяет внедрять алгоритмы, увеличивающие скорость и надежность передачи данных. Помимо фильтрующих свойств каналов и высокого уровня помех, на качество передачи информации влияют наложения передаваемых сообщений (коллизии) и неэффективное распределение задержек повторных передач. Наложения передаваемых кадров и неправильно подобранные интервалы задержек между сообщениями, даже в идеальном варианте, способны снижать количество успешных соединений более чем в половину. В работе рассматривается коммуникационная среда, как сложная система с прерывисто-синхронным битовым трактом с множественным доступом, пустые периоды которого различимы (с задержкой) от периодов передачи пакетов. В этом случае представляется актуальной разработка алгоритмов и программ, обеспечивающих автоматизацию процесса установки соединений и обмена информацией. При автоматическом установлении соединения значимым вопросом является снижение количества коллизий при конкурировании за установление контакта и снижение временных потерь на повторные попытки. Установление соединения является наиболее уязвимым моментом, поскольку эта процедура, являясь ключевой, наиболее подвержена коллизиям в условиях большого количества абонентов и высокой интенсивности информационного обмена. Выбор оптимальных (по критерию минимизации коллизий и непродуктивных временных простоев) правил доступа к среде позволит максимально успешно использовать возможности каналов передачи информации.

В настоящее время развитие возможностей извлечения и обработки параметров коммуникационных сред позволяет рассматривать систему установления соединений для информационного взаимодействия как многофакторную структуру, одной из задач которой является разработка алгоритма, позволяющего адаптировать правила передачи данных в зависимости от условий, влияющих на вероятность установления соединения.

**Степень разработанности темы:** Различные аспекты теории случайного множественного доступа нашли свое отражение в работах отечественных и зарубежных авторов Л. Клейнрока, Ф.Тобаги, Н. Абрамсона, Б.С. Цыбакова, В. М. Вишневого, А. И. Ляхова и др. однако вопрос исследование возможности управления правилами доступа к среде остался не освещенным.

Известные технические реализации устройств с управлением правилами доступа, как правило, основываются на участии оператора в решении такой задачи. Примером такого решения является устройство

приема/передачи цифровых данных «Спектр», где адаптация ограничивается ручным режимом перенастройки вероятности попытки передачи в протоколе p-persistent CSMA. Управление протоколами без предварительного анализа состояния системы информационного обмена может привести к снижению производительности устройств.

**Цель работы:**

Увеличение производительности систем информационного обмена за счет сокращения количества коллизий и непродуктивных временных простоев в процессе установления соединения при помощи разработанных алгоритмов автоматизированного управления правилами доступа к среде.

**Задачи исследования:**

1. Исследование существующих протоколов доступа к среде и выбор максимально удовлетворяющих условиям функционирования в общей среде с конкурированием. Обоснование выбора критериев и методики оценки правил доступа к среде.

2. Разработка метода оперативного управления доступом к среде информационного обмена, позволяющего повысить скорость обмена информацией при одновременном снижении непродуктивных временных потерь, вызванных коллизиями и непродуктивными временными простоями.

3. Разработка алгоритмов работы и реализации предложенного метода увеличения производительности (вероятности установления соединения) информационного обмена.

4. Оценка эффективности работы предложенного метода путем имитационного моделирования разработанных алгоритмов конкурентного доступа в различных условиях среды информационного взаимодействия.

**Научная новизна результатов**, выносимых на защиту.

1. Разработан метод решения задачи управления правилами доступа к среде, базирующийся на детерминистском (геометрическом) подходе к классификации, позволяющий учесть заданное количество факторов, влияющих на вероятность установления соединения.

2. Синтезированы алгоритмы формализации процесса управления правилами доступа к среде, основанные на разработанном методе.

3. На основе разработанного метода, предложен способ оценки влияния параметров среды информационного обмена на вероятность успешного установления соединения.

4. Разработаны требования и рекомендации, обеспечивающие возможность функционирования предложенных алгоритмов.

5. Методом имитационного моделирования подтверждены основные научные положения, использованные для решения поставленных задач адаптивного управления правилами конкурентного доступа к среде информационного обмена.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Разработан метод адаптивного управления правилами доступа к среде, позволяющий повысить среднее значение коэффициента использования среды

информационного обмена, сформулированы рекомендации к реализации предложенного метода.

**Объект исследования:** коммуникационная среда как сложная система.

**Предмет исследования** – метод выбора правил доступа к среде, позволяющий с максимальной эффективностью использовать общую коммуникационную среду.

**Методология и методы исследования.** В работе использованы положения теории вероятностей и математической статистики, теории случайных процессов, теории массового обслуживания, теория классификации. Полученные результаты подтверждены методами математического и имитационного моделирования.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Предложен метод управления правилами доступа к среде, позволяющий повысить вероятность успешного установления соединения в среде информационного обмена (*соответствует п.4 паспорта специальности*).

2. Разработаны эффективные алгоритмы, реализующие построение и адаптивную коррекцию дерева выбора решений, управление доступом к среде информационного обмена (*соответствует п.5 паспорта специальности*).

3. Разработана система управления процессом доступа к среде информационного взаимодействия основные требования и рекомендации для реализации синтезированных алгоритмов (*соответствует п.9 паспорта специальности*).

**Реализация и внедрение.** Разработанные и представленные в диссертации метод управления доступом к среде информационного обмена, синтезированные алгоритмы, реализующие управление доступом к среде информационного обмена и рекомендации для реализации предложенных алгоритмов использованы для создания устройств при разработке изделий комплекса «Намотка-1» в АО «Сарапульский Радиозавод». Разработанные алгоритмы позволили существенно улучшить технические и эксплуатационные характеристики производимых на предприятии средств связи. Проведенные трассовые испытания подтвердили повышение основных технических показателей выпускаемых изделий.

Результаты работы использованы в процессе разработки процедур автоматизированного анализа процессов реализации в Филиале ПАО АНК «Башнефть» «Башнефть-Региональные продажи», что позволило автоматизировать процесс классификации отклонений в процедурах реализации. Справка о внедрении прилагается к диссертационной работе.

**Публикация результатов:** результаты исследований отражены в 15 печатных работах [1-15], в том числе статьи [1-3] опубликованы в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных журналов и изданиях ВАК.

В статье [1] соискателю принадлежит метод управления правилами конкурентного доступа к среде, позволяющий повысить вероятность

установления соединения. В статье [2] соискателю принадлежит метод оценки эффективности формирования алгоритма управления правилами доступа к среде. В статье [7] соискателю принадлежат результаты анализа эффективности доступа абонентов к общей среде информационного взаимодействия. В статьях [3, 11] соискателю принадлежат результаты анализа эффективности применения синтезированного алгоритма управления правилами доступа к среде, в статье [12] соискателю принадлежит метод управления правилами доступа, а также алгоритмы, разработанные на основе предложенного метода. Остальные результаты в статьях [1-3, 7, 11, 12] принадлежат соавторам.

**Обоснованность и достоверность результатов,** полученных в диссертационной работе, базируется на корректном использовании математического аппарата, апробацией материалов диссертации, программной реализацией и результатами имитационного моделирования.

**Апробация работы.** Основные научные и практические результаты работы обсуждались на тридцать пятой студенческой научной конференции УдГУ г. Ижевск 2006 г.; тридцать шестой студенческой научной конференции УдГУ г. Ижевск 2007 г.; тридцать седьмой студенческой научной конференции УдГУ г. Ижевск 2008 г.; шестьдесят третьей научной сессии посвященной дню радио, Москва, 2008 г.; девятой международной научно-технической конференции «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций ПТиТТ-2008. Казань 2008 г.; седьмой международной научно-практической конференции «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности» г. Санкт-Петербург, 2009г.; 38-й итоговой очно-заочной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых ИПСУБ, посвященной 90-летию государственности Удмуртии, Ижевск 2010 г.; второй Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием «Молодые ученые-ускорению научно-технического прогресса в XXI веке» в г. Ижевске 2013 г.; 16-й Международной конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применение» в г. Москве 2014 г.; X Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Приборостроение в XXI веке. Интеграция науки, образования и производства» г. Ижевск 2014 г.; II Научно-технической конференции ПАО АНК «Башнефть» г. Уфа 2015 г.; XI Международной научно-технической конференции «Приборостроение в XXI веке. Интеграция науки, образования и производства» г. Ижевск 25-27 ноября 2015 г.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения и четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Содержит 137 стр. машинописного текста 56 рисунков, список использованной литературы из 109 наименований, 2 приложения.

## СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** обоснована актуальность темы, дана общая характеристика работы. Определены цель и задачи исследования, сформулированы новые научные результаты и положения, представленные к защите. Представлена научная новизна диссертационной работы. Приведены структура и краткое содержание диссертации.

**В первой главе** произведено обоснование эффективности управления процессом установления соединения, для систем с возможностью анализа условий и параметров среды информационного взаимодействия. Эффективность функционирования системы варьируется через минимизацию количества коллизий и непродуктивных временных простоев. Проведен системный анализ проблем связанных с использованием различных наборов правил, по которым происходит процесс установления соединения.

Произведено математическое моделирование при помощи аппарата расчета характеристик коммуникационных систем, предложенного Л.Клейнроком и А.Тобаги, в котором усредненное значение вероятности установления соединения отражено через коэффициент использования канала, под которым подразумевается соотношение среднего значения успешных попыток соединения к предельному значению успешных попыток соединения в случае идеального планирования информационного взаимодействия. Идеальное планирование информационного взаимодействия подразумевает отсутствие коллизий и непродуктивных временных простоев.

В применяемой методике система информационного взаимодействия представлена как распределенная в пространстве система с общей средой взаимодействия и поступающим потоком запросов на установление соединения, где коэффициент использования канала ( $S$ ) рассчитывается исходя из утверждения, что:

1) появление новых попыток установления соединения и повторно назначенных представляет собой независимый процесс с экспоненциальным распределением;

2) среднее значение коэффициента использования канала зависит от вероятности возникновения коллизии во время установления соединения.

Расчет значения вероятности установления соединения выполнен по формуле:

$$S = \frac{\bar{U}}{\bar{B} + \bar{I}} = GP_s, \quad (1)$$

где  $P_s$  - вероятность успешной попытки соединения;  $G$  - интенсивность попыток соединения;  $\bar{B}$  - ожидаемая длительность периода занятости;  $\bar{I}$  - ожидаемая длительность разделительного интервала между периодами занятости;  $\bar{B} + \bar{I}$  - ожидаемая длительность цикла;  $\bar{U}$  - среднее время работы канала без коллизии во время одного цикла.

В выбранных для анализа протоколах рассматривается имеющийся набор правил доступа к общей среде, прочие условия считаем унифицированными для всех предложенных протоколов. Приведение форматов данных к общему виду позволит использовать в системе любые наиболее выгодные правила доступа к общей среде. В дальнейшем основное внимание в работе уделено целенаправленному выбору следующих параметров правил доступа к среде информационного обмена:

- контроль занятости среды перед попыткой передачи информации;
- вероятности передачи в следующем слоте;
- правила назначения повторной попытки передачи.

С целью анализа влияния параметров среды на продуктивность системы информационного взаимодействия произведен анализ влияния интенсивности попыток передач и задержки распространения данных на вероятность установления соединения каждого из протоколов. Расчет выполнен при следующих условиях:

- абоненты синхронизированы по времени и применяют синхронные протоколы информационного взаимодействия;
- задержка распространения данных между абонентами ( $a$ ) принимает значение от 0 до 1;
- интенсивность трафика ( $G$ ) принимает значение от 0 до 100 кадров в один временной слот.

В результате математического моделирования получены графики зависимостей значений  $S$ ,  $G$ ,  $a$  всех протоколов доступа к среде и сделаны следующие выводы:

1) сформулированным требованиям в большей степени удовлетворяют протоколы: 1- persistent CSMA, p-persistent CSMA, nonpersistent CSMA и ALOHA;

2) каждый из протоколов имеет диапазоны значений задержки распространения данных  $a$  и интенсивности трафика  $G$ , обеспечивающие максимальные значения коэффициента использования общей среды информационного взаимодействия (рисунок 1).

Анализ результатов моделирования позволяет утверждать, что вероятность установления соединения существенно зависит от правил доступа к среде. Однако, учитывая, что набор правил доступа к среде с максимальными показателями является оптимальным не во всем диапазоне параметров (рисунок 1), можно утверждать, что управление правилами доступа к среде, в зависимости от параметров среды информационного взаимодействия, позволит увеличить среднее значение вероятности установления соединения системы, а значит и продуктивность системы в целом.



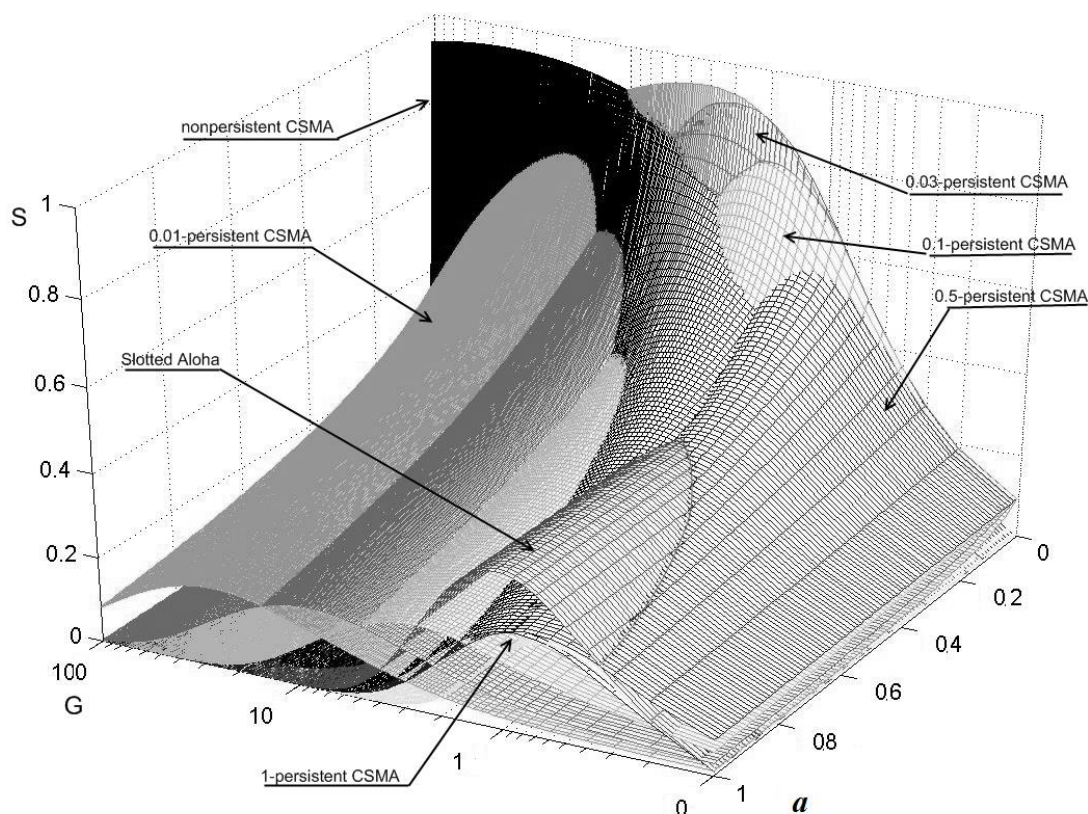


Рисунок 1 - Влияние интенсивности попыток передач и задержки распространения данных на коэффициент использования общей среды информационного взаимодействия протоколов доступа к среде

**Во второй главе** изложен метод управления правилами доступа к среде, позволяющий повысить среднее значение вероятности установления соединения.

Для решения задачи выбора оптимального набора правил применен детерминистский подход. Задача классификации, в рамках примененного метода, решена при помощи обучающего множества примеров, которое представляет собой значения параметров, оказывающих влияние на вероятность установления соединения (например  $G$  и  $a$ ) и соответствующий им набор правил, который после определенного количества попыток установления соединения показал максимальное среднестатистическое значение коэффициента использования канала. В целях построения обучающего множества примеров требуется проведение работ по фиксации значений коэффициента использования общей среды информационного взаимодействия для различных правил доступа к среде во всем возможном диапазоне значений параметров. Выбор оптимального набора правил доступа к среде предлагается осуществить за счет геометрической интерпретации диапазонов значений параметров, влияющих на коэффициент использования

канала при различных правилах доступа к среде, как осей в  $n$ -мерном пространстве.

Положим, что каждый параметр, влияющий на коэффициент использования канала при определенном наборе правил доступа к среде представлен как координата в  $n$ -мерном действительном пространстве  $R^n$ , так, например, рассмотрим двумерное пространство, где  $R^1$  - значение задержки распространения данных между определенными абонентами ( $a$ );  $R^2$  - средняя интенсивность попыток установления соединения ( $G$ ). Допустим, во всем пространстве параметров существуют ограниченные области наборов правил ALOHA (далее класс  $A$ ) и nonpersistent CSMA (далее класс  $B$ )  $A, B \subseteq R^n$ . Между этими классами существует расстояние

$\rho(A, B) = \sqrt{\sum_{i=1}^N (A_i - B_i)^2}$ , которое позволяет четко отделить их друг от друга  $\rho(A, B) = \delta_0 > 0$ .

Физически, расстояние будет являться границей между наборами правил, в которой оба граничащих набора правил показывают относительно равные значения коэффициента использования канала. Обозначим совокупность областей обоих наборов правил как  $\xi^n(A, B)$ . Для отнесения части пространства к какому-либо из наборов правил, отделяются области пространства  $R^n$ , соответствующие определенным диапазонам значений какого-либо из параметров (в геометрической интерпретации  $n$ -мерные параллелепипеды  $I_m$ ). Дальнейшее отделение происходит уже без учтенного ранее параметра, т.е. в пространстве параметров  $R_k^{n-1}$  где  $R_k$  это пространство параметров, после проведения процедуры отделения  $k$   $n$ -мерных параллелепипедов от исходного пространства  $R^n$ . При каждом отделении области  $n$ -мерного параллелепипеда  $I_m$  (далее «Параллелепипед») размерность пространства для исследуемого параллелепипеда уменьшается. Параллелепипед отделяется по одному из параметров с диапазоном значений  $h = \varepsilon_0 \delta_0$ , где  $\varepsilon_0$  коэффициент, изменяющий диапазон значений отделяемого параллелепипеда относительно минимального расстояния между наборами правил доступа к среде, находящийся в пределах от 0 до 1. Чем меньше значение  $\varepsilon_0$ , тем меньше получаются отделяемые диапазоны параметров, следовательно повышается точность выбора правил доступа к среде (за счет сокращения погрешности алгоритма), но увеличивается само дерево выбора, а значит и скорость принятия решения о применении того или иного набора правил доступа к среде (рисунок 2).

Нераспознанное пространство параметров уменьшается после каждого отделения параллелепипеда. Распознанное пространство является

объединением всех отделяемых параллелепипедов, включающих один из наборов правил доступа к среде  $\xi^n(A, B) = \bigcup_m \xi_{k_m}^n(A_m, B_m)$ .

**Теорема:** если в пространстве параметров  $R^n$  существуют ограниченные классы  $A \cup B$ , которые будут находиться в пределах значений, составляющих пространство параметров  $A, B \subseteq R^n$ ; расстояние между классами позволяет четко отделить их друг от друга  $\rho(A, B) = \delta_0 > 0$ , то имеет место следующее утверждение:

- 1) пространство параметров  $R^n$  можно разделить на множество непересекающихся параллелепипедов  $\forall J, I \in \xi^n(A, B): J \cap I = \emptyset$ ; (любая часть пространства отделяется лишь один раз);
- 2) отделяя диапазон значений какого-либо из параметров пространства  $R^n$ , отделяются и части классов, принадлежащих этому пространству  $\forall I \in \xi^n(A, B): A \cap I = \emptyset \vee B \cap I = \emptyset$ ;
- 3) совокупность распознанных подобластей дает полное описание классов А и В  $\bigcup_{I \in \xi^n(A, B)} A \cap I = A, \bigcup_{I \in \xi^n(A, B)} B \cap I = B$ .

Теорема показывает возможность аппроксимации какой-либо областей в пространстве параллелепипедами, что обеспечивает возможность классификации заранее сформированного множества примеров. Таким образом, каждая последующая попытка установления соединения будет производиться при помощи дерева решений, сформированного в процессе классификации. В каждом узле такого дерева находится наименование параметра системы и его значение. Можно принять, что левой ветви соответствует отношение «Менее» (<), а в правой «Больше либо равно» ( $\geq$ ). В листьях дерева находятся указатели на правила доступа к среде (рисунок 3).

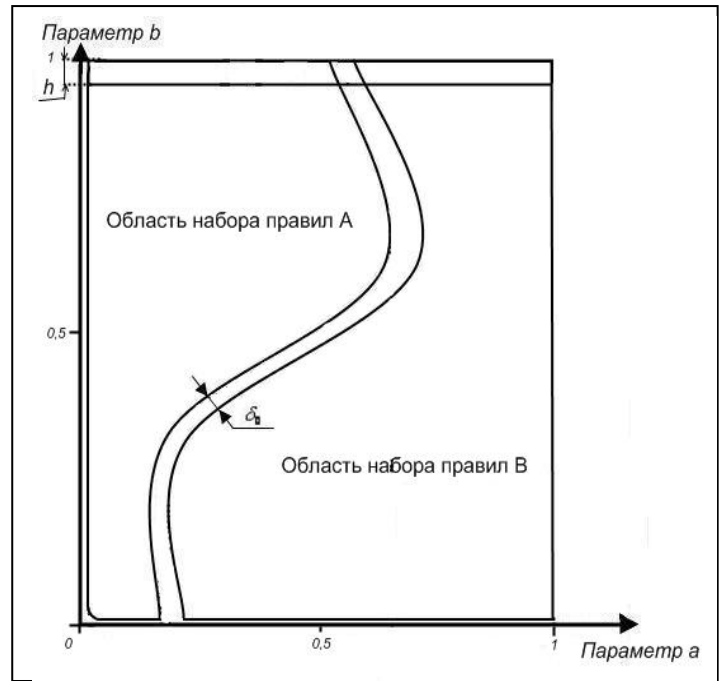


Рисунок 2 - Исследуемые области в пространстве  $R^n$

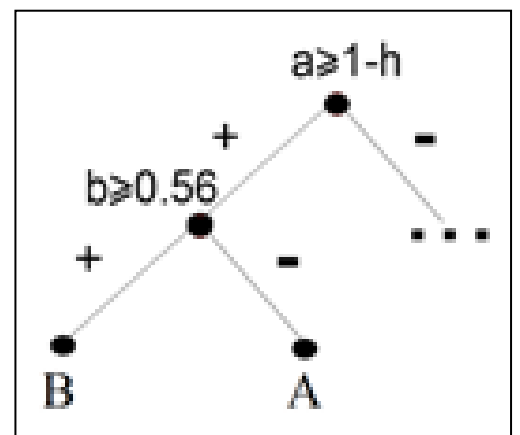


Рисунок 3 - Пример построения дерева классификации

Необходимым является условие, что классы не пересекаются. В случае их пересечения следует ввести еще один параметр, который, являясь еще одной осью в  $n$ -мерном пространстве, разделит классы. Континуум множества параметров ограничивается лишь вычислительными возможностями средств выбора правил доступа к среде.

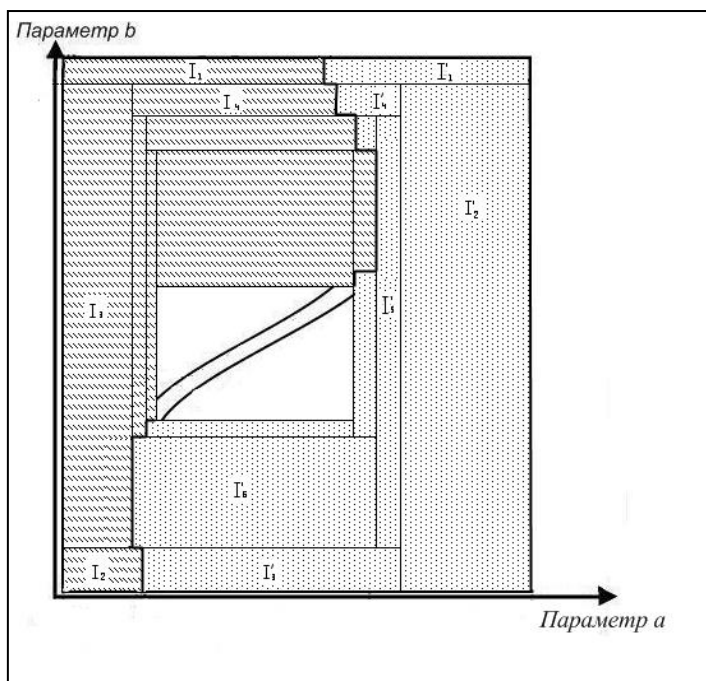


Рисунок 4- Разделенное на подобласти пространство  $R^n$

Алгоритм выполняет деление на подобласти всего пространство  $R^n$  (рисунок 4).

Объединение всех параллелепипедов, включающих в себя части одного из классов представляет собой область значений параметров этого класса.

Основанный на построении бинарного дерева решений алгоритм классификации, производящий геометрическую интерпретацию параметров, в большой степени совпадает с задачей по созданию алгоритма, производящего выбор правил доступа к среде. Преимуществом применения метода является

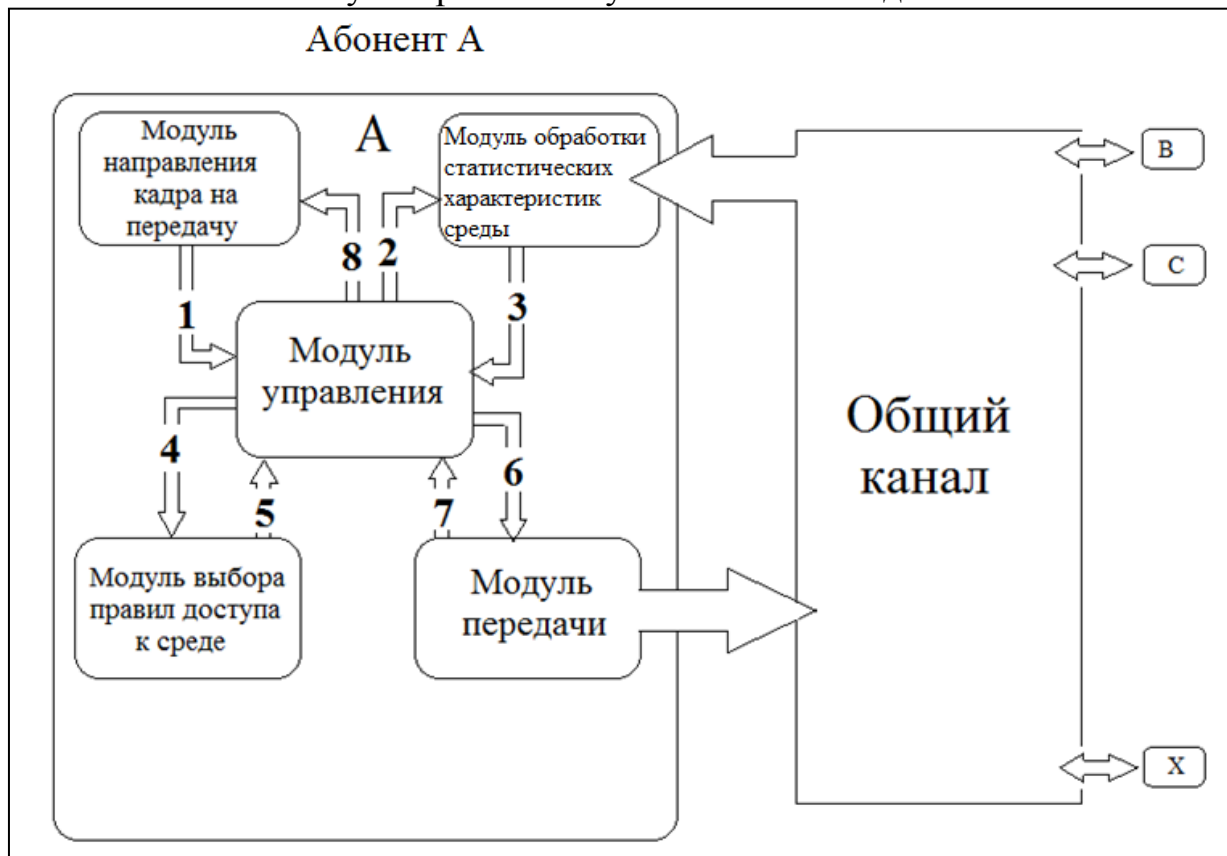
полиномиальная скорость решения алгоритма. Учитывая большие значения сложности (размерности) решаемой задачи, полиномиальная сложность решения задачи классификации является существенным преимуществом.

Предложенный алгоритм позволяет осуществить управление правилами доступа к среде при автоматическом установлении соединения. Применение алгоритма обеспечит максимально эффективное использование общей среды информационного обмена.

**В третьей главе** диссертационной работы предложены алгоритмы и схемы функционирования системы, позволяющие оценивать параметры среды каждым абонентом и адаптировать к ним правила доступа.

Рассматривая систему информационного взаимодействия как многоструктурную систему, можно задействовать множество параметров, оказывающих влияние на вероятность установления соединения, будь то физические, статистические, метео и прочие условия.

Пусть каждый абонент может использовать разработанный алгоритм выбора правил доступа к среде. При поступлении кадра данных на передачу абонент передает значения параметров из области обработки статистических характеристик среды в модуль, где в соответствии с деревом, построенным на основе алгоритма обучения, реализуется алгоритм выбора оптимального набора правил доступа к среде (рисунок 5). В результате работы алгоритма адаптации будет выбран один из наборов правил, применение которого обеспечит максимальную вероятность установления соединения.



1- передача кадра данных и адреса получателя  
 2 – запрос параметров системы  
 3 – данные параметров системы  
 4 – данные параметров системы для выбора правил

5- правила доступа к среде, при заданных параметрах  
 6 – направление кадра и указатель на правила доступа  
 7 – отчет о доставке  
 8 – отчет о доставке

Рисунок 5 - Структурная схема процесса доступа к среде

Модуль статистических характеристик среды контролирует использование общей среды информационного взаимодействия. Ввиду того, что абоненты могут находиться в разных условиях, правила протоколов доступа к среде передачи данных для них могут отличаться. Следовательно, необходимым является условие приведения форматов кадров и сообщений к единому виду для всех абонентов при любых протоколах. Следовательно, длина кадров данных и доля служебной информации исключаются как параметры, влияющие на выбор протокола для исследуемой системы. Абоненты работают в общем канале и должны иметь возможность распознать информацию любого кадра данной системы информационного

взаимодействия. Это необходимо как минимум чтобы идентифицировать получателя кадра. Следовательно, все абоненты могут контролировать состояние кадра. Таблица области обработки данных регистрирует результат использования каждого временного слота. Существуют всего 3 состояния временного слота: пустой – абонент не обнаружил кадр данных в слоте; успешный – абонент принял кадр данных; коллизионный – абонент зарегистрировал активность в слоте, но содержимое кадра определить не удалось.

Учитывая, что среда распространения данных является динамически изменяющейся, актуальность сведений, содержащихся в таблице области обработки данных, устаревает. Следовательно, в таблице области обработки данных следует хранить информацию лишь о последних  $n$  слотах. При заполнении таблицы до  $n$  слота, запись начинается с 1, перезаписывая данные о состоянии в каждом последующем слоте. Таким образом, в таблице области обработки данных всегда хранится информация за последние  $n$  слотов, соответствующих предварительно определенному временному промежутку.

Слот	1	2	3	4	5	6	...	...	n	Sum
Коллизионный	•								•	x
Успешный		•			•					y
Пустой			•	•		•				z

Рисунок 6 - Пример таблицы ведения статистики по временным слотам

При помощи такой таблицы всегда могут быть получены следующие параметры системы информационного взаимодействия:

1) коэффициент использования канала

$$S = \frac{y}{N}, \quad (2)$$

2) коэффициент коллизий

$$K = \frac{x}{N}, \quad (3)$$

3) интенсивность трафика

$$G = \frac{y+rx}{N}, \quad (4)$$

где  $N$  количество слотов в таблице области обработки данных

$$N = x + y + z,$$

где  $r$  – коэффициент, отражающий количество участвующих в коллизии абонентов.

Для построения дерева выбора правил доступа к среде разработан следующий алгоритм (рисунок 7), где:

А. Ввод обучающей последовательности примеров.

В. Ограничение множеств по крайним точкам обучающей последовательности.

С. Вычисление минимального расстояния между областями протоколов.

Д. (1..n) Выбор параметра, по которому будет производиться классификация.

Е. (1..n) Сортировка значений внутри этого параметра.

Ф. (1..n) Условие: существует промежуток более  $\delta_0/2$  внутри сортированного параметра, принадлежащий одному набору правил доступа.

Г. (1..n) Отделить примеры принадлежащие промежутку  $\delta_0/2$  внутри сортированного параметра из общего множества примеров.

Н. (1..n) Сформировать из отделенного подмножества примеров новое множество (1..n), исключающее параметр, по которому была произведена классификация.

И. Определить промежуток внутри сортированного параметра, принадлежащий одному набору правил доступа.

Ж. Отделить примеры из подмножества (1..n) и присвоить им соответствующий набор правил.

К. (1..n) Условие: n-подмножество примеров пусто.

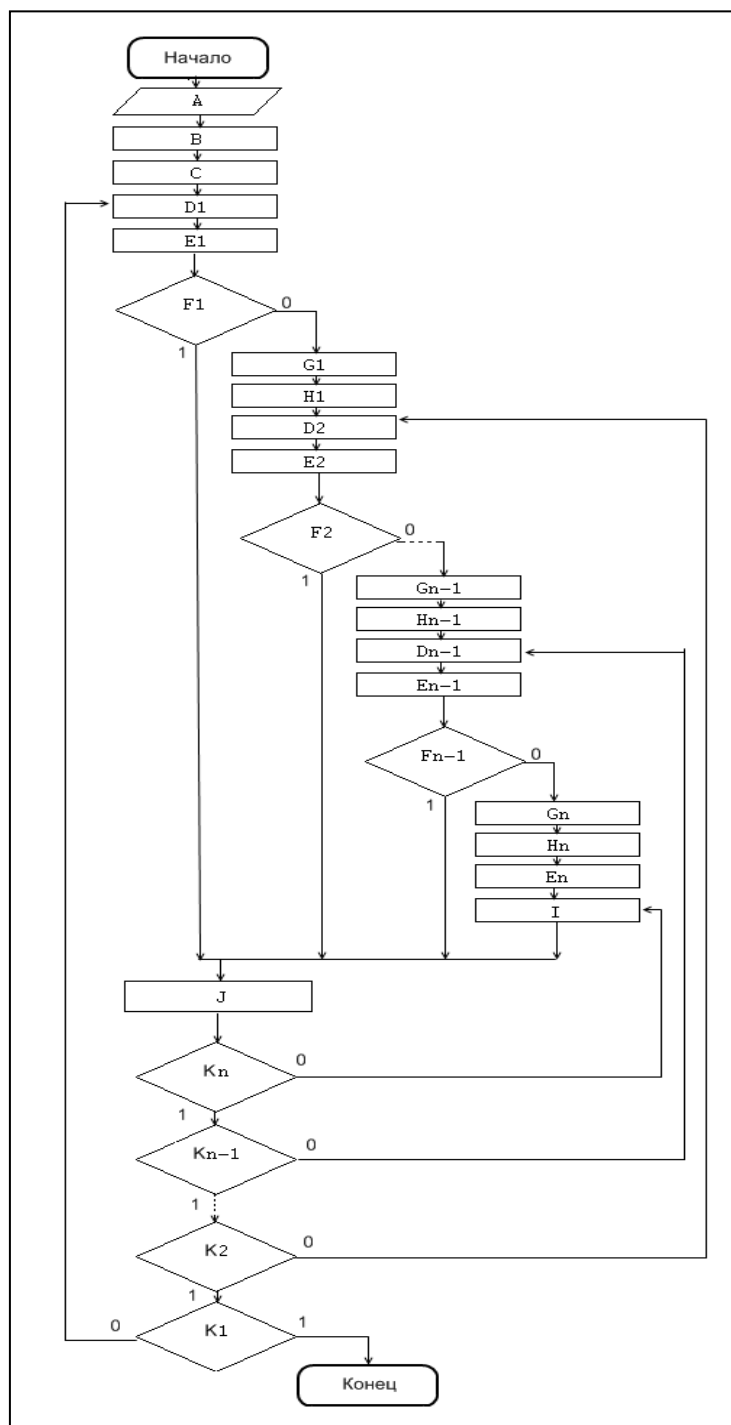


Рисунок 7 - Блок-схема алгоритма формирования дерева выбора правил доступа к среде на основе обучающей последовательности

Составление обучающего множества составляет одну из основных процедур подготовки. После выбора параметров системы информационного взаимодействия следует создать обучающую последовательность. Эта последовательность может быть получена на предварительных эталонных тестах или самим абонентам в процессе функционирования. Первый вариант подразумевает организованную исследовательскую работу, однако позволяет коммуникационной системе сразу приступить к реализации алгоритма, второй же вариант диктует необходимость введения обучающего режима работы абонентов. Абоненты будут оценивать все параметры системы, затем при этих значениях множество раз осуществлять попытку доступа к общей среде на разных протоколах, чтобы выявить оптимальный. После создания необходимого объема примеров абонент завершает строить двоичное дерево и переходит в рабочий режим.

На предварительном этапе необходимо решить, значения каких параметров абоненты могут получать в рабочем режиме, и следует ли их учитывать при выборе протокола. Например, количество скрытых абонентов является очень важным показателем системы информационного взаимодействия, но невозможно достоверно получить такую информацию анализируя лишь трафик. Однако можно предположить, что существуют косвенные признаки, которые говорят о возможном существовании скрытых абонентов, например: высокий уровень коллизий при низких значениях  $G$ ; абоненты, давно не проявляющие активность. Предлагаемый алгоритм может быть практическим методом исследования влияния таких характеристик.

**В четвертой главе** выполнено имитационное моделирование системы информационного обмена с общим каналом, применяя различные протоколы доступа к среде, а также алгоритм управления правилами доступа к среде.

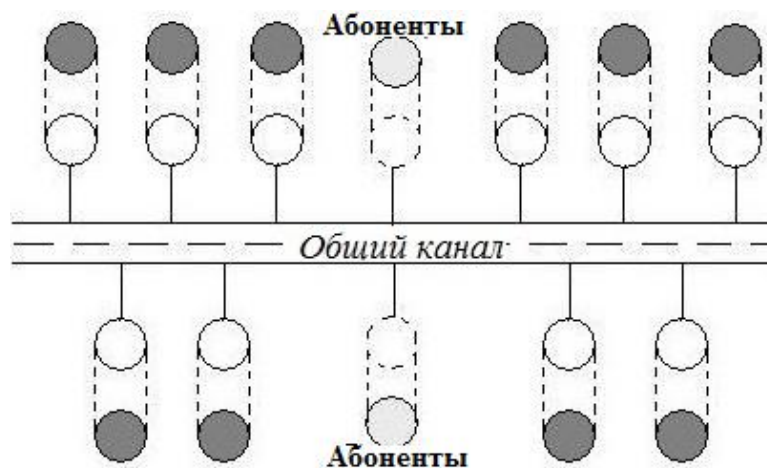


Рисунок 8 - Структурная схема имитационной модели



Моделирование выполнено среде MATLAB. Попытки установления соединений выполнены путем использования следующих протоколов доступа к среде: ALOHA, nonpersistent CSMA, 1-persistent CSMA и p-persistent CSMA.

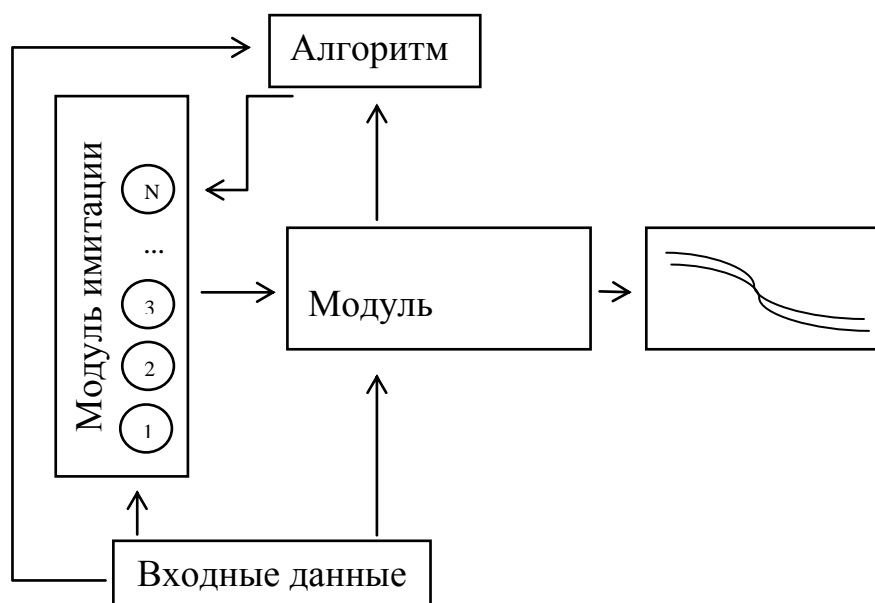


Рисунок 9 - Схема имитационной модели

В процессе моделирования выполняется эксперимент по установлению соединений при помощи разработанного адаптивного алгоритма, управляющего правилами доступа к среде с целью выбора правил того протокола, эффективность которого был максимальным при заданных условиях. Далее выполняется оценка его эффективности по сравнению с используемыми стандартными протоколами доступа к среде.

С точки зрения анализа, основным параметром является значение коэффициента использования общей среды информационного взаимодействия, которое вычисляется на всех отрезках времени и хранится в результирующем массиве.

На основе этих результатов выполняется анализ значений коэффициента использования общей среды информационного взаимодействия за заданное время и выносится решение о том, какой из исследуемых протоколов показал максимальное значение анализируемого показателя. Время работы модели разделено на временные интервалы, каждый интервал разделен на слоты. В пределах каждого отрезка времени программа задаёт параметры среды информационного взаимодействия, затем производится моделирование. Результатом моделирования являются: количество коллизий; количество успешных попыток установления соединения; коэффициент использования канала.

В модель введены допущения, что каждый канал, в котором осуществляется передача данных, функционирует независимо от других каналов, которые обслуживают прочих абонентов.

Допустим, имеется ограниченный канал, в котором происходит взаимодействие между абонентами, одновременно функционирующими в данном диапазоне. Использование общего канала накладывает следующие ограничения:

- абоненты не выполняют передачу данных, если в канале уже присутствует кадр данных другого абонента;
- при установлении соединения между абонентами возможны коллизии, в результате которых процедура установления соединения может быть сорвана и возникнет необходимость повторного установления соединения;
- абоненты могут находиться на различном удалении друг от друга, а значит, в системе существует множество значений задержки распространения данных;
- существует множество значений интенсивности попыток передач, изменяющихся во времени.

Выполнено итоговое моделирование функционирования системы информационного взаимодействия с общим каналом при помощи правил доступа к среде следующих протоколов доступа к среде: ALOHA, nonpersistent CSMA, 1-persistent CSMA и p-persistent CSMA и разработанного адаптивного алгоритма управления правилами доступа к среде. В целях эксперимента сгенерирована входящая последовательность, представляющая собой значение интенсивности попыток передач во времени. Имитационная модель будет руководствоваться этой последовательностью, имитируя изменение в интенсивности попыток передач при установлении соединения каждым из предложенных алгоритмов.

Для моделирования были применены следующие параметры:

- для передачи кадра данных используется 3 временных слота;
- количество активных абонентов системы составляет 15;
- максимальная задержка (в слотах) до повторной передачи – 10;
- интенсивность трафика  $G$  принимает значение от 0.01 до 10 с шагом изменения значения интенсивности  $G$  равным 0.01 кадра в 1 временной слот;
- время распространения данных между абонентами составляет 0.001;
- на каждом значении производилась 1000 экспериментов.

Результаты имитационного моделирования представлены на рисунке 10.

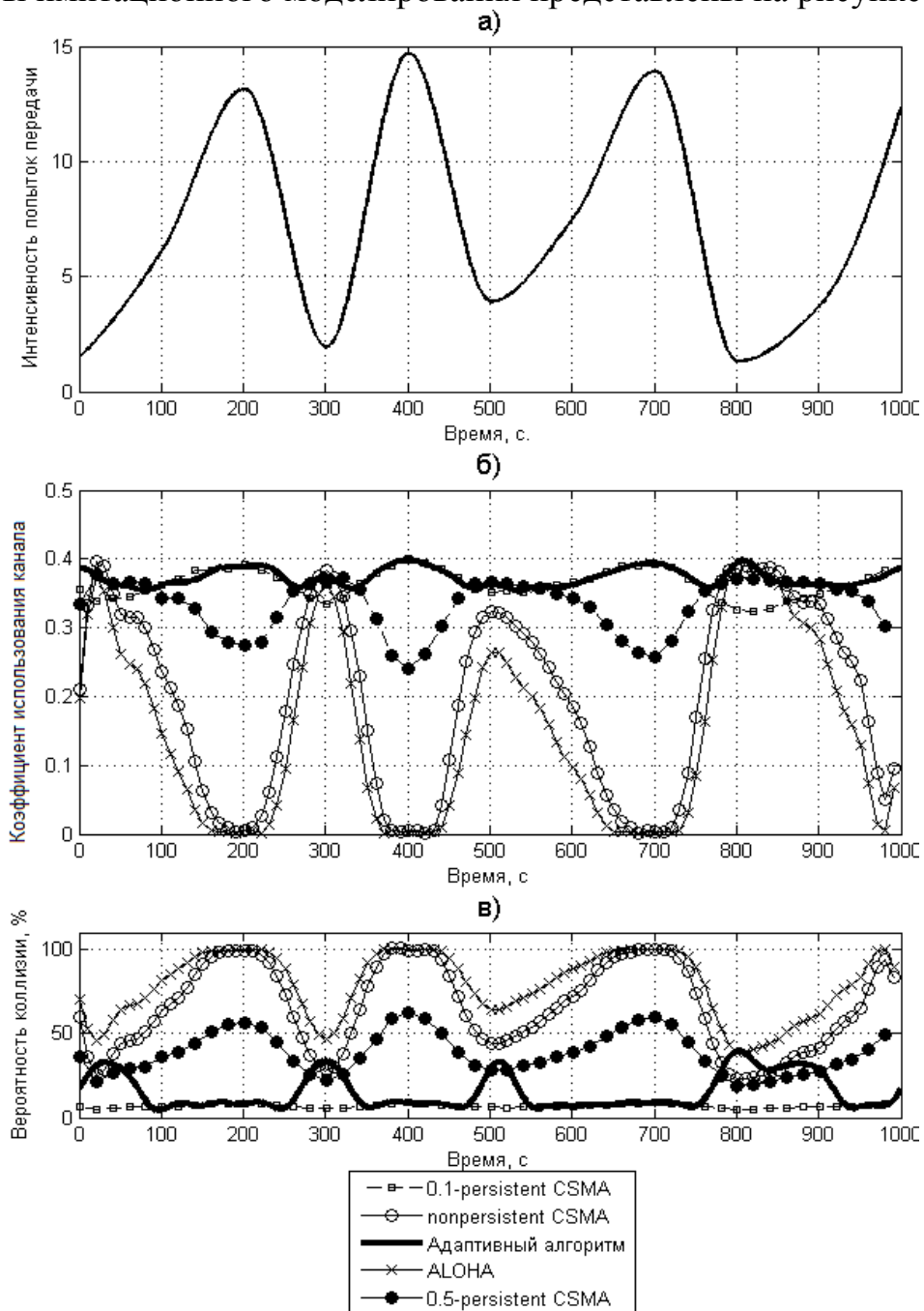


Рисунок 10 - Графическое представление результатов моделирования. График а) – изменение интенсивности попыток передачи во времени; б) – графики изменения коэффициента использования канала во времени для разных правил доступа; в) – график зависимости количества коллизий на 1000 слотов от времени для разных правил доступа

Анализ результатов имитационного моделирования показал, что применение адаптивного алгоритма доступа к среде позволяет в данном примере получить увеличение производительности на 3.3% в сравнение с правилами доступа к среде протокола 0.1-persistent CSMA, который при заданных условиях показывает наиболее высокую производительность канала.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выполнен системный анализ протоколов доступа к среде информационного обмена. Установлено, что для передачи цифровой информации в условиях относительно низкой скорости передачи информации целесообразно применять правила доступа к среде тех протоколов, которые обеспечивают проверку доставки кадров данных, но не нагружают трафик канала служебными сообщениями. Таким требованиям удовлетворяют правила доступа к среде следующих протоколов: *1-persistent CSMA*, *p-persistent CSMA*, *nonpersistent CSMA* и *ALOHA*. Установлены параметры, различающие правила доступа (правила установления соединения и конкуренции за доступ) к среде протоколов *p-persistent CSMA*, *p-persistent CSMA*, *nonpersistent CSMA* и *ALOHA*.

Исследованы зависимости показателя эффективности использования коммуникационной среды на основе статистических методов, разработанных Л. Клейнроком и Ф. Тобаги. Сформулированы условия, при которых наборы правил каждого из протоколов будут обеспечивать максимально возможную вероятность установления соединения. Выполнен анализ влияния интенсивности попыток передач и задержки распространения данных на вероятность установления соединения каждого из протоколов. Проведено сравнение средних значений вероятностей установления соединения путем использования наборов правил доступа к среде синхронных и несинхронных протоколов. Так, правила доступа к среде синхронного протокола *ALOHA* имеют преимущество, в случае если среднее значение  $a > 0.5$ , а  $G = 1$ . В этом случае коэффициент использования канала не превышает 0.378 кадров/слот. В случае если задержка распространения данных не превышает 0.001, то в промежутке значений  $0 > G > 10$  приоритет следует отдать протоколу *p-persistent CSMA*, который обеспечивает коэффициент использования канала до 0.92 кадров/слот. При временном увеличении  $G > 10$ , приоритет следует отдавать протоколу *nonpersistent CSMA*, который позволяет ожидать коэффициент использования канала равный 0.95 кадрам/слот.

Результат имитационного моделирования показал, что количество активных абонентов является важным фактором, влияющим на КИ ОСИВ протоколов доступа к среде информационного обмена. Так, при условии, что длина кадров данных ограничена 3 слотами, увеличение количества активных абонентов с 3 до 15 снижает максимальный КИ ОСИВ протоколов доступа в целом на 20-30% и перераспределяет порядок приоритетности применения правил доступа к среде.

2. Для системы информационного обмена разработан метод управления правилами конкурентного доступа к среде, позволяющий повысить вероятность установления соединения. В целях определения необходимого набора правил использован детерминистский подход, реализующий операцию формирования бинарного дерева решений на базе обучающего множества примеров. Для создания обучающего множества примеров осуществляется оценка фактов успешного установления

соединения для различных правил доступа к среде по всему диапазону значений параметров. Разработанный метод требует выполнения предварительных операций по формированию обучающей выборки, представляющей собой значения учитываемых в системе параметров и соответствующий им набор правил, обеспечивающий максимальную вероятность установления соединения. Объем выборки должен обеспечивать требуемую точность формирования бинарного дерева решений.

3. Разработан алгоритм формирования дерева правил доступа к среде, базирующийся на представлении всех параметров в виде пространства  $R^n$ , мерность которого определяется количеством параметров. Теоретико-множественная интерпретация задачи адаптивного управления доступом к среде информационного обмена представлена в однозначном отображении множества допустимых значений параметров системы в множество вариантов доступа к среде информационного, которое определяется в пространстве  $R^1$ . Алгоритм управления правилами доступа к среде использован для решения задачи изменения дерева правил доступа к среде без учителя, минуя пересмотр всего обучающего множества. Разработан способ формирования значений параметров, необходимых для реализации метода управления правилами доступа к среде. Предложен метод оценки эффективности формирования алгоритма управления правилами доступа к среде, основанный на сравнении количества итераций при формировании дерева выбора правил доступа к среде.

4. В среде *MATLab* реализовано имитационное моделирование процессов соединений абонентами в общей среде при помощи правил доступа семейства протоколов CSMA и ALOHA, и разработанного алгоритма управления правилами доступа к среде. Выполнен анализ результатов имитационного моделирования, получены оценки эффективности предложенного метода. Доказано, что разработанный алгоритм управления правилами доступа к среде позволяет увеличить коэффициент использования среды информационного обмена в системе с общим доступом до 3-7% по сравнению с вариантом применения правил доступа к среде одного протокола, обеспечивающего максимальное среднее значение коэффициента использования канала во всем диапазоне параметров.

В представленном примере максимальное значение КИ ОСИВ принадлежит протоколу, процент коллизий в котором находится в диапазоне 5-40%, следовательно, в канале существует диапазон допустимых значений коллизий, который характеризует наибольшее значение КИ ОСИВ при заданных условиях.

5. Разработанный метод управления правилами доступа к среде может быть применен в системах информационного обмена, использующих общую среду для осуществления коммуникации.

## НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

### *Публикации в рецензируемых журналах из перечня ВАК*

1. Минин В.Е. Увеличение производительности сети радиосвязи за счет выбора оптимального набора правил доступа к среде. / Минин В.Е., Климов И.З., Тетерин А.Н. // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2011 г. - №3. - С. 103-106.
2. Минин В.Е. Оценка эффективности использования общего канала в цифровой сети связи. / Минин В.Е., Климов И.З., Мошонкин В.А. // Вестник Ижевского государственного технического университета. -2013 г. - №1. - С. 98-100.
3. Минин В.Е. Оценка эффективности использования общего канала связи на основе имитационного моделирования / Минин В.Е., Климов И.З., Жидяев А.В.// Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2014 г.- №1.- С. 102-105.

### *В других изданиях*

4. Минин В. Е. Проблемы использования КВ диапазона при построении радиосетей./Минин В.Е.// Вестник Удмуртского университета. – 2007 г. - № 6.– С. 145-150.
5. Минин В.Е. Расчет времени готовности к работе сети связи с радиодоступом в ненадежном канале связи. / Минин В.Е. // Труды российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова серия: научная сессия, посвященная дню радио выпуск: LXIII, Москва. – 2008 г. – С. 240-241.
6. Минин В. Е. Анализ характеристик предложенной модели КВ сети связи при помощи теории массового обслуживания/ Минин В.Е. // Вестник Удмуртского государственного университета. – 2009 г. - №1. -С.167-172.
7. Минин В.Е. Расчет основных показателей доступности сети связи с радиодоступом в декаметровом диапазоне волн. / Минин В.Е., Меркушев О.В. // Международная научно-техническая конференция к 100-летию со дня рождения В.А. Котельникова: Тезисы докладов. – М.: Издательский дом МЭИ. – 2008 г. – С. 143-145.
8. Минин В.Е. Анализ пропускной способности сети с радио доступом. / Минин В.Е. // Девятая международная научно-техническая конференция «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций»: материалы конференции. - Казань: издательство КГТУ. - 2008 г. - С. 212-213.
9. Минин В.Е. Оценка ожидаемой эффективности использования пропускной способности между терминалами в сети / Минин В.Е.// Высокие технологии, фундаментальные исследования, образование: сборник трудов

Седьмой международной научно-практической конференции «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности» / под ред. А.П. Кудинова, Г.Г. Матвиенко. – СПб: Издательство Политехн. ун-та. – 2009г. – С. 33-34.

10. Минин В.Е. Увеличение производительности сети связи за счет использования адаптивного алгоритма доступа к среде. / Минин В.Е. // Материалы 38-й итоговой очно-заочной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых ИПСУБ, посвященной 90-летию государственности Удмуртии. - 2010 г. – С. 304-306.

11. Минин В.Е. Сравнение результатов математического и имитационного моделирования сети с общим каналом / Минин В.Е., Климов И.З. // Сборник научных трудов II Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием «Молодые ученые-ускорению научно-технического прогресса в XXI веке». – 2013 г. - С. 963-967.

12. Минин В.Е. Методика выбора правил доступа к среде для эффективного использования канала связи / Минин В.Е., Климов И.З.// Сборник докладов 16-й Международной конференции «Цифровая обработка сигнала и ее применение – DSPA-2014» - М. – 2014 г. - С. 88-92.

13. Минин В.Е. Применение алгоритма классификации в процедуре установления соединения/ Минин В.Е.// Сборник материалов X Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Приборостроение в XXI веке-2014. Интеграция науки, образования и производства». - 2014 г. – С. 405-410.

14. Минин В.Е. Применение алгоритма принятия решений, использующего детерминистский подход, на примере реализации ВИНК/ Минин В.Е.// Сборник материалов II Научно-технической конференции ПАО АНК «Башнефть». – Уфа. - 2015 г. – С. 96-97.

15. Минин В.Е. Увеличение производительности сети радиосвязи за счет изменения длительности кадра данных/ Минин В.Е.// Сборник материалов XI Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Приборостроение в XXI веке-2015. Интеграция науки, образования и производства». - 2015 г. – в печати.

МИНИН Владимир Евгеньевич

**АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРАВИЛАМИ КОНКУРЕНТНОГО  
ДОСТУПА К СРЕДЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА**

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации  
(в науке и технике)

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук