

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«Удмуртский государственный университет»

УДК 681.513.8

На правах рукописи

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)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук.

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор
Климов Игорь Зенонович

Ижевск, 2016

Оглавление

Оглавление	2
Введение	5
Глава 1. Исследование влияния основных протоколов доступа к среде на показатели качества информационного обмена	15
1.1 Условия работы системы информационного обмена	15
1.2 Анализ правил доступа к среде	17
1.2.1 Оценка влияния интенсивности попыток передач и задержки распространения данных на коэффициент использования общей среды информационного взаимодействия протокола <i>ALOHA</i>	18
1.2.2 Оценка влияния интенсивности попыток передач и задержки распространения данных на коэффициент использования общей среды информационного взаимодействия правил доступа к среде протокола <i>nonpersistent CSMA</i>	22
1.2.3. Оценка влияния интенсивности попыток передач и задержки распространения данных на коэффициент использования общей среды информационного взаимодействия правил доступа к среде протокола <i>1-persistent CSMA</i>	26
1.2.4. Оценка влияния интенсивности попыток передач и задержки распространения данных на коэффициент использования общей среды информационного взаимодействия правил доступа к среде протокола <i>p-persistent CSMA</i>	30
1.3. Анализ влияния интенсивности попыток передач и задержки распространения данных на выбор правил доступа к среде	34
1.4. Области максимальных значений интенсивности попыток передач	38
1.5 Выводы по главе 1	40

Глава 2. Обоснование выбора метода классификации для разработки алгоритма управления правилами конкурентного доступа к среде	43
2.1. Обоснование подхода с управлением правилами доступа к среде в системе информационного взаимодействия	43
2.2.1. Обоснование детерминистского метода классификации для управления правилами доступа к среде.....	46
2.2.2. Метод классификации для разработки алгоритма управления правилами доступа к среде	49
2.3. Расчет эффективности предложенного метода классификации	55
2.4 Выводы по главе 2.....	59
Глава 3. Синтез адаптивного алгоритма детерминистского управления правилами принятия решения выбора доступа к среде информационного обмена	61
3.1. Общая схема метода автоматического управления правилами доступа к среде	62
3.1.1. Функции модуля «обработка статистических характеристик среды».....	65
3.2. Метод выбора правил доступа к среде.....	68
3.2.1. Формирование обучающей последовательности.....	69
3.2.2. Разработка алгоритма построения бинарного дерева принятия решений	73
3.2.3. Разработка алгоритма выбора правил доступа к среде	79
3.2.4. Разработка алгоритма внесения изменений в бинарное дерево принятия решений	80
3.3. Выводы по главе 3.....	83
Глава 4. Имитационное моделирование разработанного алгоритма конкурентного доступа к среде информационного обмена	84
4.1. Имитационная модель функционирования системы информационного взаимодействия.....	84

4.2. Оценка влияния параметров системы на коэффициент использования общей среды информационного взаимодействия	90
4.3. Моделирование системы информационного взаимодействия с применением разработанного алгоритма управления правилами доступа к среде	108
4.4. Выводы по главе 4.....	113
Основные выводы и результаты	117
Список сокращений и условных обозначений	120
Список литературы	121
Приложение А.Справка о внедрении	134
Приложение Б.Блок-схема алгоритма функционирования имитационной модели	135

Введение

Решение текущих и перспективных задач в сложных коммуникационных системах требует 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 [3,9,11,12,13,25,43,44,45,49], на качество передачи информации оказывает существенное влияние взаимное наложение передаваемых сообщений (коллизии) и не эффективное распределение задержек повторных передач [15,22,42,57]. Наложения передаваемых кадров и неправильно подобранные интервалы задержек между сообщениями, даже в идеальном канале, способны снижать количество успешных соединений более чем в половину.

Использование в составе комплексов информационного взаимодействия современных средств обработки и цифровые методы формирования носителей информации делают актуальной разработку алгоритмов и программ, обеспечивающих автоматизацию процесса установки соединений для обмена информацией. При автоматическом установлении связи значимым вопросом является снижение количества коллизий при конкурировании за установление соединения и снижение временных потерь на повторные попытки. Установление соединения является наиболее уязвимым моментом, поскольку эта процедура, являясь ключевой, наиболее подвержена коллизиям в условиях большого количество абонентов и высокой интенсивности информационного обмена. Поэтому выбор оптимальных (по критерию минимизации коллизий и непродуктивных временных простоев) правил доступа к среде позволит максимально успешно использовать возможности физического канала передачи.

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.

Для любой сетевой технологии, которая использует общую среду, правила доступа к среде являются ее основной характеристикой [26]. С точки зрения стандарта *ISO 7498* «Информационно-вычислительные системы — Взаимодействие открытых систем — Эталонная модель» [109] в соответствие с выделяемыми уровнями информационного взаимодействия объект исследования находится на канальном уровне модели *OSI*. В исследовании не учитывается влияние физического уровня, а рассматривается передающая среда как прерывисто-синхронный битовый тракт с множественным доступом, пустые периоды которого можно отличить (с задержкой) от периодов передачи пакетов [10]. Одной из самых важных функций подуровня управления доступом к среде, принадлежащей канальному уровню, является реализация правил доступа к среде. Современные коммуникационные системы построены по многоуровневому принципу. Для организации обмена данными между взаимодействующими системами, необходимо определить набор правил и параметры данных для их взаимодействия, т.е. задать протоколы. Взаимодействие в коммуникационных системах требует наличие множества различных протоколов, например, управляющих физической связью, установлением взаимодействия по каналу, доступом к различным ресурсам и т.д.

Задача разработки алгоритма работы и способов увеличения производительности канального уровня предусматривает анализ существующих стандартов, зарекомендовавших себя на практике. Наиболее популярными на данный момент являются стандарты серии *IEEE 802.11* [95,96,97,98,99,100,101,102,103], серии *IEEE 802.3* [104] и стандарт *MIL-STD-188-141B* [107], который является модернизацией стандарта *MIL-STD-188-141A* [105],

более известного как стандарт *ALE*. Стандарты организации сетей *IEEE 802.X* и *MIL-STD-188-141B* применяют протокол доступа к среде *CSMA*, однако имеют существенные различия, связанные с особенностями среды, в которых происходят коммуникации. В условиях низкоскоростных коммуникационных сред, дополнительная нагрузка в процедуре вызова является критичным фактором для систем с методом доступа *CSMA* [107]. Особенностью *MIL-STD-188-141B* является наиболее приспособленный для низкоскоростных коммуникационных сред формат передаваемых данных и процедура установления соединения, которые разработаны для функционирования в условиях низкой скорости информационного взаимодействия на фоне специфического внешнего влияния. Частичное решение изложенных выше проблем возможно путем создания гибридной модели взаимодействия на канальном уровне эталонной семиуровневой модели *ISO/OSI*.

Анализ протоколов множественного доступа к общей среде позволяет сделать вывод, что для низкоскоростных коммуникационных сред с внешними помехами и вероятностью возникновения коллизий, могут подойти только протоколы способные контролировать результат попыток установления соединения. Для увеличения эффективности использования общей среды, следует минимизировать поток служебных данных и сократить непродуктивные временные простои. Наилучшим образом предъявляемым требованиям соответствуют протоколы *1-persistent CSMA*, *p-persistent CSMA*, *nonpersistent CSMA* и *ALOHA*. Протоколы с передачей мандата на доступ к общей среде не могут быть рекомендованы для применения в системах, где возможно существование скрытых групп абонентов, т.к. такие абоненты, не имеющие точных данных об очередности доступа к общей среде, увеличивают количество коллизий. При этом служебные данные о передаче мандата на доступ к общей среде займут определенную долю времени. Использование временного маркера для назначения очередности доступа к общей среде также может привести к снижению эффективности использования временного показателя. Использование

протоколов с назначением приоритетов, при высокой интенсивности попыток установления соединения, приводят к неспособности доступа к среде абонентов с низким уровнем приоритета [52].

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:

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

Одним из способов увеличения вероятности успешного установления соединения является разработка алгоритма, позволяющего адаптировать указанные выше правила доступа к среде в зависимости от факторов, влияющих на коэффициент использования канала. В данном случае под коэффициентом использования канала подразумевается отношение среднего значения успешных попыток установления соединения к предельному значению успешных попыток в случае идеального планирования. Идеальное планирование информационного взаимодействия подразумевает отсутствие коллизий и непродуктивных временных простоев.

Анализ алгоритмов доступа к среде с методом вычисления средних значений задержки и количества абонентов в высокоскоростных системах с центром управления приведены в работах [4,5,6]. В своих исследованиях автор использует методы теории вероятностей, теории систем массового обслуживания и теории цепей Маркова. В работе выполнен анализ протоколов *IEEE 802.16*, *IEEE 802.11*, *IEEE 802.15* в которых отсутствует проблема критичного уровня внешних неконтролируемых воздействий и малой скорости обработки

поступающих попыток установления соединений. Применение методики анализа, предложенного в работе, не рационально, ввиду существенных различий в условиях функционирования коммуникационных систем.

Задачи массового обслуживания являются типовыми для задач системного анализа, так как обладают рядом особенностей: необходимостью проведения статистического анализа эмпирических данных, комплексных исследований операционных характеристик, учет человеческого фактора при организации работы таких систем массового обслуживания и принятии управленческих решений и разработки оптимизированных критериев задачи массового обслуживания.

В настоящей работе поэтапно прорабатываются три основных направления исследования сложных систем[1]: анализ системы и ее формализация, постановка задачи исследования и решение поставленной задачи. Завершающим этапом является моделирование. В разработанной имитационной модели поведение компонентов сложной системы представлены набором алгоритмов, которые в дальнейшем реализуют ситуации, возникающие в реальной системе.

В 2006 г. выполнена работа на тему «Разработка и исследование эффективности нейросетевых алгоритмов управления в сетях радиосвязи» [50] в которой автор приходит к тому же выводу, что среднее значение коэффициента использования канала протоколами существенно зависит от суммарного потока запросов на передачу. В работе предложен завершённый алгоритм адаптации значения вероятности попытки передачи в протоколе *p-persistent CSMA* на базе обучающего множества примеров и экспертных оценок с применением нейропроцессора. Однако полученное автором решение ограничивает эффективность предложенной системы выбором критериев, влияющих на вероятность установления соединения на канальном уровне, а также уровнем знаний экспертов, привлеченных к разработке нейронной сети[9]. Анализ недостатков данного протокола произведен в 1 главе диссертации. Результаты функционирования алгоритма классификации, основанного на бинарном дереве

решений, в отличие от нейронных сетей, представляющих собой "черные ящики", хорошо интерпретируются пользователями.

Рациональность адаптации правил доступа к среде подтверждена путем технической реализации вариации попытки передачи в протоколе *p-persistent CSMA* в устройствах приема/передачи цифровых данных «Спектр-48MSK» и «Спектр-9600GM». Однако здесь адаптация ограничивается ручным режимом перенастройки вероятности попытки передачи в протоколе *p-persistent CSMA*. Критерии смены этого значения в приборах отсутствуют, что, без предварительного анализа состояния системы информационного обмена, приводит к существенному 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.

В соответствии с поставленной целью решались следующие **задачи**:

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.

Практическая ценность 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.

Методы исследований. 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*).

Обоснованность и достоверность результатов диссертации.

Обоснованность 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.

Реализация и внедрение. Основные 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 расположена в Приложении А диссертационной работы.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 15 печатных работ, в том числе 3 статьи в рецензируемом научном журнале из списка ВАК.

Диссертация состоит из 4-х глав, содержание которых заключается в

следующем. *В первой главе* изложены результаты исследования влияния интенсивности поступающих требований и задержки распространения данных на коэффициент использования общей среды информационного взаимодействия. Произведено сравнение правил доступа к среде по критерию пропускной способности канального уровня.

Во второй главе предлагается метод, позволяющий применить геометрический подход к решению задачи выбора оптимального набора правил доступа к среде. Выполняется геометрическая интерпретация параметров среды, графически поясняется суть метода и производится его теоретическое обоснование. В рамках поставленной задачи предложен способ оценки критериев выбора.

В третьей главе рассматриваются вопросы практической реализации предложенного метода, предлагаются алгоритмы обучения, изменения дерева правил доступа к среде и выбора правил доступа к среде. Формулируются требования и рекомендации для реализации предложенного метода. Выполнена программная реализация предложенных алгоритмов.

В четвертой главе выполнено имитационное моделирование процедур информационного взаимодействия разработанного адаптивного алгоритма и стандартных протоколов в общей среде с конкурированием. Получена оценка эффективности предложенного алгоритма доступа к среде.

Глава 1. Исследование влияния основных протоколов доступа к среде на показатели качества информационного обмена

В главе представлены результаты исследования математической модели функционирования системы с общим доступом для различных правил доступа к общей среде информационного взаимодействия (далее ОСИВ). С целью обоснования возможности увеличения коэффициента использования (далее КИ) ОСИВ за счет автоматического управления (адаптации) правил доступа к среде (ОСИВ) применена методика расчета влияния интенсивности попыток передач (далее ИПП) и задержки распространения данных (далее ЗРД) на КИ ОСИВ различных протоколов, предложенная Л. Клейнроком [18,19,20,70].

В настоящей главе решены следующие задачи:

- произведена оценка влияния ИПП и ЗРС на КИ ОСИВ;
- обоснован подход увеличения производительности коммуникационной системы на основе выбора правил доступа ОСИВ.

1.1 Условия работы системы информационного обмена

Условимся, что абоненты контролируют состояние доставки кадра данных. Зарегистрировав неудачную попытку передачи, абонент назначает повторную передачу спустя время задержки. После завершения этой задержки, абонент повторяет алгоритм.

Пусть абонент в один и тот же момент времени может либо передавать, либо принимать сообщение, но не совершает оба действия одновременно. Однако, временной промежуток, затрачиваемый на переход между этими режимами, считаем ничтожно малым. Положим, что время, затрачиваемое на обнаружение занятости канала, является ничтожно малым. Считаем, что кадр данных имеет

постоянную длину (время передачи) и передается без внешнего воздействия, т.е. процент ошибок, связанный с внешним влиянием на общий канал пренебрежительно мал по сравнению с ошибками вызванными коллизиями. Все кадры, при передаче которых произошла коллизия, должны быть переданы повторно.

Введем обозначения:

S – коэффициент использования (КИ ОСИВ), G – интенсивность попыток передач (ИПП), T – время передачи кадра, p – вероятность в протоколе *p-persistent CSMA*, τ – временная задержка на распространение, \bar{X} – средняя задержка на повторную передачу.

При формировании модели введем некоторые предположения:

1. В качестве модели поступающих попыток соединений использован пуассоновский поток [19,46], создаваемый бесконечным числом абонентов, каждый из которых порождает трафик канала с бесконечно малой скоростью. Суммирование трафика с трафиком других абонентов приводит к среднему значению ИПП в канале, равному G попыткам за T секунд. Значение G характеризует интенсивность появления новых кадров данных и назначенных на повторную передачу после коллизий. Все эти кадры не обязательно передаются (в случае занятости канала или коллизии). Таким образом, G представляет собой интенсивность «предложенных» к передаче кадров данных и только часть из них передается.

2. Введем значение S – среднее значение КИ ОСИВ в кадрах за T секунд. Если каждый кадр имеет постоянную длину, требующую T секунд для его передачи, то $S = \lambda T$. Если бы существовала возможность идеально планировать передачу кадров в канале, не допуская их перекрытий и свободных мест между кадрами, то при значении $\lambda \geq 1$ максимальное значение $S=1$ [70], поэтому S определяет меру использования канала, или коэффициент использования ОСИВ.

3. Каждый готовый к передаче абонент имеет один (и не более чем один) кадр, ожидающий передачи.

4. Так как возможны конфликты, применена система подтверждения получения кадров данных. Предположим, что абонент принял кадр, если после окончания передачи кадра абонент получил подтверждение. Считаем, что абонент не принял кадр, если подтверждение не пришло. В случае, когда кадр не был принят в результате коллизии, немедленная попытка повторить передачу кадра вызовет повторение коллизии. Следовательно, при повторной передаче коллизионного кадра абоненты должны осуществлять задержку, среднее значение которой \bar{X} .

5. Трафик в канале состоит не только из новых кадров данных, но и из повторно назначенных (в результате коллизии) на передачу кадров. Эту интенсивность попыток передач обозначим как G (в кадрах в один временной слот T), где $G \geq S$.

6. Средняя задержка на повторную передачу \bar{X} значительно больше значения T .

7. Появление новых кадров и повторно назначенных представляет собой независимый процесс с экспоненциальным распределением.

Предположение 7 не является строгим и введено для упрощения анализа. Однако в работе [25] результаты моделирования показывают, что расчеты, основанные на этом предположении, очень близки к реальным, особенно в случае если средняя задержка на повторную передачу \bar{X} значительно больше значения T .

1.2 Анализ правил доступа к среде

Определим КИ ОСИВ для различных правил доступа к среде, используем аппарат теории массового обслуживания предложенный Л.Клейнроком и

А.Тобаги [18,19,27,85]. Выразим КИ ОСИВ через ИПП (а также через другие параметры системы). Так как S/G есть вероятность успешной передачи, а G/S – среднее значение, определяющее сколько раз кадр должен быть передан или назначен на передачу, пока процесс передачи не завершится успехом.

Как правило, значения КИ ОСИВ и ИПП изменяются в ходе работы системы. Тем не менее, предложенный метод оценки КИ ОСИВ рационально использовать по следующим причинам:

- результаты расчетов приближаются к реальным на больших временных промежутках исследований;
- результаты расчетов приближаются к реальным в случае, когда режим работы абонентов становится установившимся (стабильным);
- следует ожидать, что работа слотированных (синхронных) протоколов является более стабильной (ввиду сокращения количества коллизий), а значит, результаты расчета более приближены к реальным результатам.

1.2.1 Оценка влияния интенсивности попыток передач и задержки распространения данных на коэффициент использования общей среды информационного взаимодействия протокола *ALOHA*

Протокол предполагает следующий алгоритм действия абонентов:

- при синхронном протоколе доступа абонент осуществляет передачу в ближайшем следующем временном слоте после момента поступления кадра данных на передачу;
- если в этот временной слот передаётся кадр данных лишь одним абонентом, то передача является успешной;
- в случае возникновения коллизии абонент осуществляет повторную передачу через случайный период времени;

- в случае возникновения коллизии абонент ожидает случайный промежуток времени и повторяет алгоритм.

В несинхронном протоколе *ALOHA* абоненты передают кадр данных в несинхронном режиме. Согласно предположения 1.2, КИ ОСИВ равен:

$$S = GP_s \quad , \quad (1.1)$$

где P_s это вероятность что переданный кадр данных успешно принят. Данный кадр станет коллизионным, если хотя бы один абонент начнет передачу в течение T секунд до или после начала передачи данного кадра (т.е. период уязвимости равен $2T$ секундам). Используя предположение, что трафик Пуассоновский, в работе [1] показано, что вероятность успешного приема кадра и КИ ОСИВ соответственно равны:

$$P_s = e^{-2G} \quad , \quad (1.2)$$

$$S = Ge^{-2G} \quad . \quad (1.3)$$

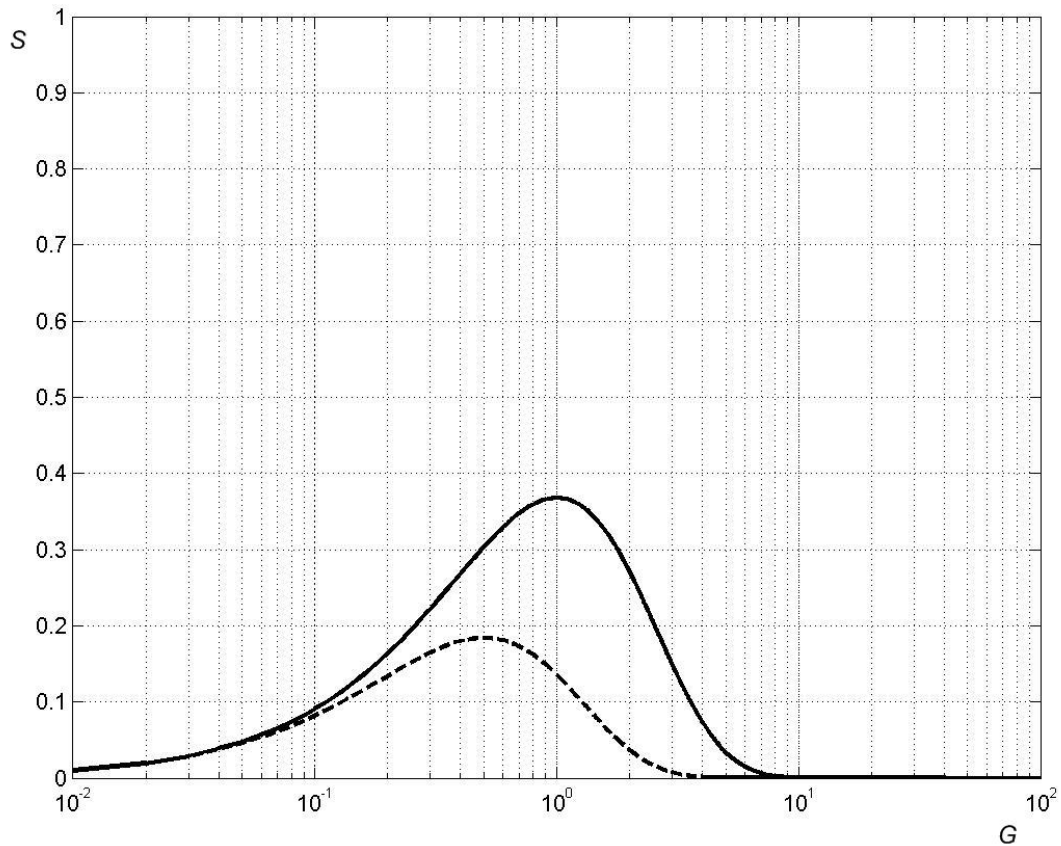
Анализ (1.1) позволяет сделать вывод, что *ALOHA* достигает максимального значения КИ ОСИВ при значении $G=1/2$.

Если в синхронной *ALOHA* возникнет коллизия, то она длится один временной слот, выделенный на передачу кадра (т.е. период уязвимости равен T). Тогда КИ ОСИВ для данного протокола есть:

$$S = Ge^{-G} \quad . \quad (1.4)$$

Такое усовершенствование (слотирование) увеличило значение КИ ОСИВ в 2 раза (при значении $G=1$).

На рисунке 1.1 приведены результаты расчета КИ ОСИВ для синхронного и несинхронного *ALOHA*.



Протокол	<i>ALOHA</i>	синхронный <i>ALOHA</i>
Кривая	-----	—————

Рисунок 1.1 - Коэффициент использования общей среды информационного взаимодействия при использовании набора правил протокола *ALOHA* относительно интенсивности попыток передач G

Анализ КИ ОСИВ синхронного и несинхронного протоколов, представленных на рисунке 1.1, позволяет сделать вывод, что набор правил синхронного *ALOHA* обладает преимуществом. При низкой ИПП ($G < 0.1$) оба вида *ALOHA* показывают приблизительно равные значения S , что связано с низкой вероятностью возникновения коллизии. Однако значение S начинает существенно отличаться у синхронного и несинхронного *ALOHA* при увеличении ИПП и

достигает нулевых значений при приближении значения G к 10. Пик своей эффективности синхронный *ALOHA* достигает при значении $G=1$. Поскольку время, затрачиваемое на коллизию в синхронном *ALOHA*, ограничено длительностью передачи одного кадра данных, максимальное значение КИ ОСИВ синхронного *ALOHA* превышает в 2 раза максимальное значение КИ ОСИВ несинхронного протокола *ALOHA*.

С целью анализа влияния ЗРД (для расчета примем длину кадра данных равной 1 сек) и ИПП на КИ ОСИВ проведено построение трехмерного графика для каждого из выбранных протоколов доступа к среде при условии, что значение ЗРД находится в пределах от 0.1 до 0.001 доли длительности слота и ИПП в пределах от 0.01 до 3 кадров в временной слот.

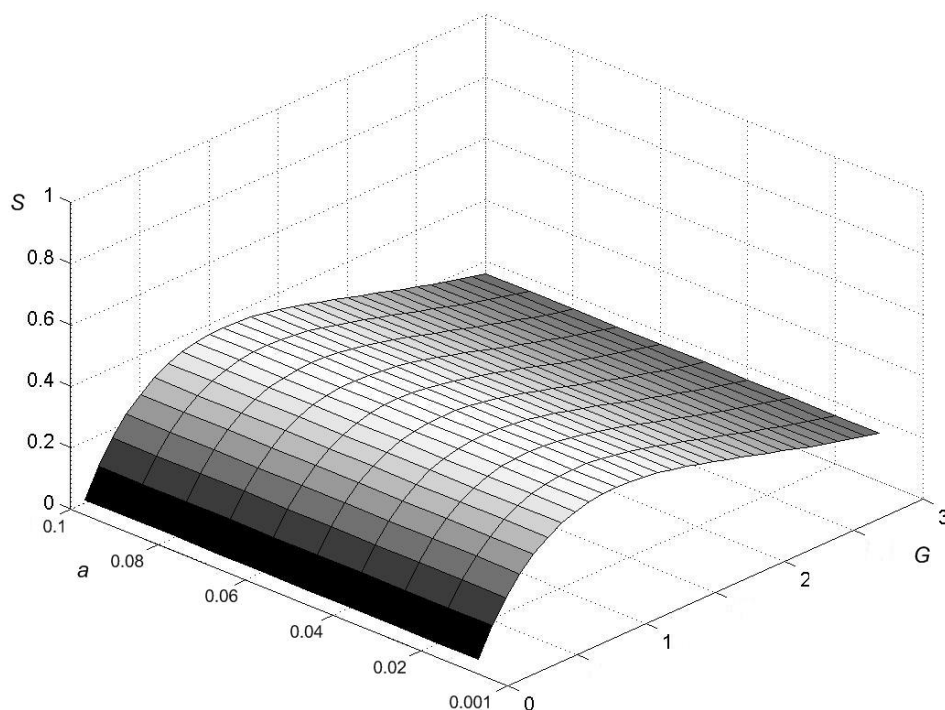


Рисунок 1.2 - Влияние интенсивности попыток передач и задержки распространения данных на коэффициент использования общей среды информационного взаимодействия при работе синхронного протокола *ALOHA*

Анализ рисунка 1.2 позволяет сделать вывод, что КИ ОСИВ протокола *ALOHA* не зависит от значения a . *ALOHA* является протоколом без проверки занятости ОСИВ и вероятность возникновения коллизии имеет случайный характер, не зависящий от ЗРД. Этот факт позволяет ожидать стабильное значение КИ ОСИВ при любых значениях ЗРД, однако, наибольшее значение *ALOHA* показывает при ИПП менее 1 (Таблица 1.1).

Таблица 1.1 - КИ ОСИВ при работе синхронного протокола *ALOHA* относительно ЗРД и ИПП

Задержка распространения	Интенсивность попыток передач G (кадров/слот)			
	0,5	1	2	3
не влияет	0.3033	0.3679	0.2707	0.1494

Результаты, приведенные в таблице 1.1, позволяют утверждать, что КИ ОСИВ *ALOHA* существенно снижается с ростом ИПП. Это происходит за счет двух факторов: во-первых, если в системе несколько активных абонентов, то часть канального времени занимают коллизии; во-вторых, если все активные абоненты одновременно отказываются от передачи, часть времени система непродуктивно простаивает. *ALOHA* имеет преимущества перед другими протоколами доступа к среде в условиях наличия скрытых независимых абонентов при низкой ИПП [70].

1.2.2 Оценка влияния интенсивности попыток передач и задержки распространения данных на коэффициент использования общей среды информационного взаимодействия правил доступа к среде протокола *nonpersistent CSMA*

Протокол подразумевает следующий алгоритм действия абонентов:

- при поступлении кадра данных на передачу абонент определяет занятость канала, прослушивая его;
- если канал свободен, абонент передаёт информацию;
- в случае обнаружения занятости канала или возникновения коллизии абонент ожидает случайный промежуток времени и повторяет алгоритм.

Пусть, \bar{B} является ожидаемой длительностью периода занятости, \bar{I} является ожидаемой длительностью разделительного интервала, а $\bar{B} + \bar{I}$ ожидаемая длительность цикла. Пусть так же U означает время работы канала без конфликта во время одного цикла. При таких предположениях, получим:

$$S = \frac{\bar{U}}{\bar{B} + \bar{I}}. \quad (1.5)$$

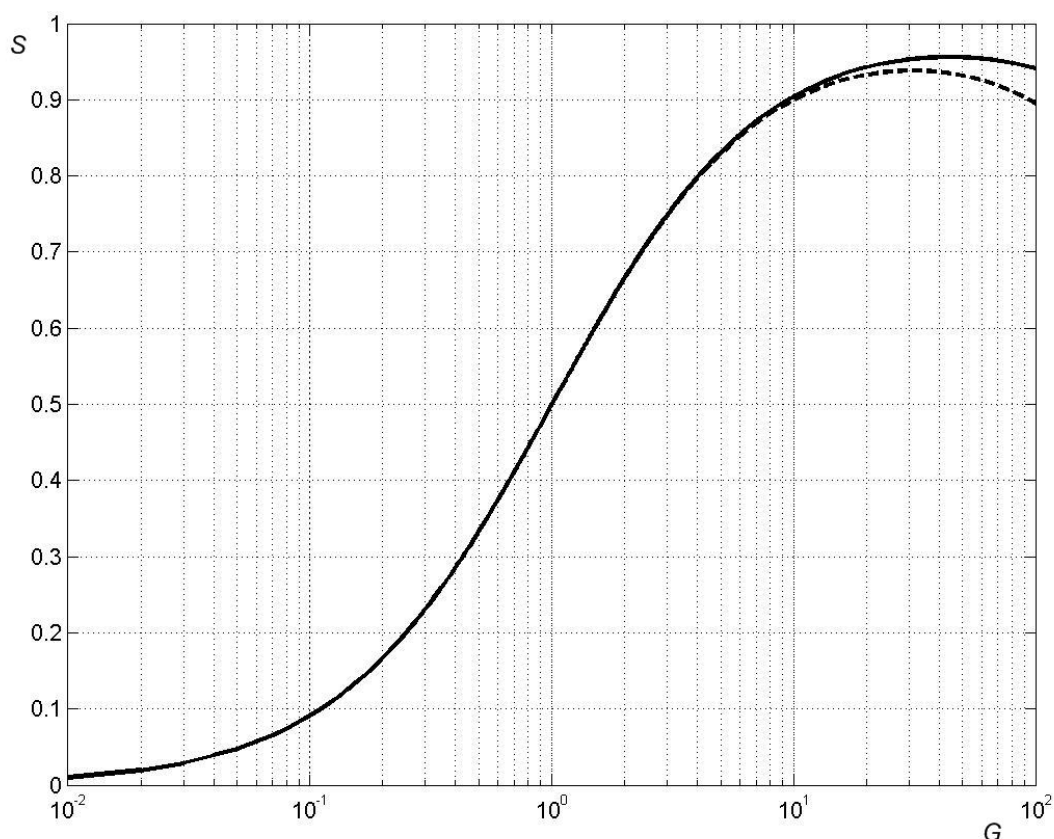
Используя 1.5, а так же значения \bar{U} , \bar{B} , \bar{I} имеем:

$$S = \frac{Ge^{-aG}}{G(1+2a) + e^{-aG}}. \quad (1.6)$$

Окончательно для синхронного протокола CSMA, получаем:

$$S = \frac{aGe^{-aG}}{\left(1 - e^{-aG}\right) + a}. \quad (1.7)$$

На рисунке 1.3 приведен результат расчета КИ ОСИВ синхронного и несинхронного *nonpersistent CSMA*.



Протокол	<i>nonpersistent CSMA</i>	синхронный <i>nonpersistent CSMA</i>
Кривая	-----	—————

Рисунок 1.3 - Коэффициент использования общей среды информационного взаимодействия с применением протокола *nonpersistent CSMA* относительно интенсивности попыток передач G ($a=0.001$)

Анализ КИ ОСИВ синхронного и несинхронного протоколов, представленный на рисунке 1.3 позволяет утверждать, что набор правил синхронного *nonpersistent CSMA* имеет преимущества в случае возрастания ИПП. Так, в случае резкого увеличения ИПП ($G > 10$, $a = 0.001$) протокол имеет преимущество 5% в сравнении с оптимальным *p-persistent CSMA*. С ростом ИПП, преимущество *nonpersistent CSMA* увеличивается.

Для анализа влияния ЗРД и ИПП на КИ ОСИВ для протокола *nonpersistent CSMA* построим трехмерный график на основе формулы (1.7).

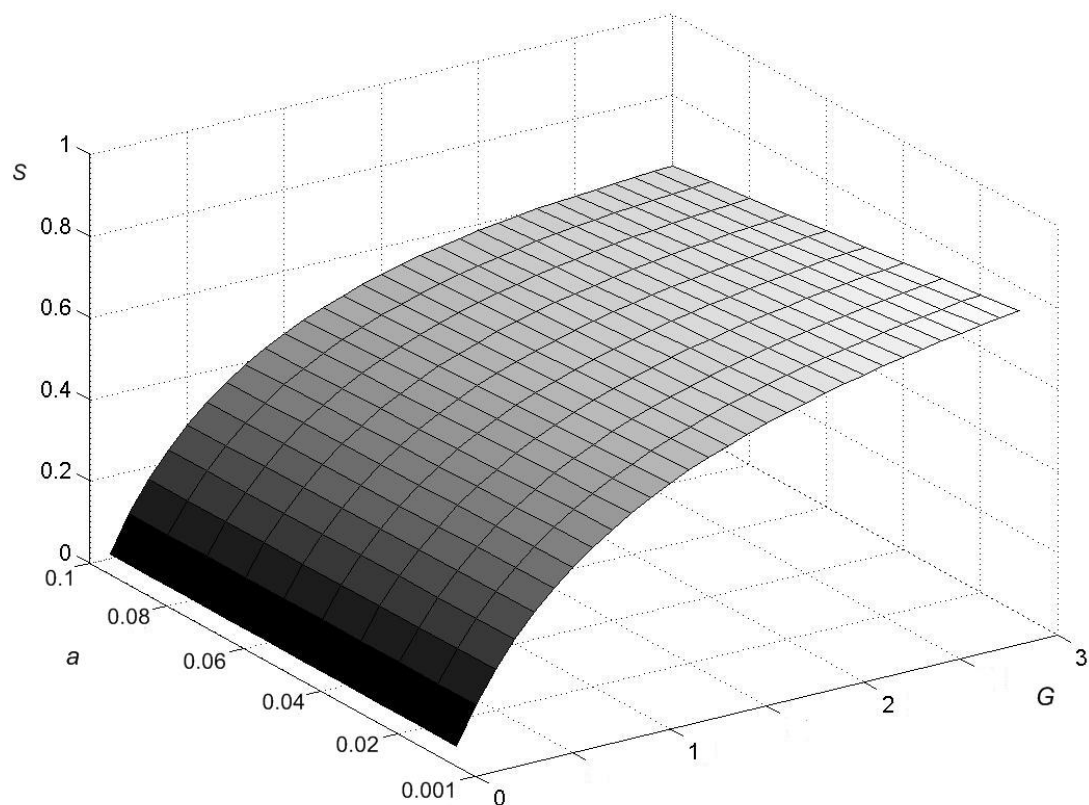


Рисунок 1.4 - Влияние интенсивности попыток передач и задержки распространения данных на коэффициент использования общей среды информационного взаимодействия для синхронного протокола *nonpersistent CSMA*

Анализ рисунка 1.4 позволяет сделать вывод, что синхронный *nonpersistent CSMA* имеет наибольший КИ ОСИВ при условии малых значений ЗРД и при больших значениях ИПП (таблица 1.2).

Таблица 1.2 - Коэффициент использования общей среды информационного взаимодействия при работе синхронного протокола *nonpersistent CSMA* относительно задержки распространения данных и интенсивности попыток передач

Задержка распространения	Интенсивность попыток передач G (кадров/слот)			
	0,5	1	2	3
0,001	0.3332	0.4996	0.6658	0.7486
0,01	0.3319	0.4963	0.6578	0.736
0,05	0.3265	0.4815	0.6233	0.682
0,1	0.3197	0.4636	0.5822	0.6188

Анализ результатов, приведенных в таблице 1.2 показал, что этот протокол наиболее эффективен при лавинообразном увеличении количества попыток передач. Использование случайной задержки на повторную передачу уменьшает вероятность образования коллизий. Недостатком этого протокола проявляется неэффективное использование канала при низких значениях ИПП. К примеру, в момент, когда среда освободится, абонент, готовый к передаче, будет продолжать ожидать некоторое случайное время, поскольку перед этим обнаружил канал занятым.

1.2.3. Оценка влияния интенсивности попыток передач и задержки распространения данных на коэффициент использования общей среды информационного взаимодействия правил доступа к среде протокола *1-persistent CSMA*

Протокол подразумевает следующий алгоритм действия абонента:

- при поступлении кадра данных на передачу абонент определяет занятость канала, прослушивая его;

- если канал свободен, абонент передаёт информацию;
- в случае обнаружения занятости канала, абонент ожидает освобождение канала и повторяет алгоритм;
- в случае возникновения коллизии абонент ожидает случайный промежуток времени и повторяет алгоритм.

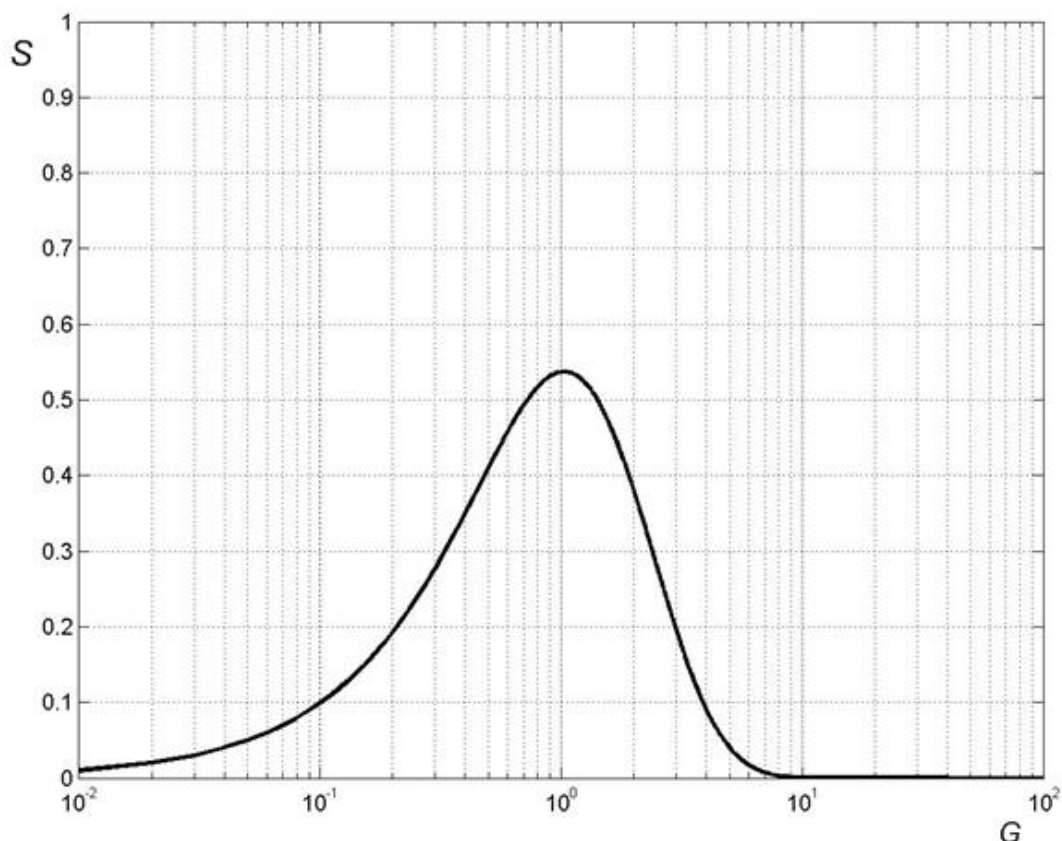
Применив формулу 1.1 , получаем:

$$S = \frac{G[1 + G + aG(1 + G + aG/2)]e^{-G(1+2a)}}{G(1+2a) - (1 - e^{-aG}) + (1 + aG)e^{-G(1+a)}} \quad (1.8)$$

В синхронной версии *1-persistent CSMA*, как и в синхронной *ALOHA*, в случае возникновения коллизии, ее длительность равна одному слоту. Так как трафик независимый (предположение 2), количество слотов в раздельный интервал распределено со значением равным $1/(1 - e^{-aG})$. Таким образом, применяя 1.5 и используя выражения \bar{U} , \bar{I} и \bar{V} получим:

$$S = \frac{G \exp\{-G(1+a)\} [1 + a - \exp\{-aG\}]}{(1+a)(1 - \exp\{-aG\}) + a \exp\{-G(1+a)\}} \quad (1.9)$$

На рисунке 1.5 приведен результат расчета значений КИ ОСИВ синхронного и несинхронного *1-persistent CSMA*.



Протокол	<i>1-persistent CSMA</i>	синхронный <i>1-persistent CSMA</i>
Кривая	-----	—————

Рисунок 1.5 - Коэффициент использования общей среды информационного взаимодействия при использовании набора правил протокола *1-persistent CSMA* относительно интенсивности попыток передач G ($a=0.001$)

Анализ КИ ОСИВ синхронного и несинхронного протоколов (рисунок 1.5) позволяет сделать вывод, что на набор правил *1-persistent CSMA* временная синхронизация для начала времени передачи не оказывает существенного влияния.

Для анализа влияния ЗРД и ИПП на КИ ОСИВ для протокола *1-persistent CSMA* построим трехмерный график на основе формулы (1.9).

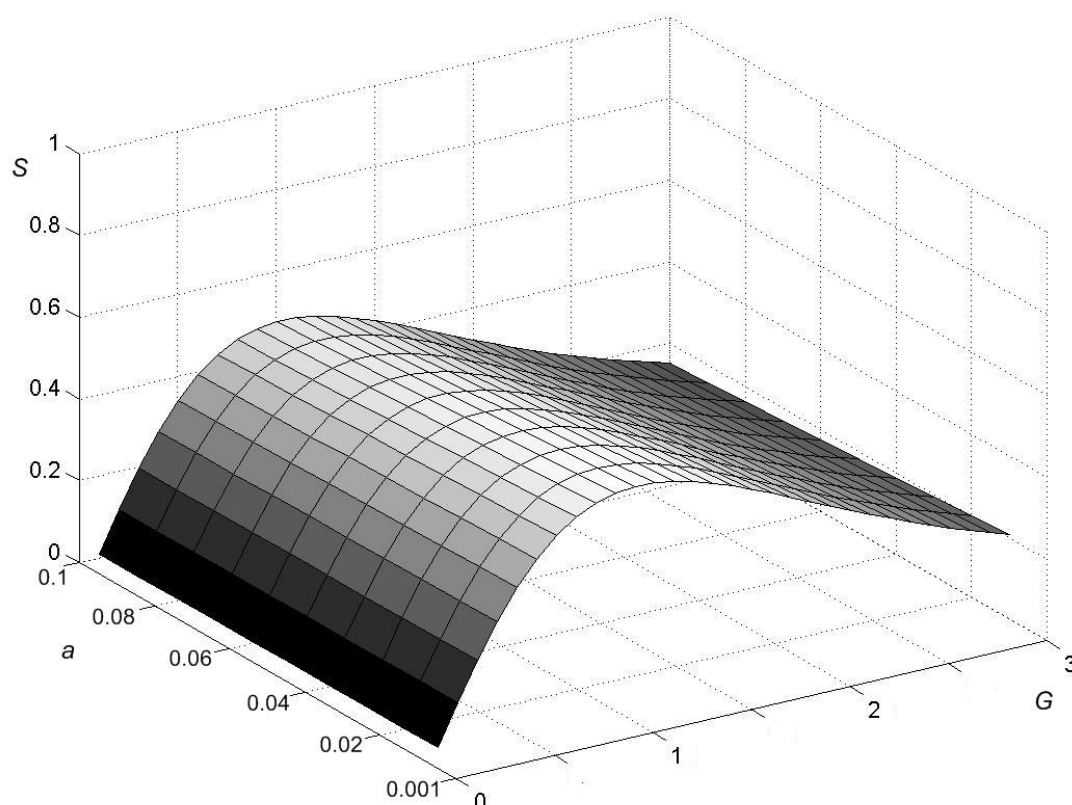


Рисунок 1.6 - Влияние интенсивности попыток передач и задержки распространения данных на коэффициент использования общей среды информационного взаимодействия для синхронного протокола *1-persistent CSMA*

Анализ рисунка 1.6 позволяет сделать вывод, что протокол *1-persistent CSMA* эффективен при низких значениях ИПП (таблица 1.3).

Из данных, приведенных в таблице 1.3, следует, что настойчивые попытки повторной передачи при низких значениях ИПП позволяют наиболее эффективно использовать канал передачи данных.

Таблица 1.3 - Коэффициент использования общей среды информационного взаимодействия при работе синхронного протокола *1-persistent CSMA* относительно задержки распространения данных и интенсивности попыток передач

Задержка распространения	Интенсивность попыток передач G (кадров/слот)			
	0,5	1	2	3
0,001	0.4108	0.5372	0.3793	0.1952
0,01	0.4084	0.5307	0.3708	0.189
0,05	0.398	0.5031	0.3353	0.164
0,1	0.3854	0.4709	0.2961	0.1376

С увеличением ИПП и ростом ЗРД снижается КИ ОСИВ. Правила доступа к среде этого протокола не эффективны, в случае если два или более абонента ожидают передачи, т.к. в момент освобождения канала коллизия возникнет с вероятностью 1.

1.2.4. Оценка влияния интенсивности попыток передач и задержки распространения данных на коэффициент использования общей среды информационного взаимодействия правил доступа к среде протокола *p-persistent CSMA*

Протокол предполагает следующий алгоритм действия абонентов:

- при поступлении кадра данных на передачу абонент определяет занятость канала, прослушивая его;
- если канал свободен, абонент с вероятностью p передает кадр данных, а с вероятностью $q=1-p$ передача откладывается на следующий временной слот;
- в следующем временном слоте (в случае если передача была отложена) передача данных или ожидание следующего слота происходят с вероятностью p и

q соответственно. Этот процесс продолжается до тех пор, пока либо кадр не будет передан, либо пока другой абонент не займет канал;

- в случае обнаружения занятости канала или возникновения коллизии абонент ожидает случайный промежуток времени и повторяет алгоритм.

Используя (1.5) получим КИ ОСИВ, являющийся функцией от G, p и a :

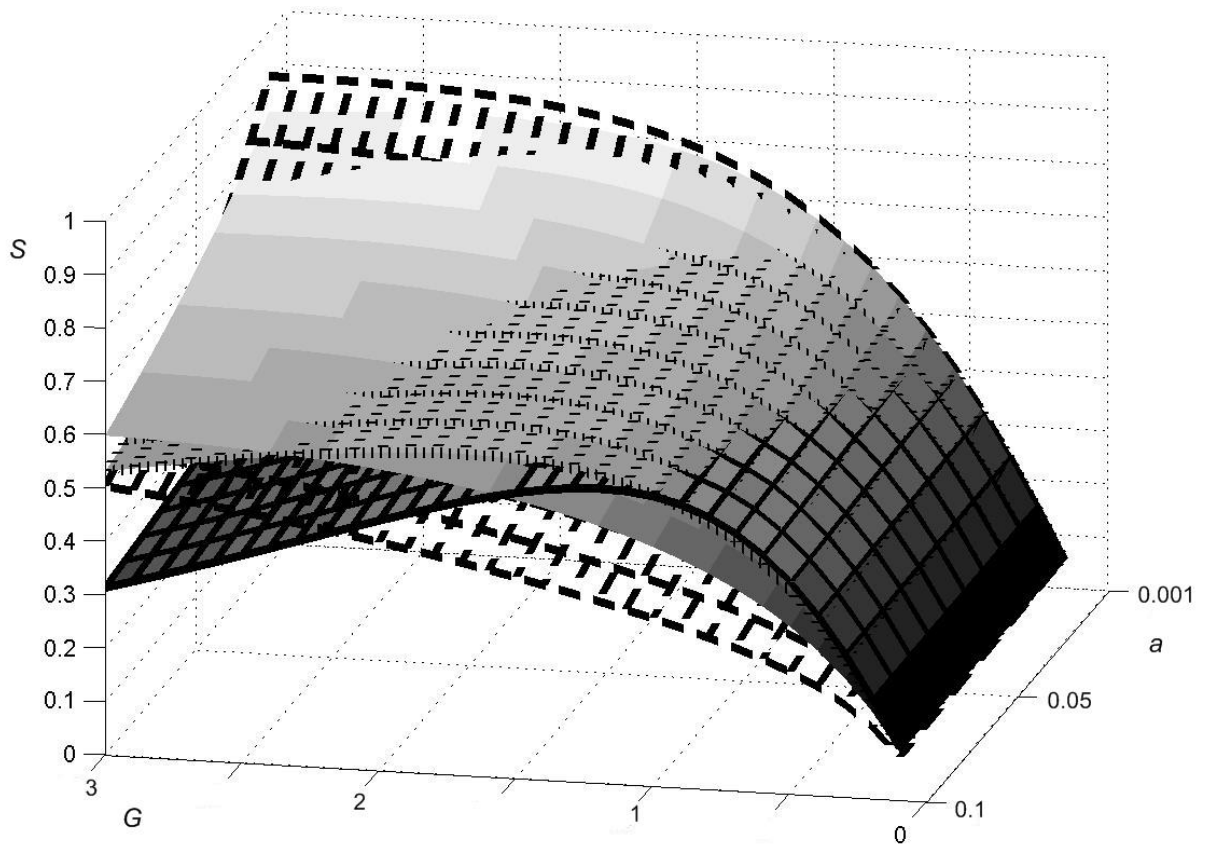
$$S = \frac{(1 - e^{-aG}) [P'_S \pi_0 + P_S (1 - \pi_0)]}{(1 - e^{-aG}) [a\bar{t}' \pi_0 + a\bar{t} (1 - \pi_0) + 1 + a] + a\pi_0}, \quad (1.10)$$

где $P'_S, P_S, \bar{t}', \bar{t}, \pi_0$ определены в работе [70].

Для анализа влияния ЗРД и ИПП на КИ ОСИВ для протокола *p-persistent CSMA* получена трехмерная зависимость S, G, a .

Анализ рисунка 1.7 позволяет сделать вывод, что КИ ОСИВ *p-persistent CSMA* зависит от значения вероятности p [74]. Настойчивые попытки повторной передачи при низких значениях ИПП позволяют наиболее эффективно использовать ОСИВ (таблица 1.4).

Анализ результатов, представленных в таблице 1.4, показал, что изменение вероятности назначения повторной передачи p обеспечивает данному протоколу самые высокие показатели КИ ОСИВ при ИПП в пределах от 0 до 10 кадров в 1 временной слот. Однако с ростом ЗРД снижается значение КИ ОСИВ.







Значение p	0.5	0.2	0.07	0.03
Плоскость				

Рисунок 1.7 - Влияние интенсивности попыток передач и задержки распространения данных на коэффициент использования общей среды информационного взаимодействия для протокола *p-persistent CSMA*

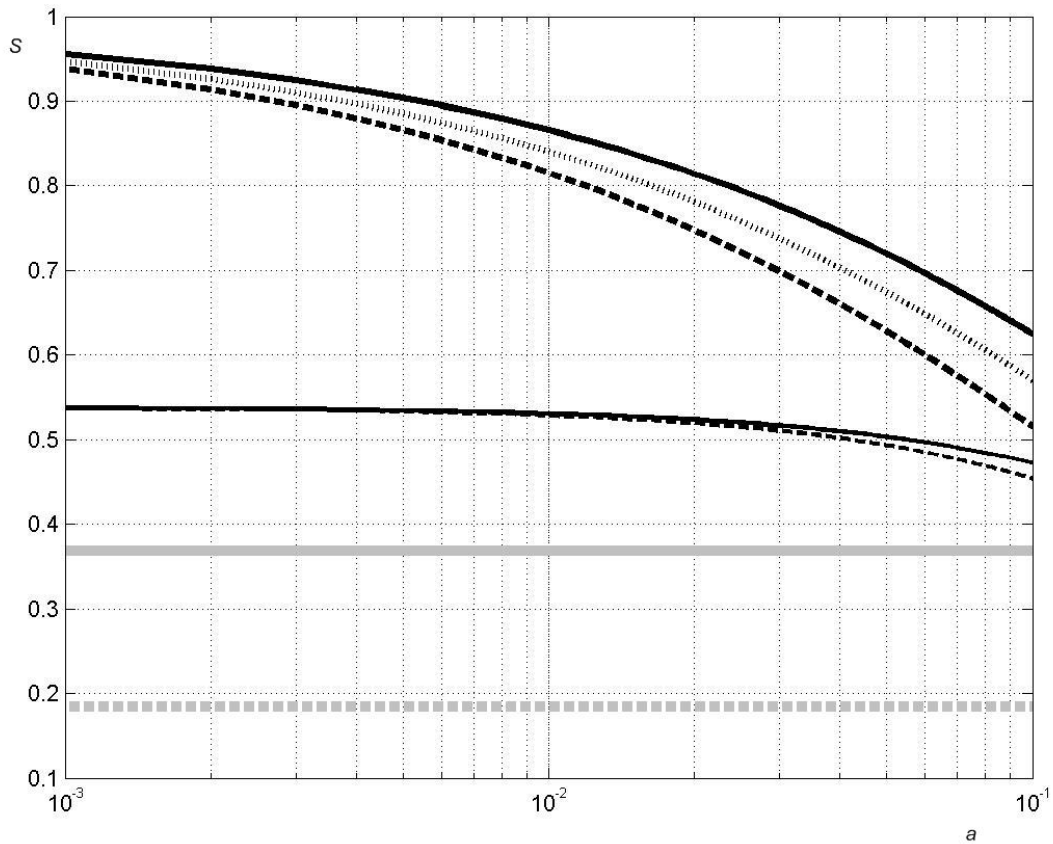
Таблица 1.4 - Коэффициент использования общей среды информационного взаимодействия при работе синхронного протокола *p-persistent CSMA* относительно задержки распространения данных и интенсивности попыток передач

Задержка распространения		Интенсивность попыток передач G (кадров/слот)			
		0,5	1	2	3
0,001	p=0.03	0.4441	0.7093	0.8901	0.9134
	p=0.07	0.4457	0.7065	0.8590	0.8481
	p=0.2	0.4415	0.6785	0.7502	0.6602
	p=0.5	0.4293	0.6167	0.5608	0.3887
0,01	p=0.03	0.3947	0.6058	0.7736	0.8198
	p=0.07	0.4222	0.6554	0.8011	0.8018
	p=0.2	0.4322	0.6573	0.725	0.6395
	p=0.5	0.4249	0.606	0.5469	0.3774
0,05	p=0.03	0.2655	0.3721	0.4988	0.5734
	p=0.07	0.3427	0.4993	0.623	0.6512
	p=0.2	0.3955	0.5786	0.6327	0.5625
	p=0.5	0.4067	0.5627	0.4920	0.3327
0,1	p=0.03	0.19	0.2559	0.3554	0.4277
	p=0.07	0.2789	0.3895	0.4959	0.5347
	p=0.2	0.3582	0.5054	0.5487	0.4901
	p=0.5	0.386	0.5162	0.4353	0.2872

1.3. Анализ влияния интенсивности попыток передач и задержки распространения данных на выбор правил доступа к среде

Оценка влияния ЗРД в синхронных и несинхронных протоколах, показала, что при меньших значениях ЗРД наблюдается более высокое значение КИ ОСИВ. ЗРД зависит от задержки распространения данных между абонентами по общей среде. Так, например, если общая среда будет представлять собой среду распространения радиосигнала, то ЗРД будет зависеть от расстояния между узлами в системе, следовательно, чем ближе расположены друг к другу узлы системы, тем выше вероятность эффективного использования ОСИВ (рисунок 1.8).

Анализ рисунка 1.8 позволяет сделать вывод, что синхронные протоколы доступа всегда более эффективны, чем несинхронные. С увеличением значения ЗРД снижается и КИ ОСИВ, кроме протоколов *ALOHA*, которые не проверяют состояние канала перед передачей, а значит, не имеют периода уязвимости. Так, максимальный КИ ОСИВ протоколов *nonpersistent CSMA* и *p-persistent CSMA* при минимальных значениях ЗРД равен 0.95. Однако с ростом ЗРД значение КИ ОСИВ приближается к показателям *1-persistent CSMA* (при $a=0.1$) и находится в промежутке от 0.53 до 0.63. Снижение КИ ОСИВ *1-persistent CSMA* происходит в меньшей степени (с 0.53 до 0.46). Снижение КИ ОСИВ несинхронных протоколов происходит более интенсивно, что связано с большей вероятностью возникновения коллизии и длительностью коллизии при передаче. Параметр ЗРД является и периодом уязвимости, т.к. в этот период абонент, проверяющий свободен ли канал, может обнаружить канал свободным, однако фактически канал может быть уже занят другим абонентом, сигнал которого еще не достиг абонента, осуществляющего проверку канала.



Протокол	<i>ALOHA</i>	Синхронный <i>ALOHA</i>	<i>1-persistent</i> <i>CSMA</i>	Синхронный <i>1-persistent CSMA</i>
Кривая	—————	- - - - -	—————
Протокол	<i>nonpersistent</i> <i>CSMA</i>	Оптимальный <i>p-persistent</i> <i>CSMA</i>	Синхронный <i>nonpersistent CSMA</i>	
Кривая	- - - - -	—————	

Рисунок 1.8 - Влияние задержки распространения данных на коэффициент использования общей среды информационного взаимодействия

По этой причине увеличение ЗРД увеличивает и вероятность возникновения коллизии у всех протоколов с проверкой канала.

Рассмотрим варианты условий, в которых могут отказаться абоненты, и определим, какие из наборов правил будут наиболее эффективны.

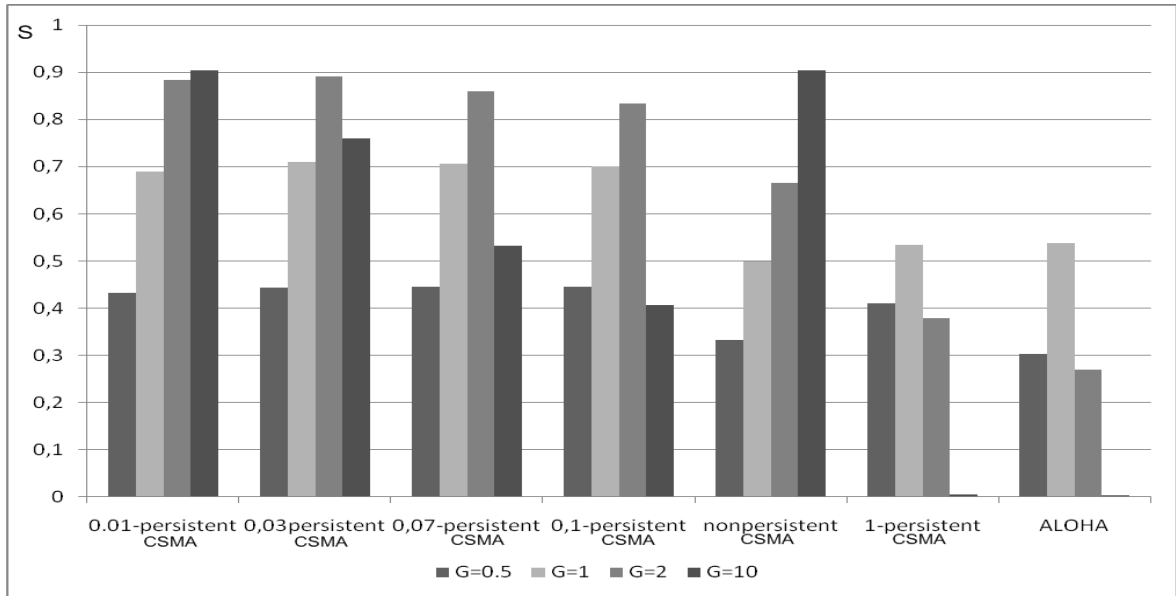


Рисунок 1.9 - Сравнение коэффициента использования общей среды информационного взаимодействия различных наборов правил доступа к среде относительно интенсивности попыток передач при задержке распространения данных равной 0.001

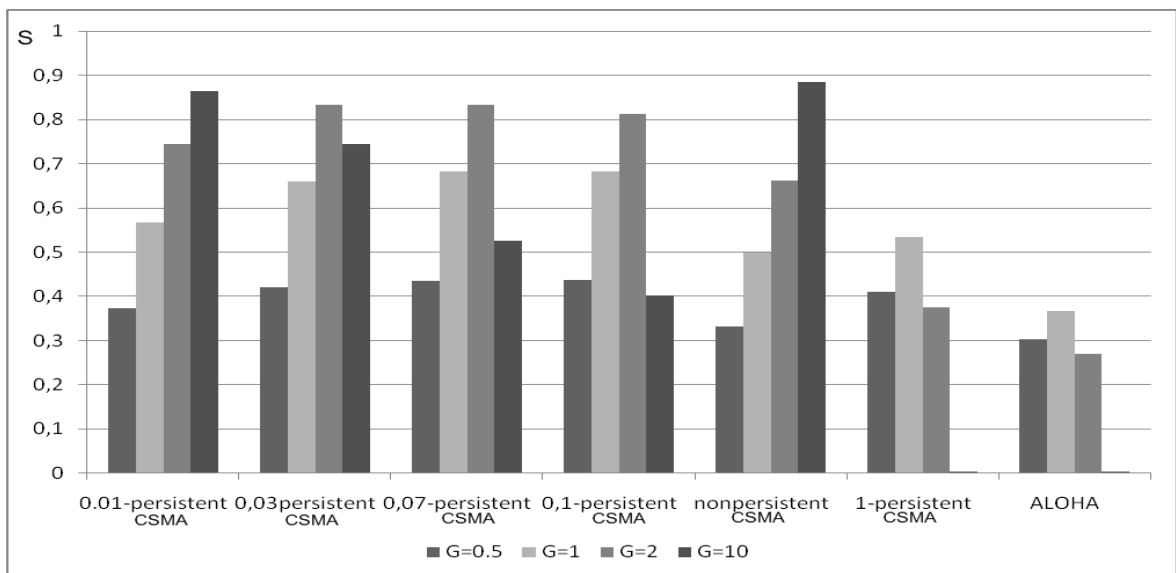


Рисунок 1.10 - Сравнение коэффициента использования общей среды информационного взаимодействия различных наборов правил доступа к среде относительно интенсивности попыток передач при задержке распространения данных равной 0.005

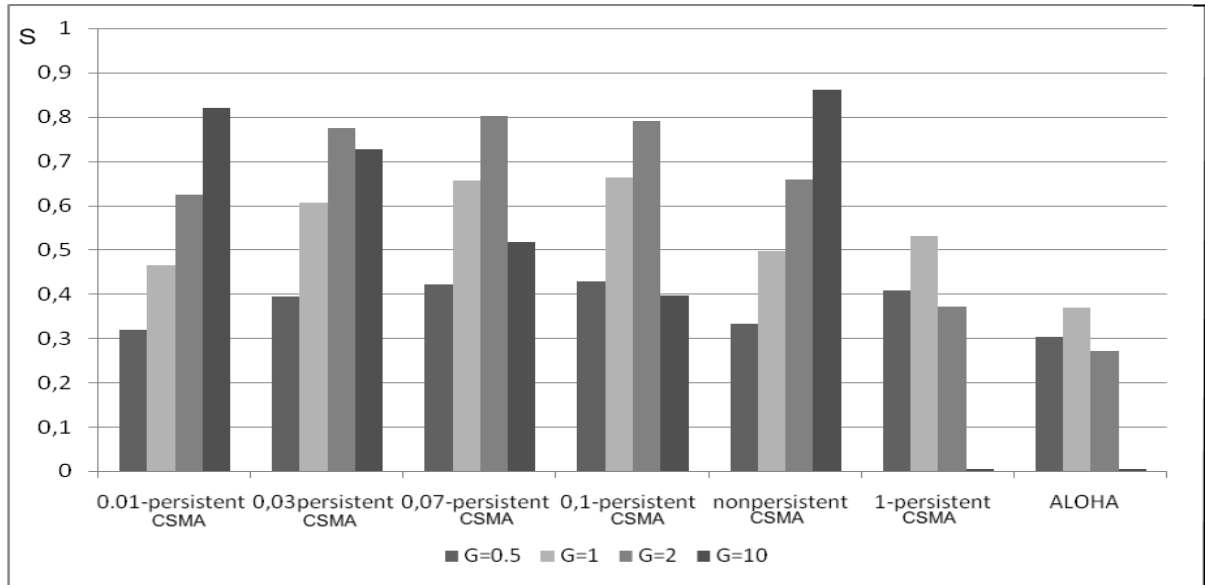


Рисунок 1.11 - Сравнение коэффициента использования общей среды информационного взаимодействия различных наборов правил доступа к среде относительно интенсивности попыток передач при задержке распространения данных равной 0.01

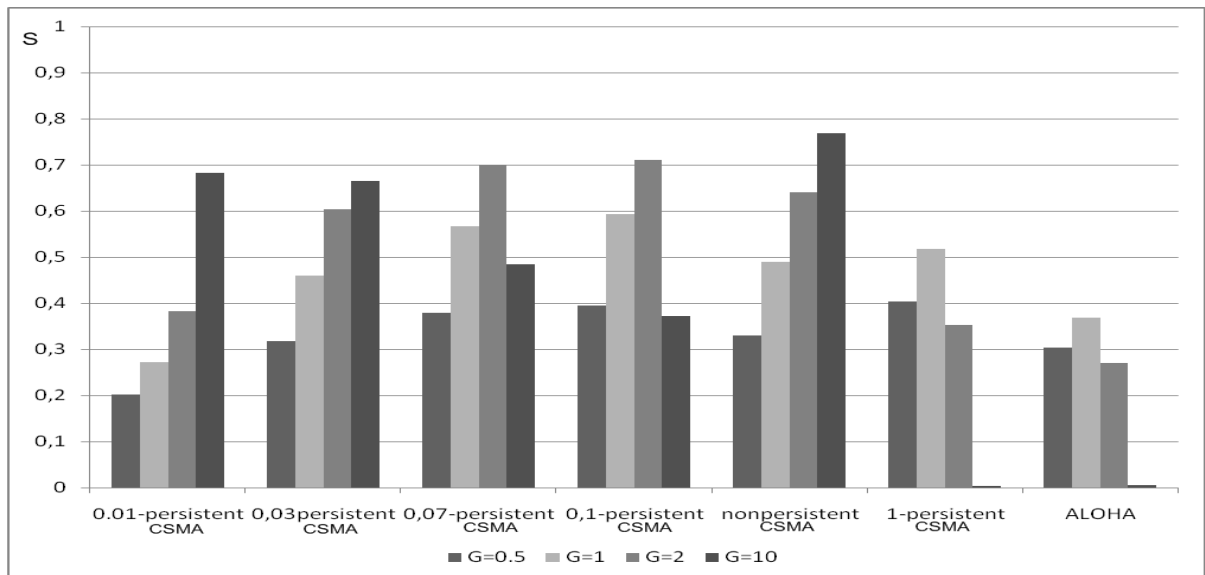


Рисунок 1.12 - Сравнение коэффициента использования общей среды информационного взаимодействия различных наборов правил доступа к среде относительно интенсивности попыток передач при задержке распространения данных равной $a=0.03$

Получена гистограмма, в которой приведены значения КИ ОСИВ различными протоколами (рисунок 1.9). При условии что период уязвимости кадра имеет среднее значение $a=0.001$, наиболее эффективным для применения является набор правил *0,1-persistent CSMA* при условии ИПП $G=0.5$. Однако в среднем все протоколы *p-persistent CSMA* имеют равное значение КИ ОСИВ в заданных условиях. Для наборов правил *p-persistent CSMA* относительно высокое среднее значение КИ ОСИВ наблюдается при всех значениях ИПП, однако с ростом ИПП следует отдавать предпочтение наборам правил *p-persistent CSMA* с наименьшим значением p . При мгновенном скачкообразном увеличении ИПП до $G=10$ наибольшее значение КИ ОСИВ имеет *nonpersistent CSMA*, однако *0,01-persistent CSMA* показывает приблизительно схожее значение КИ ОСИВ. На рисунке 1.10 с возрастанием значения периода уязвимости $a=0.005$, КИ ОСИВ всех наборов правил снижается, однако соотношения значений КИ ОСИВ для различных наборов правил остаются такими же как на рисунке 1.9. Анализ зависимостей на рисунках 1.9, 1.10, 1.11 и 1.12 позволяют сделать вывод, что с ростом значения периода уязвимости кадра a приоритет следует отдавать *p-persistent CSMA* с бо'льшим значением p . Наборы правил *1-persistent CSMA* и *ALOHA* совершенно неприменимы в случае высоких значений ИПП. Так же следует заметить, что с ростом значения периода уязвимости кадра максимальный КИ ОСИВ всех наборов правил снижается.

1.4. Области максимальных значений интенсивности попыток передач

На рисунке 1.13 приведены зависимости значений S , G , a всех протоколов доступа к среде, анализ которых позволяет определить условия, при которых будет наиболее эффективен тот или иной протокол доступа к среде.

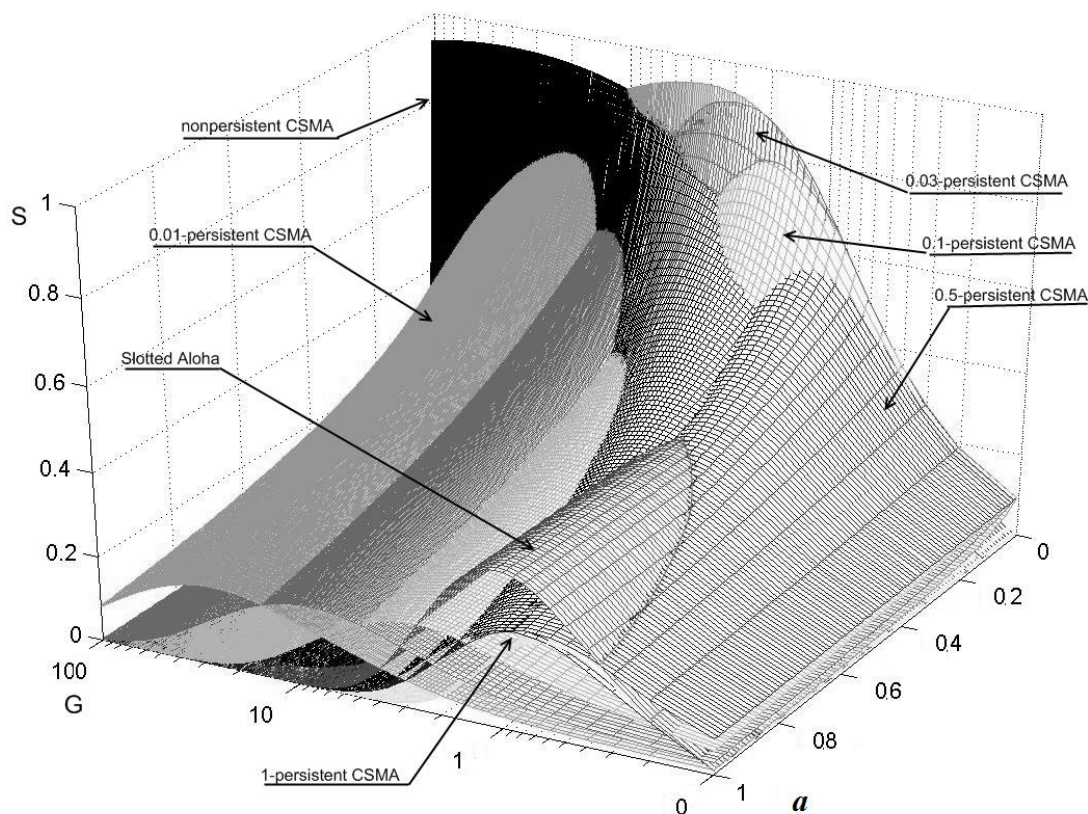


Рисунок 1.13 - Влияние интенсивности попыток передач и задержки распространения данных на коэффициент использования общей среды информационного взаимодействия протоколов доступа к среде

Анализ результатов, представленных на рисунке 1.13, позволяет сделать вывод, что протоколы *p-persistent CSMA*, *nonpersistent CSMA* и *ALOHA* могут иметь наибольшее значение КИ ОСИВ, в зависимости от значений ЗРД и ИПП. Максимальное значение КИ ОСИВ, принадлежащее какому-либо протоколу, указывает, что при данных значениях (G) и (a) этот набор правил, в среднем, будет более эффективно избегать коллизий и непродуктивных простоев. Так, правила доступа протокола *ALOHA* рационально применять лишь при высокой вероятности возникновения коллизий (что происходит при больших значениях ЗРД) при условии низкой ИПП. Правила доступа протокола *nonpersistent CSMA* позволяют наилучшим образом избегать коллизий и непродуктивных простоев

при условии высоких значений ИПП и низких значениях ЗРД. С ростом значения ЗРД, область наибольшего КИ ОСИВ протокола *nonpersistent CSMA* перемещается в область меньших значений ИПП.

1.5 Выводы по главе 1

1. Определены параметры, различающие правила конкурентного доступа к среде протоколов *1-persistent CSMA*, *p-persistent CSMA*, *nonpersistent CSMA* и *ALOHA* (таблица 1.5).

Каждому протоколу соответствуют фиксированные значения таких параметров как:

- контроль занятости среды перед попыткой передачи информации;
- вероятности передачи в следующем слоте;
- правила назначения повторной попытки передачи (средняя задержка на повторную передачу и вероятность передачи в следующий слот).

Таблица 1.5 - Правила доступа к среде в протоколах

Протокол	А	В	С
<i>ALOHA</i>	нет	передача	согласно случайной задержки
<i>nonpersistent CSMA</i>	есть	передача	согласно случайной задержки
<i>1-persistent CSMA</i>	есть	передача	передача в следующий свободный слот с вероятностью 1
<i>p-persistent CSMA</i>	есть	передача с вероятностью p	передача в следующий свободный слот с вероятностью p

Выбор правил доступа к среде оказывает влияние на среднее значение количества коллизий и простоев абонентов, а значит и в целом на КИ ОСИВ.

2. Применив методику расчета, предложенную Л.Клейнроком и А.Тобаги [70,71], рассчитаны средние значения КИ ОСИВ протоколов *1-persistent CSMA*, *p-persistent CSMA*, *nonpersistent CSMA* и *ALOHA* в зависимости от ИПП и ЗРД. В ходе исследований выявлены условия, при которых наборы правил

каждого из протоколов будут обеспечивать максимально возможные значения КИ ОСИВ. Выявлены отличия влияния ИПП и ЗРД на КИ ОСИВ каждого из протоколов. Так, правила доступа к среде синхронного протокола *ALOHA* имеют преимущество, в случае если среднее значение ЗРД $a > 0.5$, а ИПП $G = 1$. В этом случае КИ ОСИВ не превышает 0.378 кадров/слот. В случае если ЗРД не превышает 0.001, то в промежутке значений $0 > G > 10$ приоритет следует отдать протоколу *p-persistent CSMA*, который обеспечивает КИ ОСИВ до 0.92 кадров/слот. При временном увеличении ИПП $G > 10$, приоритет следует отдавать протоколу *nonpersistent CSMA*, который позволяет ожидать КИ ОСИВ равный 0.95 кадрам/слот.

3. Выполнено графическое построение зависимостей КИ ОСИВ от ИПП и ЗРД. Приведены трехмерные графики, позволяющие исследовать одновременное влияние ИПП и ЗРД на КИ ОСИВ. Объединение трехмерных графиков результатов расчетов позволили визуальную оценить актуальность идеи об адаптивном изменении правил доступа к среде с целью достижения максимально возможных значений КИ ОСИВ.

4. Проведено сравнение КИ ОСИВ наборов правил доступа к среде синхронных и несинхронных протоколов. При равных условиях синхронные протоколы обеспечивают более высокое значение КИ ОСИВ ввиду меньшей длительности коллизий.

Выполненные исследования позволяют оценить ожидаемый КИ ОСИВ всех протоколов. При значении ЗРД в интервале $(0.001 > a > 1)$ и ИПП в интервале $(0.01 > G > 100)$ и, приняв за 100% случай с идеальным планированием передач вне зависимости от задержки распространения, получим следующие результаты (таблица 1.6).

Таблица 1.6 - Коэффициент использования общей среды информационного взаимодействия различных протоколов доступа к среде относительно случая с идеальным планированием передач, принятого за 100%

<i>1-persistent CSMA</i>	<i>nonpersistent CSMA</i>	<i>ALOHA</i>	<i>0.5-persistent CSMA</i>
0.09%	6.31%	1%	1.12%
<i>0.1-persistent CSMA</i>	<i>0.03-persistent CSMA</i>	<i>0.01-persistent CSMA</i>	
4.47%	13.58%	26.34%	

Данные, представленные в таблице 1.6, позволяют утверждать, что ожидаемый КИ ОСИВ существенно различается в зависимости от набора правил доступа к среде. Однако, учитывая, что набор правил доступа к среде с максимальными показателями имеет условия, при которых он не является оптимальным, можно утверждать, что обеспечение возможности выбора набора правил в зависимости от ИПП и ЗРД позволит увеличить среднестатистическое значение КИ ОСИВ.

Функционирование алгоритма, позволяющего применить оптимальный набор правил доступа к среде передачи данных, увеличит эффективность (по критерию КИ ОСИВ) общего канала, а значит и эффективность коммуникационной системы в целом (рисунок 2.1). Поскольку модель системы является сложноформализуемой, и вся полнота параметров, влияющих на КИ ОСИВ, не учитывается ни в одной математической модели, ни одна из существующих методик математических расчетов не позволяет определить, какой из наборов правил будет наиболее эффективным.

Глава 2. Обоснование выбора метода классификации для разработки алгоритма управления правилами конкурентного доступа к среде

Применяя какой-либо из протоколов доступа к среде, абоненты применяют тот или иной способ сокращения количества коллизий и непродуктивных временных простоев. В современных коммуникационных системах применяется тот протокол, который при существующих параметрах среды информационного обмена обеспечит максимальное среднестатистическое значение КИ ОСИВ. Возможность автоматического изменения правил доступа к среде (адаптации) позволит ожидать лучших показателей КИ ОСИВ без вмешательства администратора.

В главе решена задача формализации метода управления правилами доступа к среде с конкурированием, путем классификации на ограниченных множествах.

2.1. Обоснование подхода с управлением правилами доступа к среде в системе информационного взаимодействия

Анализ влияния ЗРД и ИПП на КИ ОСИВ предложенных протоколов доступа к среде (рисунок 1.13), позволяет утверждать, что существуют такие области значений параметров системы, в которых максимальным КИ ОСИВ будут обладать определенные наборы правил. Учитывая, что на рисунке 1.13 по оси S откладывается показатель КИ ОСИВ, то набор правил, при котором значение S выше, будет предпочтительным к использованию при данных значениях a и G . Таким образом, области максимальных значений КИ ОСИВ протоколов (рисунок 2.1), располагающиеся поверх остальных, обеспечивают максимальную эффективность использования ОСИВ.

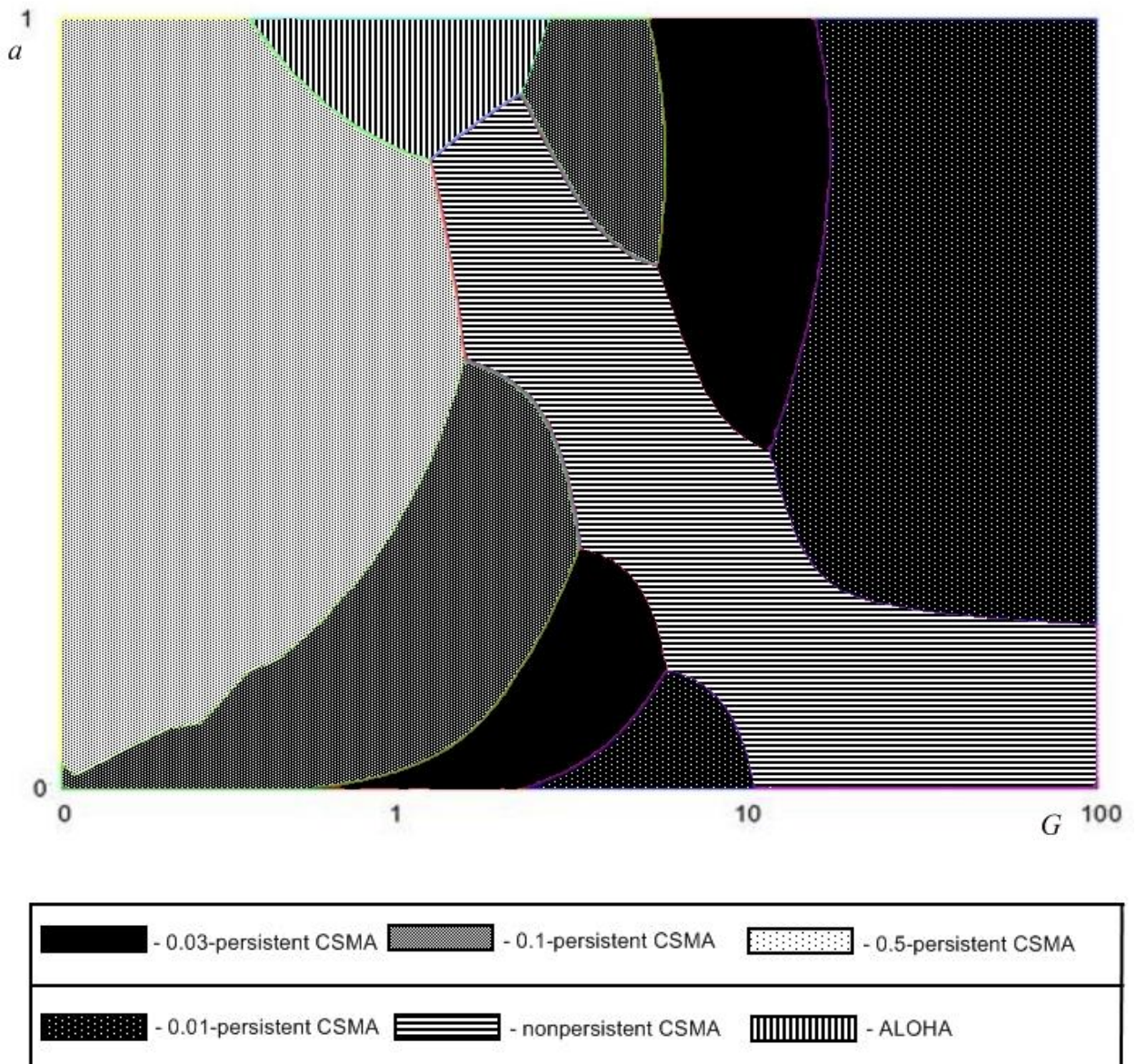


Рисунок 2.1 - Области максимальных значений эффективности для протоколов

Подобласти, расположенные на рисунке 2.1, различаются правилами доступа к среде и обеспечивают максимальный КИ ОСИВ для указанных параметров системы (ЗРД и ИПП), принадлежащих в этой подобласти. Границы поверхностей наборов правил представляют собой области значений, в которых ни один из граничащих наборов правил не имеет существенных преимуществ по критерию среднего ожидаемого значения КИ ОСИВ. На рисунке 2.1, границы показаны в виде четких линий, на практике же границы представляют собой области, где граничащие протоколы показывают близкие значения КИ ОСИВ.

Применив алгоритм управления, производящий выбор правил доступа к среде, в зависимости от существующих значениях параметров системы, получим следующие значения зависимости КИ ОСИВ от ЗРД и ИПП (рисунок 2.2).

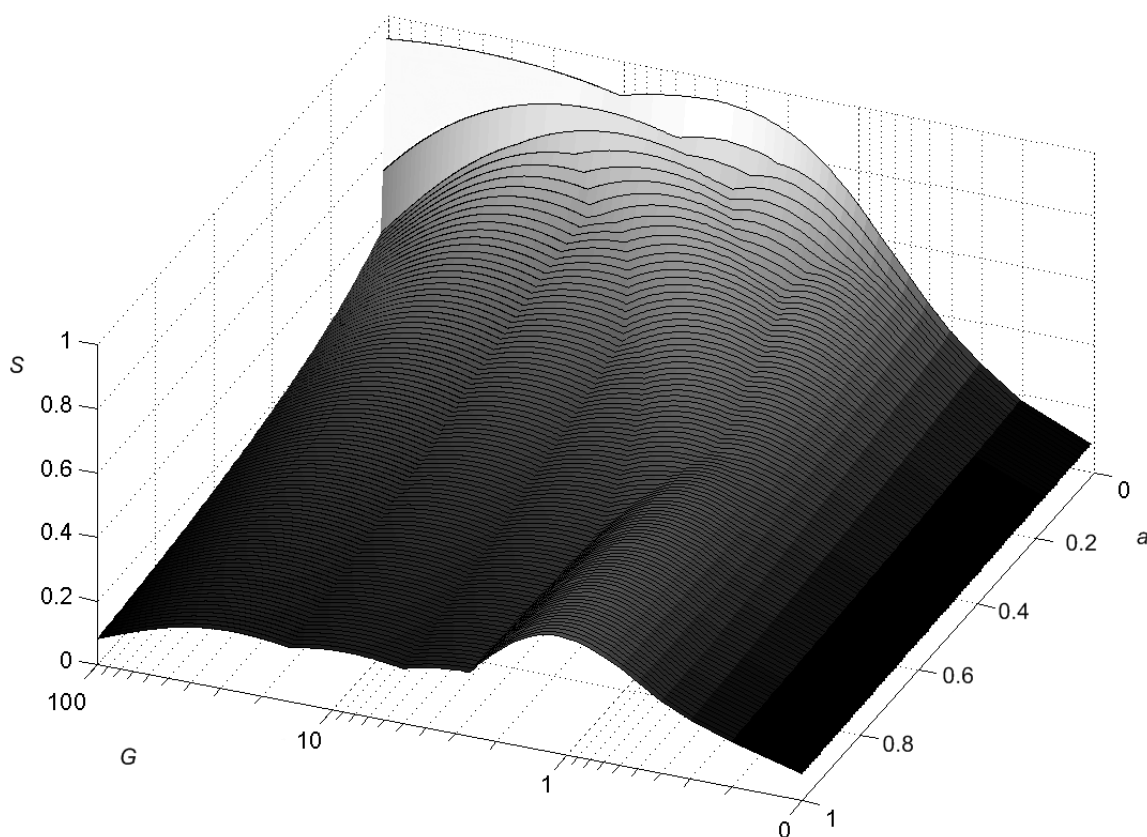


Рисунок 2.2 - Коэффициент использования общей среды информационного взаимодействия в случае адаптации правил доступа к среде в зависимости от интенсивности попыток передач и задержки распространения данных

Полученное расчетным образом графическое изображение демонстрирует ожидание максимальных значений КИ ОСИВ при условии применения адаптивного алгоритма выбора оптимальных правил доступа к среде.

Применяя предложенный Л.Клейнроком и А.Тобаги [27,70,71] аппарат теории массового обслуживания для расчета коммуникационных систем произведен расчет значений КИ ОСИВ для адаптивного алгоритма управления

правилами доступа и стандартных протоколов *1-persistent CSMA*, *p-persistent CSMA* ($p=0.01;0.03;0.1;0.5$), *nonpersistent CSMA* и *ALOHA*. При значении ЗРД в интервале ($0.001 > a > 1$) и ИПП в интервале ($0.01 > G > 100$), приняв за 100% случай с идеальным планированием передач, КИ ОСИВ равен 28.63%. Анализ результата расчетов позволяет сделать вывод, что КИ ОСИВ в случае управления правилами доступа к среде, в среднем, на 2.3 % выше, чем в случае применения правил доступа к среде наиболее эффективного протокола.

2.2.1. Обоснование детерминистского метода классификации для управления правилами доступа к среде

Анализ рисунка 2.1 позволяет сделать вывод о существовании 6 областей, которые необходимо классифицировать в пространстве значений ЗРД и ИПП. Задача классификации, в данном случае, относится к типу многоклассовой непересекающейся классификации.

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 КИ ОСИВ (например, ЗРД и ИПП) и соответствующий им набор правил, который после определенного количества попыток передач показал максимальное среднестатистическое значение КИ ОСИВ. В целях построения обучающего множества примеров требуется проведение работ по фиксации значений КИ ОСИВ 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 КИ ОСИВ при различных правилах доступа к среде, как осей в n -мерном пространстве. Основанный на построении бинарного дерева решений алгоритм классификации совпадает с типом задачи по созданию адаптивного алгоритма, производящего выбор правил доступа к среде (рисунок 2.1). Большинство

алгоритмов классификации имеют экспоненциальную или суб-экспоненциальную сложность и являются «медленными». В статье [45] автор доказал, что применяемый метод позволяет ожидать полиномиальной скорости решения алгоритма. Принято, что алгоритмы с полиномиальной вычислительной сложностью считаются «быстрыми», в то время как алгоритмы со сложностью больше полиномиальной, — «медленными». Учитывая большие значения сложности (размерности) решаемой задачи, полиномиальная сложность решения задачи классификации является существенным преимуществом.

Предложенный метод классификации основан на утверждении, что для любых областей наборов правил n -мерного пространства (например, представленного 2-х мерного пространства $A \times G$), расстояние между которыми больше нуля и объединение которых ограничено, верно условие, что любой промежуток значений параметров или его часть принадлежат какой-либо из областей наборов правил.

Каждый параметр, влияющий на КИ ОСИВ при определенном наборе правил доступа к среде, представлен как координата в n -мерном действительном пространстве R^n . Пример: R^1 - значение ЗРД; R^2 - средняя ИПП за последние s слотов (G).

Каждой точке, принадлежащей этому пространству, соответствует определенный набор правил доступа, который обеспечивает максимальный КИ ОСИВ по сравнению с другими наборами правил.

Рассмотрим пример, где производится сравнение протоколов *ALOHA* и *nonpersistent CSMA*. В качестве примера сформированы произвольно распределенные значения (рисунок 2.3), в которых максимальный КИ ОСИВ обеспечивают наборы правил двух протоколов, объединенные в области так, что в пространстве параметров появятся:

- области значений, принадлежащие наборам правил *ALOHA* и *nonpersistent CSMA*;

- граница между областями значений, в которой ни один из протоколов не показывает явного преимущества по критерию КИ ОСИВ.

Параметрами, влияющими на количество коллизий и непродуктивных простоев, являются ЗРД и ИПП. Положим, что ИПП с диапазоном значений от 0 до 10 кадров в временной слот будет интерпретирована как ось Параметр G с началом в точке 0 и завершающаяся при значении 10; ЗРД с диапазоном значений от 0 до 1 будет интерпретирована как ось Параметр a (рисунок 2.3).

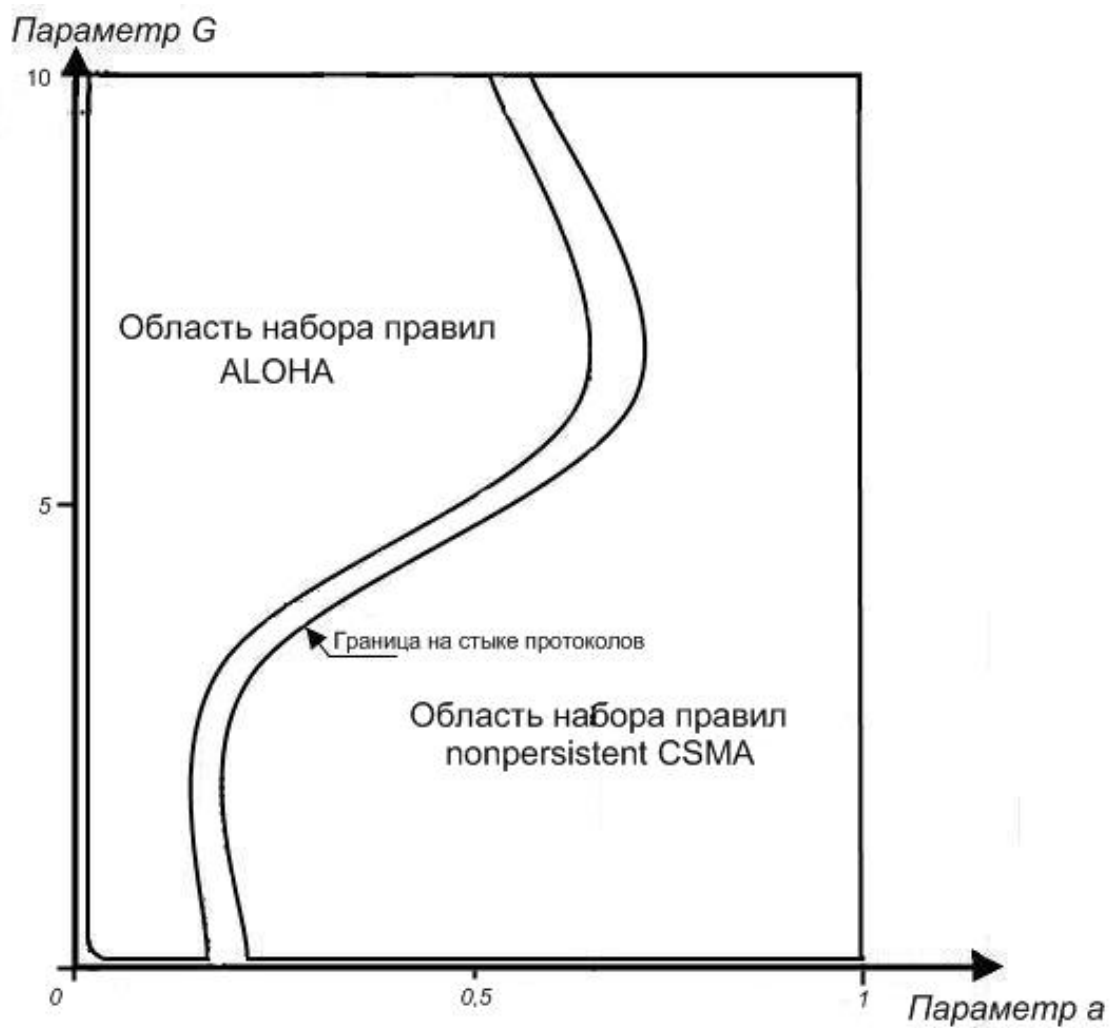


Рисунок 2.3 - Геометрический подход к задаче классификации

На рисунке 2.3 представлен пример 2-х мерного пространства с областями протоколов. Каждой точке пространства принадлежит один из наборов правил доступа к среде, который наилучшим образом позволяет избегать коллизий и непродуктивных временных простоев при соответствующем значении ЗРД и ИПП. Граница между областями наборов правил представляет собой область, где оба граничащих набора правил имеют приблизительно равные возможности избегать коллизии и непродуктивные простои, а значит, может быть применен любой из наборов правил.

2.2.2. Метод классификации для разработки алгоритма управления правилами доступа к среде

Допустим, во всем пространстве параметров существуют ограниченные области наборов правил *ALOHA* (далее класс *A*) и *nonpersistent CSMA* (далее класс *B*), которые находятся в пределах значений составляющих пространство параметров $A, B \subseteq R^n$ и полностью занимают это пространство параметров.

Существует расстояние $\rho(A, B) = \sqrt{\sum_{i=1}^N (A_i - B_i)^2}$, между этими классами,

которое позволяет четко отделить их друг от друга $\rho(A, B) = \delta_0 > 0$. За расстояние будет выбрано значение, представляющее собой нижнюю границу расстояний между классами. Обозначим совокупность областей двух классов как $\xi^n(A, B)$. Для отнесения части пространства к какому-либо из классов отделяются области, соответствующие определенным диапазонам значений какого-либо из параметров (в геометрической интерпретации *n*-мерные параллелепипеды I_m) 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 данного исследуемого параллелепипеда уменьшается, т.к. для дальнейшего рассмотрения параллелепипеда не существенен уже учтенный параметр. Прямоугольник отделяется по одному из параметров с областью значений $h = \varepsilon_0 \delta_0$, называемой ребром параллелепипеда I_m , где ε_0 коэффициент (с диапазоном значений от 0 до 1), изменяющий длину ребра относительно минимального расстояния между множествами. Чем меньше значение ε_0 , тем выше точность определения принадлежности к классу. Однако уменьшение значения ε_0 увеличивает максимальную глубину самого дерева выбора, а значит и скорость принятия решения о применении того или иного набора правил доступа к среде.

Нераспознанное пространство уменьшается после каждой итерации отделения параллелепипеда. Распознанное пространство является объединением всех отделяемых параллелепипедов, включающих один из классов

$$\xi^n(A, B) = \bigcup_m \xi_{k_m}^n(A_m, B_m)$$

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 позволяют 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).

На рисунке 2.4 классы A и B находятся в пространстве R^n , где количество осей n -мерного пространства (количество параметров влияющих на КИ ОСИВ) $n=2$.

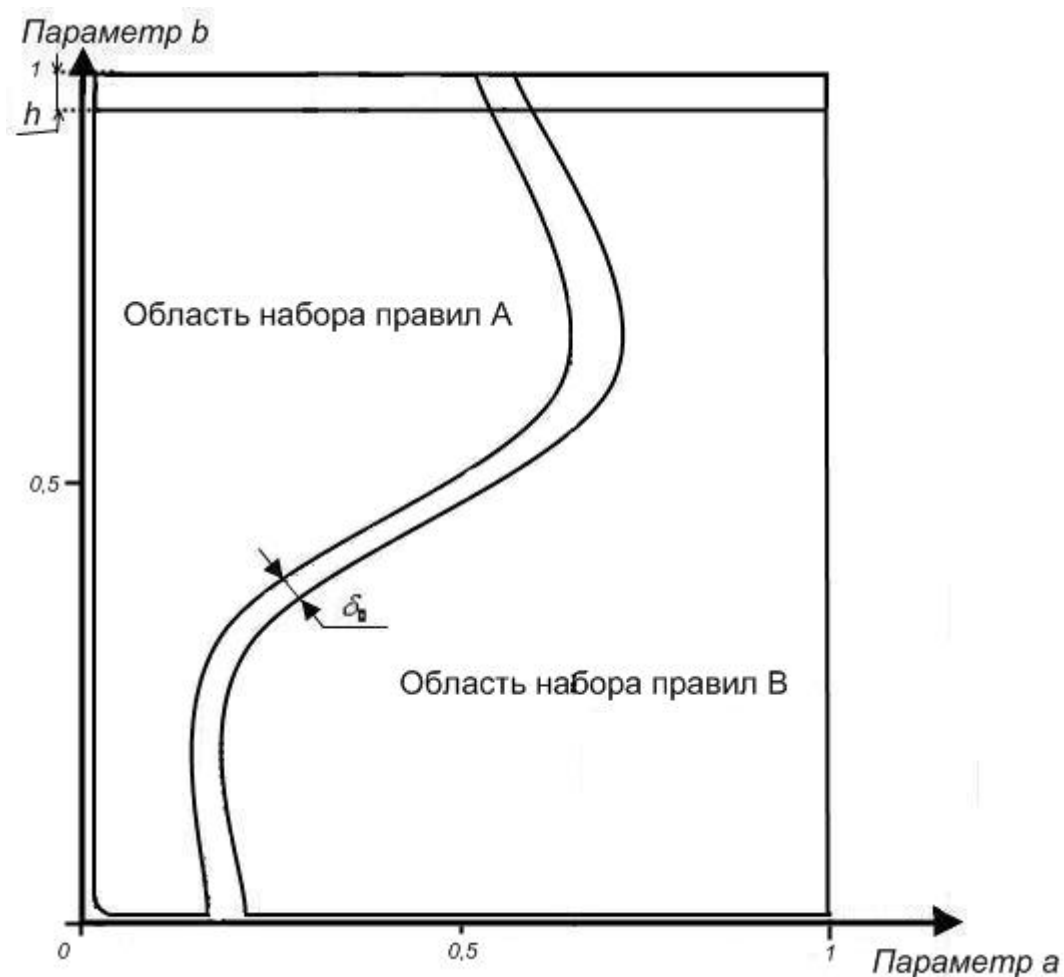


Рисунок 2.4 - Исследуемые области в пространстве R^n

Необходимым является условие, что классы не пересекаются. В случае их пересечения, следует ввести дополнительный параметр, который, являясь еще одной осью в n -мерном пространстве, позволит разделить классы. Например, в случае, когда невозможно четко определить какой из наборов правил имеет приоритет, возможно ввести такой параметр как коэффициент коллизионных слотов.

2. Отделяя диапазон значений какого-либо из параметров пространства R^n , отделяются и части классов, принадлежащих этому пространству $\forall I \in \xi^n(A, B): A \cap I = \emptyset \vee B \cap I = \emptyset$; (рисунок 2.5).

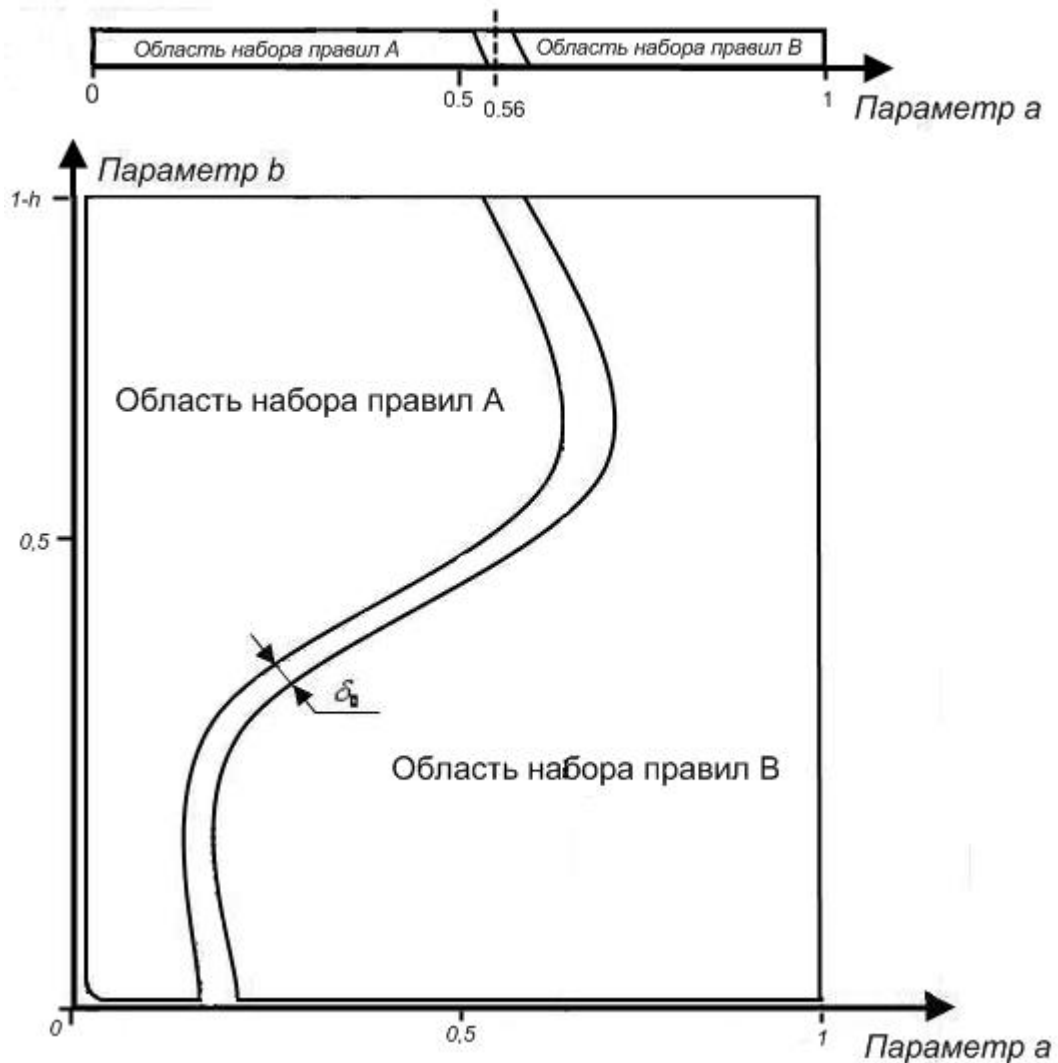


Рисунок 2.5 - Отделение подобласти из пространства R^n

Повторяя итерацию с отделяемыми подобластями по каждому из параметров, в итоге будут отделены подобласти, которым соответствует лишь один класс. Алгоритм, основанный на произвольных координатных отношениях на неупорядоченном наборе координат, строит деревья. В каждом узле такого дерева находится наименование координатной оси и ее значение. Можно принять,

что левой ветви соответствует отношение «Менее» ($<$), а в правой «Больше либо равно» (\geq). В листьях дерева находятся указатели на класс, как показано на рисунке 2.6.

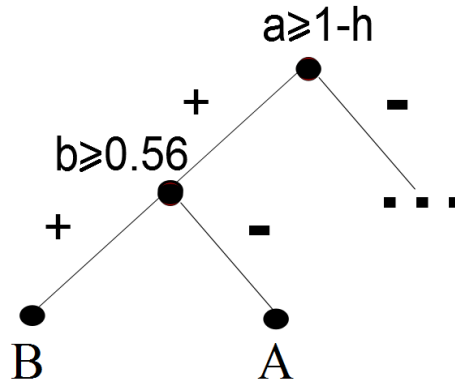


Рисунок 2.6 - Пример построения дерева классификации

Для фрагментирования подобласти класса потребуется от 1 до n итераций отделения диапазона значений параметров, рассматриваемого параллелепипеда.

3. Совокупность распознанных подобластей дает полное описание классов A и B $\bigcup_{I \in \xi^n(A,B)} A \cap I = A$, $\bigcup_{I \in \xi^n(A,B)} B \cap I = B$ (рисунок 2.7 и 2.8).

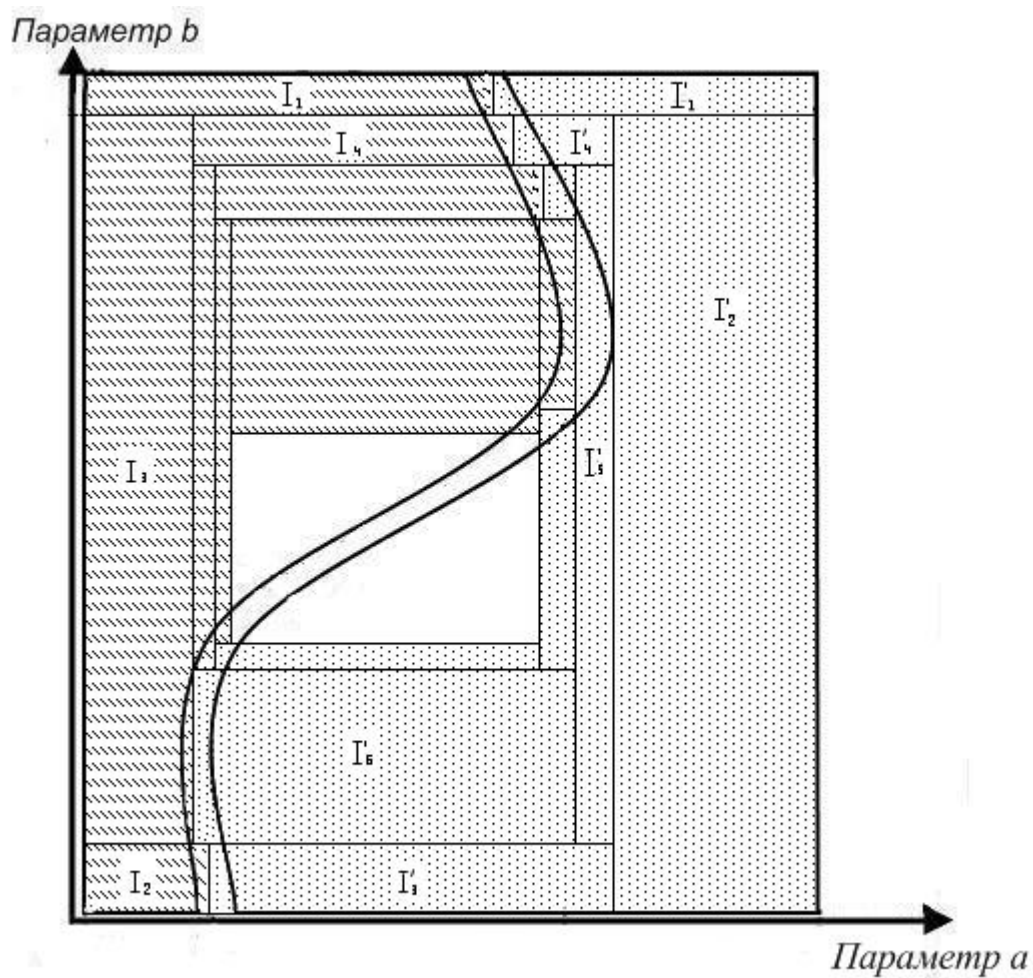


Рисунок 2.7 - Разделение пространства R^n на подобласти

Алгоритм заканчивает работу, разделив на подобласти все пространство R^n .

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

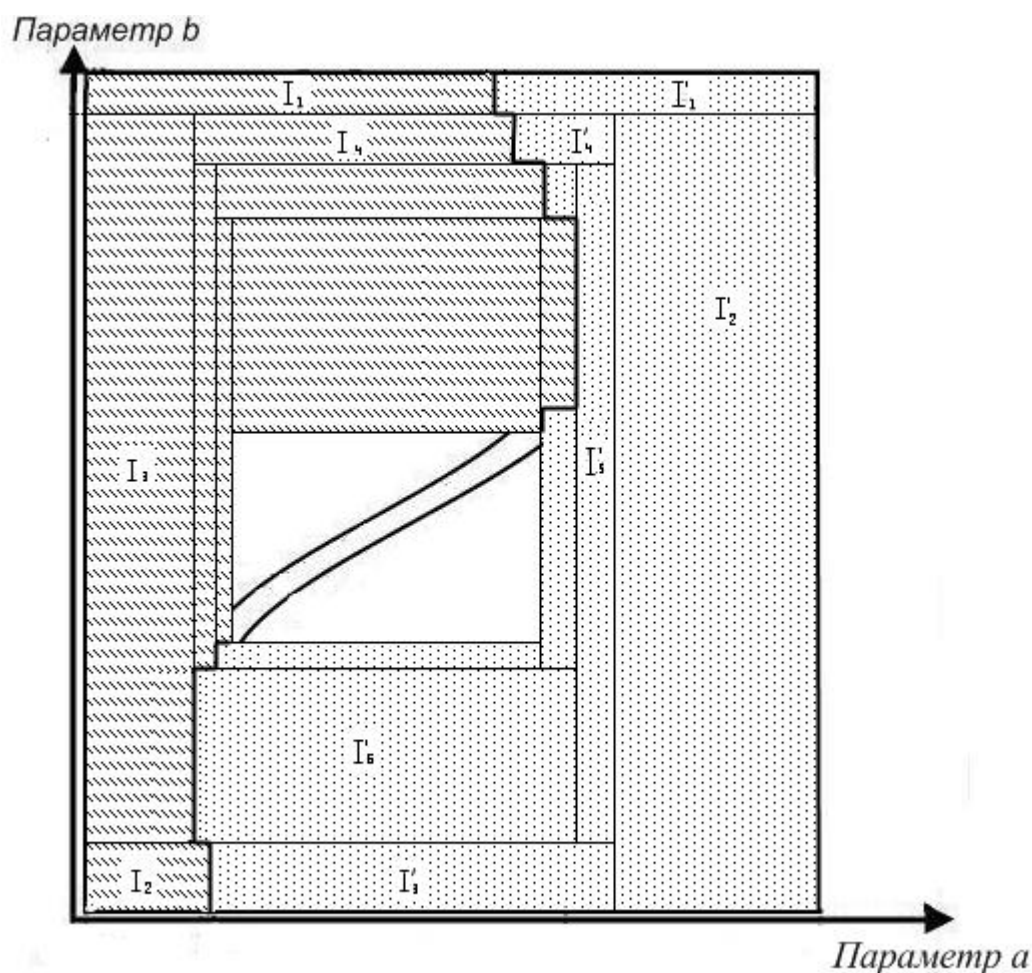


Рисунок 2.8 - Разделенное на подобласти пространство R^n

Определение принадлежности областей к классам будет происходить в той же последовательности что и разделение.

2.3. Расчет эффективности предложенного метода классификации

Согласно теории [54], возможно произвести оценку алгоритма выбора оптимального набора правил доступа к среде [45]. Предложенный метод позволяет произвести оценку памяти (времени заполнения ячеек памяти ограниченно фиксированным набором операций в отношении каждой из ячеек).

Так как применяемый метод интерпретирует значения параметров как оси пространства, то, выстраивая алгоритм выбора протокола (обучаясь), отделяются подобласти пространства (параллелепипеды). Эта процедура (отделение

подобластей) происходит конечное количество раз при помощи бинарного дерева решений (рисунок 2.6). Возможно оценить, насколько эффективно (по критерию временных затрат на построение бинарного дерева принятия решения) построен алгоритм выбора протокола. Согласно теории [40,54], алгоритм эффективно разбил пространство, если максимально возможное количество узлов в дереве выбора протокола M :

$$M \leq \frac{n\sqrt{np}}{\delta_0(1-\varepsilon)}, \quad (2.1)$$

где p – выбранное максимально возможное количество узлов для разделения двух областей наборов правил. Принимает любые целые значения при

условии $p \ll \frac{\sqrt{n}}{\delta_0}$.

Если максимально возможное количество узлов в дереве выбора протокола:

$$M > -\frac{np}{\log_2\left(1 - \frac{(1-\varepsilon)\delta_0}{\sqrt{n}}\right)}, \quad (2.2)$$

или количество итераций в дереве:

$$k > -\frac{1}{\log_2\left(1 - \frac{(1-\varepsilon)\delta_0}{\sqrt{n}}\right)}, \quad (2.3)$$

или каждая итерация в дереве прибавляет количество узлов с условиями в алгоритме много большее, чем количество протоколов, то это говорит о недостаточном количестве параметров классификации R^n . В таком случае следует оценить введение дополнительного параметра, влияющего на выбор правил доступа к среде.

Добавление нового параметра оправдано, если это позволит более эффективно разделять области наборов правил:

$$\frac{(n+1)\sqrt{(n+1)np}}{\delta(1-\varepsilon)} < \frac{n\sqrt{np}}{\delta_0(1-\varepsilon)},$$

$$\delta > \frac{n+1}{n} \sqrt{\frac{n+1}{n}} \delta_0. \quad (2.4)$$

Исключение избыточного параметра целесообразно, если это приводит к уменьшению количества узлов с условиями в дереве выбора решений:

$$\frac{(n-1)\sqrt{(n-1)np}}{\delta(1-\varepsilon)} < \frac{n\sqrt{np}}{\delta_0(1-\varepsilon)},$$

$$\delta > \frac{n-1}{n} \sqrt{\frac{n-1}{n}} \delta_0. \quad (2.5)$$

Таким образом, предложенный способ оценки эффективности алгоритма позволяет на предварительном этапе (после формирования обучающего множества примеров) выбрать параметры способствующие наиболее эффективной работе алгоритма выбора правил доступа к среде.

Произведем расчет для предложенного в главе 2.2.1 примера. Вычислим расстояние между максимально приближенными между собой точками областей $\delta_0 = \sqrt{(0.55-0.5)^2 + (0.47-0.45)^2} = 0.05385$. Исходя из простой геометрической формы областей и их и их небольшого числа, выберем значение поверхностей для разделения двух областей наборов правил $p=2$. Удостоверимся, что

$$p \ll \frac{\sqrt{2}}{0,05385}.$$

При значении $\varepsilon_0=0.5$ расчетное значение максимально возможного количества узлов в дереве выбора протокола $M \leq 210$. По формулам 2.2 и 2.3

максимально возможным значением количеством узлов в дереве выбора составляет 479 или количество итераций в дереве 119.

Чтобы произвести расчет значений, при которых будет оправдано добавление нового параметра, воспользуемся формулой 2.4. Добавление нового параметра будет оправдано, если расстояние нижняя граница расстояния между областями будет удовлетворять условию $\delta > 0.09893$

Предположим, что имеется еще один параметр, добавление которого увеличит расстояние между областями до $\delta=0.1$, что удовлетворяет приведенному выше расчету.

Произведем расчет для случая, когда $n=3$. Выберем количество поверхностей для разделения двух областей $p=3$. Удостоверимся что $P \ll \frac{\sqrt{3}}{0,1}$.

При значении $\varepsilon_o=0.5$ расчетное значение максимально возможного количества узлов в дереве выбора протокола $M \leq 311$. По формулам 2.2 и 2.3 максимально возможное количество узлов в дереве выбора составляет 707 или количество итераций в дереве 78.

Ввиду представления алгоритма выбора правил доступа к среде в виде дерева, максимальная продолжительность процесса выбора правил доступа к среде будет соответствовать его максимальной глубине (самому длинному пути от корня дерева до его конечного потомка).

Недостаток данного алгоритма – равномерная сходимость. Отработав 50% времени, получается примерно 50% объема, при условии, что «проход по дереву» начинается не с наиболее вероятных значений параметров, а с его экстремумов.

2.4 Выводы по главе 2

1. Обосновано применение адаптивных правил доступа к среде. Этот подход позволяет увеличить ожидаемое значение КИ ОСИВ при помощи управления правилами доступа к среде в зависимости от параметров, в которых функционирует коммуникационная система. Сравнив результаты расчетов для различных протоколов при значении ЗРД в интервале $0.001 > a > 1$ и ИПШ в интервале $0.01 > G > 100$, приняв за 100% случай с идеальным планированием передач, можно сделать вывод, что в случае управления правилами доступа к среде значение КИ ОСИВ на 2.3 % выше, чем в случае применения правил доступа к среде наиболее эффективного протокола.

2. Предложена интерпретация влияния правил доступа к среде на КИ ОСИВ как геометрическое пространство с определенными областями правил. Данное действие позволяет применять геометрические подходы к решению задач адаптации правил доступа к среде.

3. Разработан метод адаптации правил доступа к среде. Метод базируется на теории, согласно которой параметры системы информационного взаимодействия представлены в виде пространства R^n , мерность которого определяется количеством параметров. Протоколы, эффективность которых будет наибольшей при заданных значениях параметров, будут представлять собой области в этом пространстве. При всех возможных значениях параметров однозначно должен быть выбран один набор правил доступа к среде, обеспечивающий максимальное значение КИ ОСИВ. Пространство параметров возможно разделить на множество непересекающихся параллелепипедов. В отделяемые параллелепипеды включены и части наборов правил, принадлежащие этому пространству. Совокупность отделенных параллелепипедов дает полное описание рассматриваемой области значений. Объединение всех параллелепипедов включающих в себя части наборов правил представляет собой область значений параметров этого протокола

4. Применение алгоритма адаптации правил доступа к среде позволяет решать задачи изменения правил доступа к среде без учителя, минуя пересмотр всего обучающего множества. В таком случае обучение и распознавание сливаются в один процесс, качество которого повышается с течением времени.

5. Предложен способ оценки эффективности формирования дерева правил доступа к среде (формулы 2.1-2.6), базирующийся на сравнении количества итераций при создании алгоритма выбора правил доступа к среде.

Глава 3. Синтез адаптивного алгоритма детерминистского управления правилами принятия решения выбора доступа к среде информационного обмена

В настоящей главе предложены алгоритмы и схемы функционирования системы, позволяющие выполнять оценку параметров среды каждым абонентом и адаптировать к ним правила доступа. Функционирование разработанного в главе 2 метода требует создания нескольких модулей: реализации дерева выбора правил; области обработки данных и способов формирования исходных данных.

Рассматриваемая коммуникационная среда аналогична стандарту ALE:

- коммуникационная система использует общий канал с конкурированием;
- коммуникационная среда обладает относительно невысокой пропускной способностью.
- сообщения представлены в цифровом виде, что позволяет реализовать автоматическое установление соединения;
- взаимодействие абонентов выполняется в полудуплексном режиме;
- общий канал для установления соединения делится на подканалы. Подканалы подразделяются на подканал установления соединения и подканалы передачи данных. Все свободные абоненты синхронно меняют подканалы установления соединения согласно заданного регламента. После установления соединения в выделенном подканале установления соединения абоненты переходят на подканал передачи данных;
- передача данных происходит в определенные временные слоты, для чего реализована жесткая временная синхронизация;

Предложенный алгоритм позволяет достаточно рационально использовать заданную среду взаимодействия, не оказывая влияния на физические параметры, в которых функционирует система, в частности на пропускную способность среды распространения.

При таких условиях максимальная нагрузка практически всегда приходится именно на субканал установления соединения, т.к. именно при попытках установления соединения с конкурированием за канал, вероятность возникновения коллизий максимальна. При переходе на субканал передачи данных абоненты не конкурируют за обращение к общей среде, что позволяет планировать передачу.

Установление соединения для всех абонентов реализован идентично, следовательно, изменение правил доступа к среде не требует смены форматов кадров. Это позволяет использовать алгоритм выбора правил доступа протокола, который обеспечит максимальный КИ ОСИВ.

В главе решены следующие задачи:

- созданы алгоритмы выбора правил доступа к среде;
- предложены способы управления правилами доступа к среде;
- методом имитационного моделирования исследовано влияние алгоритма управления правилами доступа к среде на КИ ОСИВ.

3.1. Общая схема метода автоматического управления правилами доступа к среде

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 сети в модуль, где в соответствии с деревом (рисунок 2.6), построенным на основе алгоритма обучения, реализуется алгоритм выбора

оптимального набора правил доступа к среде. В результате работы алгоритма адаптации будет выбран один из наборов правил, применение которого обеспечит максимальное значение КИ ОСИВ в системе информационного взаимодействия.



Рисунок 3.1 - Структурная схема процесса доступа к среде

На рисунке 3.1 приведена предлагаемая структурная схема процесса доступа к среде. Применяя правила этого протокола, абонент должен передать кадр данных, готовый к отправке.

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.

Учитывая наличие синхронизации, можно ожидать, что длительность конфликта всегда будет иметь одинаковую длину, равную одному кадру данных [70,71]. Следовательно, этот параметр не может влиять на выбор протокола доступа к среде.

Такие данные как количество групп скрытых абонентов и общее количество абонентов невозможно получить в автоматическом режиме в любой момент времени, следовательно, допускается возможность использования данных, косвенно указывающих на них. Такими показателями могут быть: ИПП, коэффициент занятости канала (отношение занятых слотов к общему количеству слотов за промежуток N слотов) и коэффициент коллизионных слотов (отношение числа слотов с коллизией к общему числу занятых слотов за последние N слотов), КИ ОСИВ.

Информацию об ожидаемом количестве активных абонентов можно получить путем статистического анализа потока. При этом само значение количества активных абонентов в любой момент времени получить невозможно. Имеет смысл учитывать изменение количества активных абонентов за какой-то промежуток времени. Эти показатели могут косвенно подтверждать существование групп скрытых абонентов.

Правила доступа к среде лишь регулируют организацию доступа к общей среде, а значит, выбор правил доступа к среде зависит не от физических параметров среды, а от параметров канального уровня. Это означает что при любых условиях физического уровня, существуют значения максимального и среднего КИ ОСИВ, т.е. идеальное планирование передач обеспечивает лишь

максимальную физически возможную пропускную способность среды распространения. Следовательно, введение зависимости выбора протокола от физических параметров среды является не рациональным, поскольку этот параметр не оказывает непосредственного влияния на правила организации информационного взаимодействия.

Параметры, влияющие на выбор протокола, исследованы в [2,19,58,82]. Для использования конкретных значений абонент должен анализировать статистические характеристики трафика. Следовательно, должны быть выделены модули, отвечающие за накопление и обработку статистических характеристик среды.

3.1.1. Функции модуля «Обработка статистических характеристик среды»

Модуль «Обработка статистических характеристик среды» выполняет статистический анализ использования канального времени. В реальных условиях абоненты ведут индивидуальную статистику, возможно отличающуюся от реально существующей в системе. Ввиду того, что все абоненты работают в ОСИВ, они 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.

Единицей измерения времени в данной системе принят слот, длительность которого t секунд. В интервале временного слота могут происходить следующие события:

- слот окажется пустым, если ни один абонент не передавал данные в этот временной слот, либо абонент, прослушивающий ОСИВ, не имеет возможности «принять» данные;

- слот окажется успешным, если какой-либо из абонентов передал кадр данных в этот временной слот;

- слот окажется коллизионным, если в промежуток времени равный слоту произойдет наложение кадров данных, переданных двумя или более абонентами.

Таблица области обработки данных регистрирует результат использования каждого временного слота.

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

Рисунок 3.2 - Пример таблицы ведения статистики по временным слотам

На рисунке 3.2 представлен пример, когда 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.

Таким образом, представляется возможным использовать следующие результаты измерений:

1. Интенсивность поступления кадров – количество передач кадров данных за последние n слотов. Здесь пустой слот означает, что передачи кадра не было. Успешный слот означает передачу одного кадра. Коллизионный слот означает передачу двух кадров. Интенсивность попыток передач может принимать значения от 0 до 2, где 0 означает, что все последние n слотов были пустыми, а 2 что все последние n слотов были коллизионными.

2. Коэффициент коллизионных слотов – отношение количества слотов с коллизиями к количеству занятых слотов.

3. Ожидаемый КИ ОСИВ – отношение количества успешно переданных кадров данных за последние n слотов к общему количеству n слотов. В главе 2 показано, что ожидаемый КИ ОСИВ является основным показателем эффективности применяемых правил доступа к среде.

При помощи таблицы (рисунок 3.2, где x - количество коллизионных слотов, y – количество слотов с успешной передачей, z – количество пустых слотов, N – общее количество проанализированных слотов, r – коэффициент отражающий среднее количество подвергшихся коллизии кадров данных) вычисляются следующие статистические данные:

1. Количество проанализированных слотов в таблице области обработки данных:

$$N = x + y + z. \quad (3.1)$$

2. Ожидаемый КИ ОСИВ:

$$S = \frac{y}{N}. \quad (3.2)$$

3. Коэффициент коллизий:

$$K = \frac{x}{N}. \quad (3.3)$$

4. ИПП:

$$G = \frac{y+rx}{N}. \quad (3.4)$$

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 актуальная для последних $n \times t$ секунд, где t это длительность одного слота.

Так же в таблице связей абонента должна содержаться информация о ЗРД до определенного абонента ai . Параметр времени ЗРД будет уникальным между любыми двумя абонентами. Если учесть мобильность абонентов, то этот параметр должен постоянно обновляться. Каждый абонент может вести учет последнего значения ЗРД с каждым абонентом, как показано на рисунке 3.3.

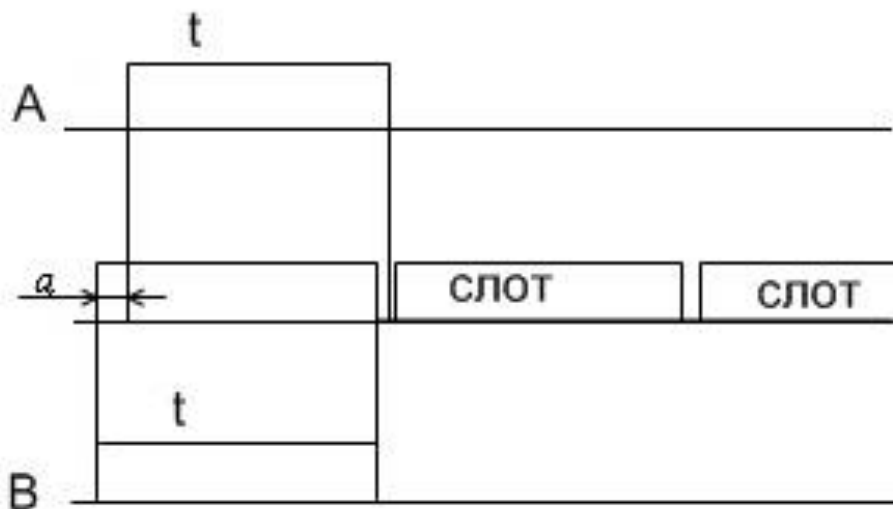


Рисунок 3.3 - Вычисление значения задержки распространения данных

Значение ЗРД представляет собой отклонение времени получения кадра данных абонентом А от времени начала слота, в который абонент В начал передачу.

3.2. Метод выбора правил доступа к среде

Правила доступа к среде определяются исходя из значений параметров системы, которые зафиксированы абонентом. Решение о выборе того или иного

набора правил является результатом работы модуля, производящего классификацию на основе предложенного в главе 2 диссертации бинарного дерева принятых решений (рисунок 2.6).

3.2.1. Формирование обучающей последовательности

Во 2 главе диссертации отмечено, что в рамках примененного метода, задача выбора протокола решается при помощи обучающего множества примеров (обучающей последовательности). Обучающая последовательность для построения дерева выбора представляет числовые значения параметров, влияющих на КИ ОСИВ и протокола доступа к среде. Выбор такого протокола путем использования измеренных статистических характеристик состояния канала позволяет получить максимальное значение КИ ОСИВ. Следовательно, перед обучением следует определить параметры, которые будут использованы в алгоритме обучения. Необходимо учитывать, что функционирующий абонент должен иметь постоянную возможность точно оценить эти параметры и на их основе выбрать протокол, правила которого будут использованы для доступа к коммуникационной среде. Если возникает ситуация, когда имеются области значений (вне границ между протоколами) не позволяющие четко разделить пространство параметров на отдельные протоколы, то, вероятно, предварительный анализ был проведен неверно и имеет место не предусмотренный моделью фактор. Такая ситуация требует введения дополнительного параметра, который бы позволил однозначно отделить протоколы. Качество вновь введенного параметра определяется способностью однозначно разделить область пространства параметров.

Создание обучающей последовательности основано на использовании статистических показателей, так как ожидаемое значение КИ ОСИВ, ИПП, коэффициент коллизий и т.п. являются распределенными во времени величинами. Ввиду этого факта, каждый пример обучающей последовательности может быть получен для определенного отрезка времени.

Чтобы исключить возможность неправильного функционирования алгоритма, объем обучающей последовательности должен выбираться исходя из надежности метода получения выборки и доверительной вероятности. Чем сложнее очертания границ множеств в пространстве (рисунок 2.1), тем выше требование к надежности классификации, следовательно, выше требования к объему 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 ИПП; абоненты, давно не проявляющие

активность. Предлагаемый алгоритм может быть практическим методом исследования влияния таких характеристик.

В некоторых случаях слишком большой объем обучающей последовательности не даст большей точности, а лишь увеличит затраты вычислительной мощности. Приведем пример такой обучающей последовательности.

Допустим, после сортировки обучающей последовательности по значению X_1 , несколько примеров, принадлежащих одному протоколу, различаются лишь по параметру X_4 (таблица 3.1).

Таблица 3.1 - Обучающая последовательность

Пример №	Параметры системы				Протокол
	X_1	X_2	X_3	X_4	
1	0,5	0,3	0,7	0,2	<i>ALOHA</i>
2	0,5	0,3	0,7	0,22	<i>ALOHA</i>
3	0,5	0,3	0,7	0,27	<i>ALOHA</i>
4	0,5	0,3	0,7	0,35	<i>ALOHA</i>
5	0,5	0,3	0,7	0,42	<i>ALOHA</i>
6	0,5	0,3	0,7	0,7	<i>ALOHA</i>

Если не существует других примеров, принадлежащих другим протоколам при схожих значениях параметров X_1 , X_2 , X_3 и области 0,2-0,7 параметра X_4 , то можно осуществить сжатие последовательности примеров, как приведено в таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Сжатая обучающая последовательность

Пример №	Параметры системы				Протокол
	X1	X2	X3	X4	
1	0,5	0,3	0,7	0,2	<i>ALOHA</i>
2	0,5	0,3	0,7	0,7	<i>ALOHA</i>

Пример, показанный на таблицах 3.1 и 3.2, демонстрирует вариант сжатия обучающей последовательности для последующего формирования дерева выбора правил доступа к среде, тем самым экономит время и вычислительный ресурс.

Исходя из второй главы, возможны 2 варианта реализации алгоритма адаптации:

1. Обучающая последовательность, полученная в результате эксперимента, подается на вход алгоритма, который строит дерево выбора оптимального протокола доступа к среде.

2. Абоненты самостоятельно (на основе статистических показателей) добавляют условия в дерево выбора оптимального протокола в режиме обучения. Подобный режим подразумевает, что абонент фиксирует значения параметров системы и осуществляет передачу, согласно правилам всех используемых протоколов, определенное количество раз. Набор правил доступа к среде, у которого КИ ОСИВ был выше, является примером для изменения правил доступа к среде алгоритма выбора правил доступа к среде. Каждый последующий пример достраивает дерево выбора оптимального алгоритма. Окончание режима обучения (абонент прекращает поиск оптимального протокола и пользуется построенным деревом выбора оптимального протокола) происходит либо в

принудительном режиме, либо в автоматическом режиме, если последние N примеров не добавили новой информации в обучающее дерево.

3.2.2. Разработка алгоритма построения бинарного дерева принятия решений

Построение дерева выбора правил доступа к среде является ключевым процессом в создании всего метода адаптации правил доступа к среде.

Используя метод, предложенный в главе 2, разработаны алгоритмы, позволяющие на основе дерева выбора правил доступа к среде применять оптимальный набор правил.

Для построения дерева выбора правил доступа к среде разработан алгоритм, представленный на рисунке 3.6, где:

- A. Ввод обучающей последовательности примеров.
- B. Ограничение множеств по крайним точкам обучающей последовательности.
- C. Вычисление минимального расстояния между областями протоколов.
- D. (1..n) Выбор параметра, по которому будет производиться классификация.
- E. (1..n) Сортировка значений внутри этого параметра.
- F. (1..n) Условие: существует промежуток более $\frac{\delta_0}{2}$ внутри сортированного параметра, принадлежащий одному набору правил доступа.
- G. (1..n) Отделить примеры принадлежащие промежутку $\frac{\delta_0}{2}$ внутри сортированного параметра из общего множества примеров.
- H. (1..n) Сформировать из отделенного подмножества примеров новое множество (1..n), исключающее параметр по которому была произведена классификация.

I. Определить промежуток внутри сортируемого параметра, принадлежащий одному набору правил доступа.

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

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

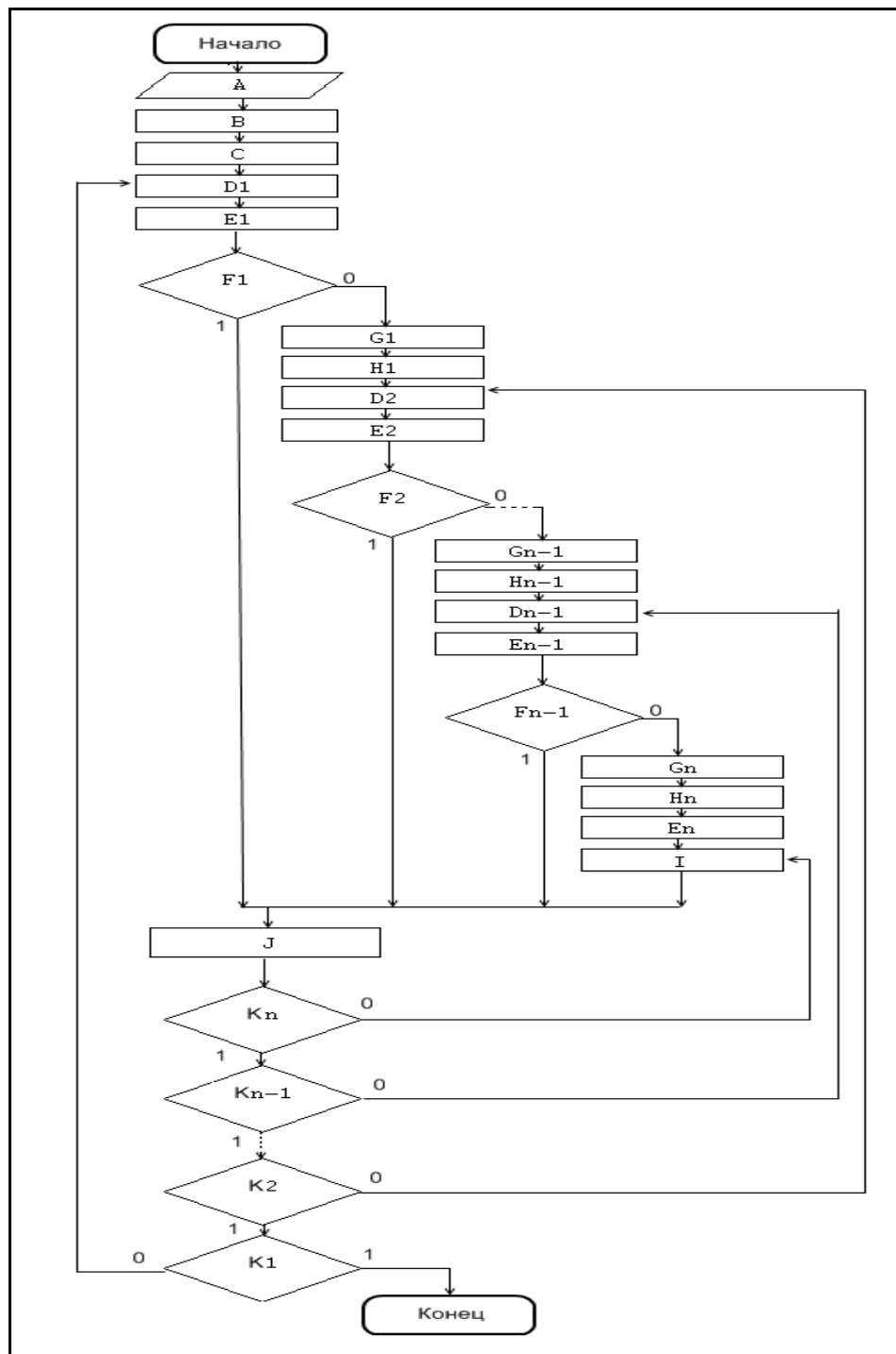


Рисунок 3.6 - Блок-схема алгоритма формирования дерева выбора правил доступа к среде на основе обучающей последовательности

При создании алгоритма выбора правил доступа к среде на основе предварительно сформированного множества примеров существует возможность усовершенствовать работу алгоритма, применив приоритет распознавания. Если вероятности появления значений параметров распределены неравномерно, то следует применить очередность формирования дерева, начиная с наиболее часто встречающихся значений параметров.

В соответствии с алгоритмом формирования дерева (рисунок 3.6), примеры сортируются по параметру от большего к меньшему, либо наоборот. Рационально выполнять эту операцию по всем параметрам, сортируя значения, а далее сменить тактику и выполнить классификацию по всем параметрам, сортируя значения иначе. Это может сократить среднее время определения правил доступа к среде.

Рассмотрим трехмерный график, вершинами которого по оси S является значение максимального КИ ОСИВ определенного протокола (рисунок 1.13). Очевидно, что при любых значениях параметров существуют правила доступа к среде, обеспечивающие максимальное значение КИ ОСИВ. Так же можно утверждать (рисунок 2.1), что границы множеств имеют простую форму, что позволяет надеяться на высокую эффективность работы алгоритма и возможность ограничиться небольшим объемом обучающих примеров.

Для доказательства эффективности смены возрастающей и убывающей сортировки целесообразно выполнить анализ рисунка 3.7 и 3.8. В качестве классифицируемых протоколов выступают произвольно распределенные значения (рисунок 2.3), в которых максимальное значение КИ ОСИВ обеспечивают наборы правил двух протоколов, объединенные в области двух протоколов.

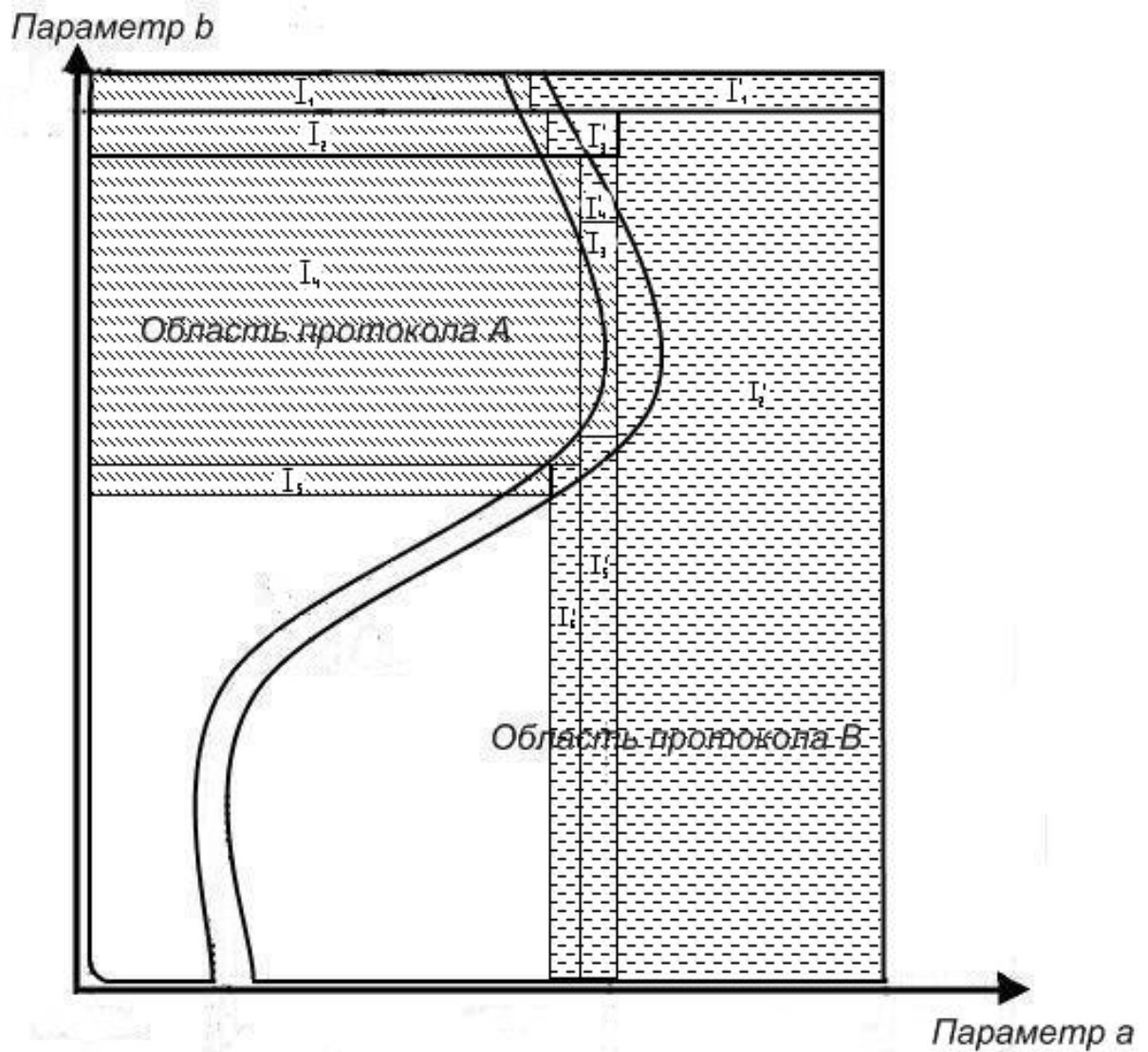


Рисунок 3.7 - Распознавание с сортировкой от большего значения

Анализ рисунка 3.7 позволяет сделать вывод, что при однонаправленной сортировке всей области значений параметров велика вероятность дерева с минимальными по длине отрезками, где в последнюю очередь будет распознана область, противоположная выбранному направлению значений.

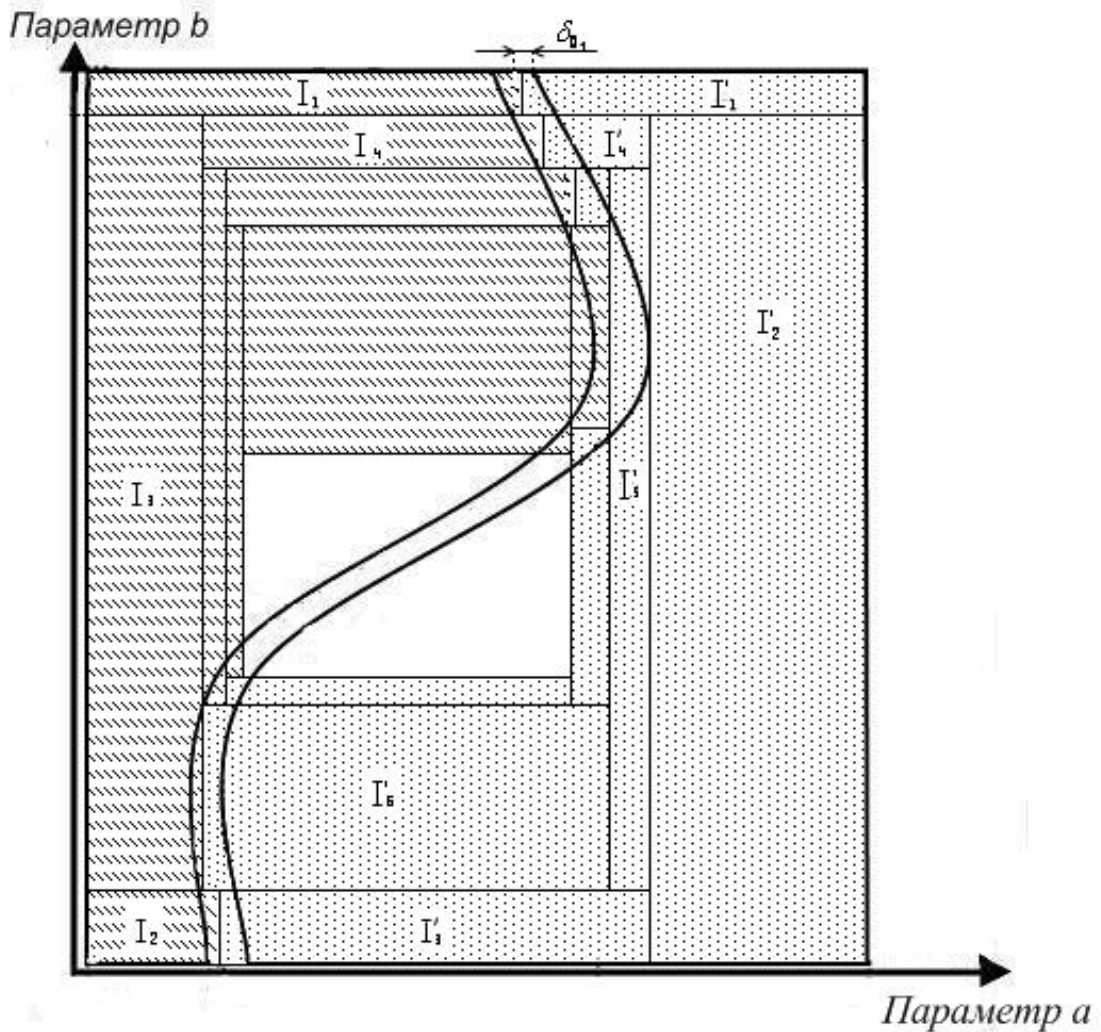


Рисунок 3.8 - Распознавание со сменой сортировки

Распознавание областей с циклической сменой сортировки, дает возможность отделять большие отрезки (интервалы значений параметров). Это, в некоторых случаях, позволяет ожидать более высокую производительность работы алгоритма выбора правил доступа к среде (рисунок 3.7 и 3.8).

С практической точки зрения, рационально начать с осуществление классификации тех областей значений параметров, которые наиболее часто возникают в ходе практического применения предложенного метода. Осуществление вероятностного подхода к назначению начальных точек распознавания позволяет значительно ускорить исполнение алгоритма выбора

правил доступа к среде. Реализовать такое предложение возможно за счет разбиения области пространства параметров на гиперкубы с границами в точках максимально вероятного значения параметров. Предположим, что распределение плотности вероятности выпадения значений параметров среды имеет максимальную величину при значении параметров $a = 0.5$ и $G = 5$. Следовательно, разбиение пространства параметров рационально произвести так, как показано на рисунке 3.9.

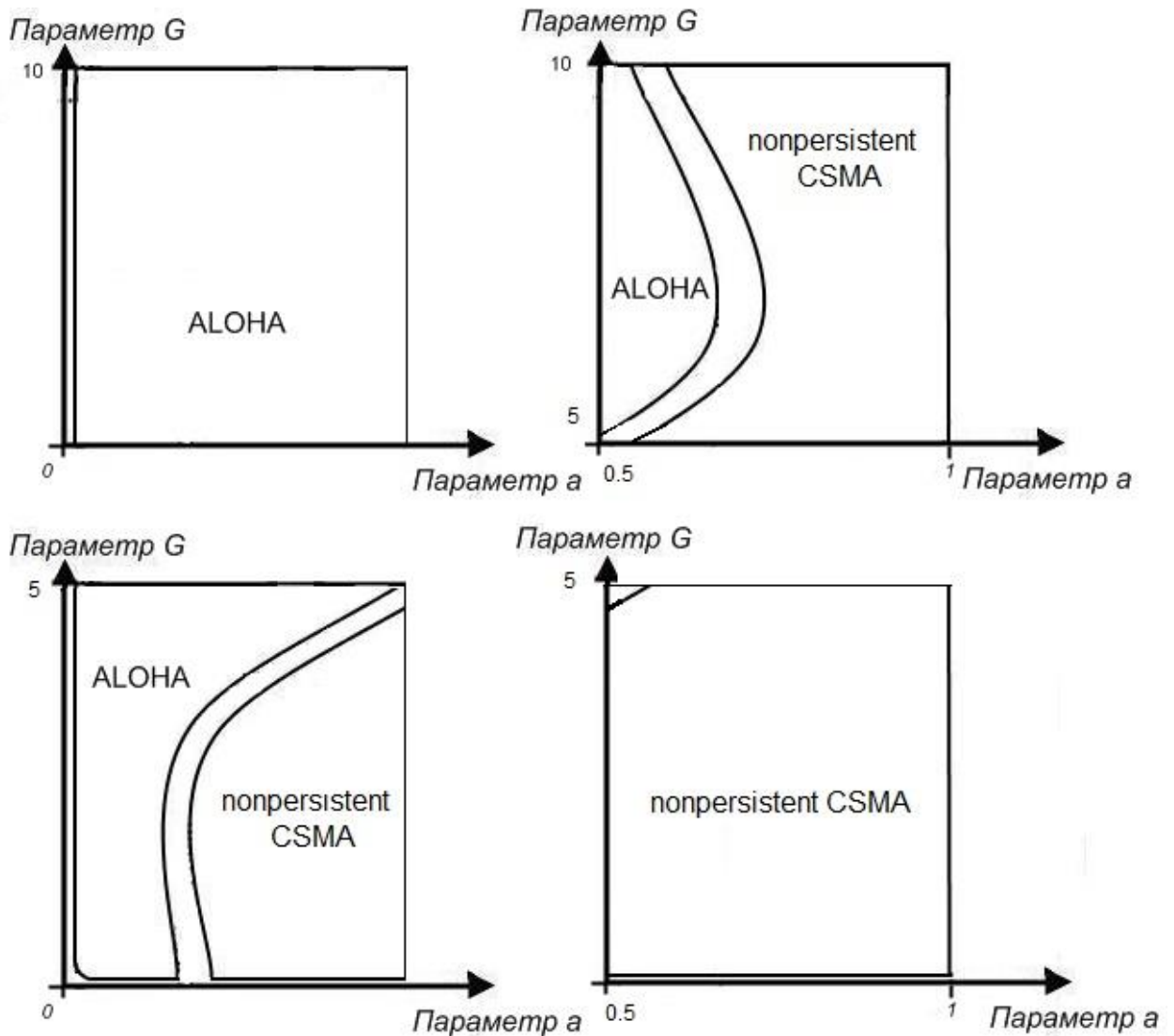


Рисунок 3.9 - Деление пространства R^n на гиперкубы

Такое распараллеливание процесса распознавания позволит снизить ожидаемое количество переходов по дереву выбора правил доступа к среде в процессе применения алгоритма выбора.

3.2.3. Разработка алгоритма выбора правил доступа к среде

Выбор правил доступа к среде выполняется при помощи бинарного дерева решений. Для работы алгоритма требуется информация о значениях параметров, которые применялись при построении дерева классификации. На рисунке 3.10 представлен разработанный алгоритм классификации.

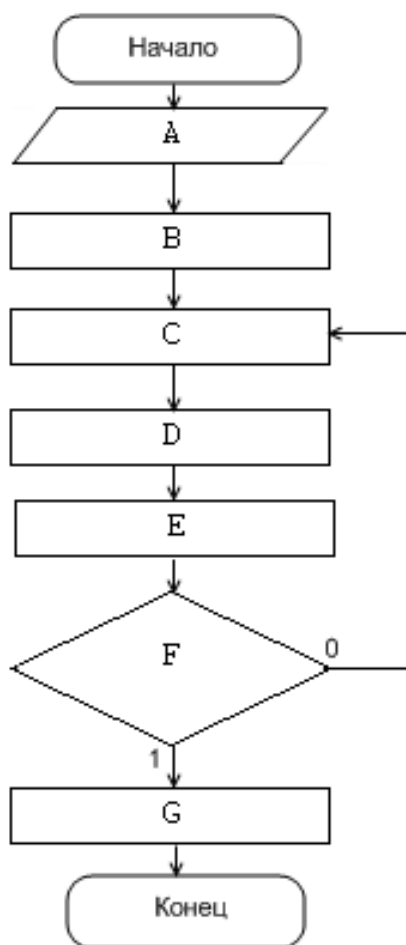


Рисунок 3.10 - Алгоритм выбора набора правил доступа

Где:

- A. Получение набора значений параметров из области обработки данных.
- B. Переход к корню дерева.
- C. Определение параметра в узле дерева.
- D. Извлечение значения определенного в C параметра из набора значений параметров A.

- Е. Исполнение условия узла дерева.
- Ф. Условие: переход осуществлен к конечному потомку дерева.
- Г. Применение указателя на набор правил доступа к среде.

В данном алгоритме качество выбора правил доступа к среде определяется качеством определения значений параметров, полученных из области обработки данных. Значения этих параметров должны быть усредненными за какой-либо промежуток времени либо за определенное количество временных слотов.

Среднее время выбора определения правил доступа к среде зависит от вычислительной мощности оборудования, которым располагает абонент.

3.2.4. Разработка алгоритма внесения изменений в бинарное дерево принятия решений

Предположим, что абоненты разделены какой-либо преградой по случайному принципу, и в коммуникационной системе появились скрытые абоненты. В таком случае реальное значение ИПП будет выше регистрируемой абонентами. В такой системе будет фиксироваться большое количество коллизий при относительно низком значении ИПП. В таких условиях рационально сменить приоритет настойчивых протоколов на ненастойчивые правила доступа к среде. Предлагаемый путь позволяет осуществлять вариацию дерева решений без пересмотра всего алгоритма. Алгоритм не предполагает возможность внедрения новых параметров. Однако может быть использован для добавления (уточнения, изменения) объектов, принадлежащих другому протоколу.

Изменение дерева выполняется по следующему алгоритму (рисунок 3.11).

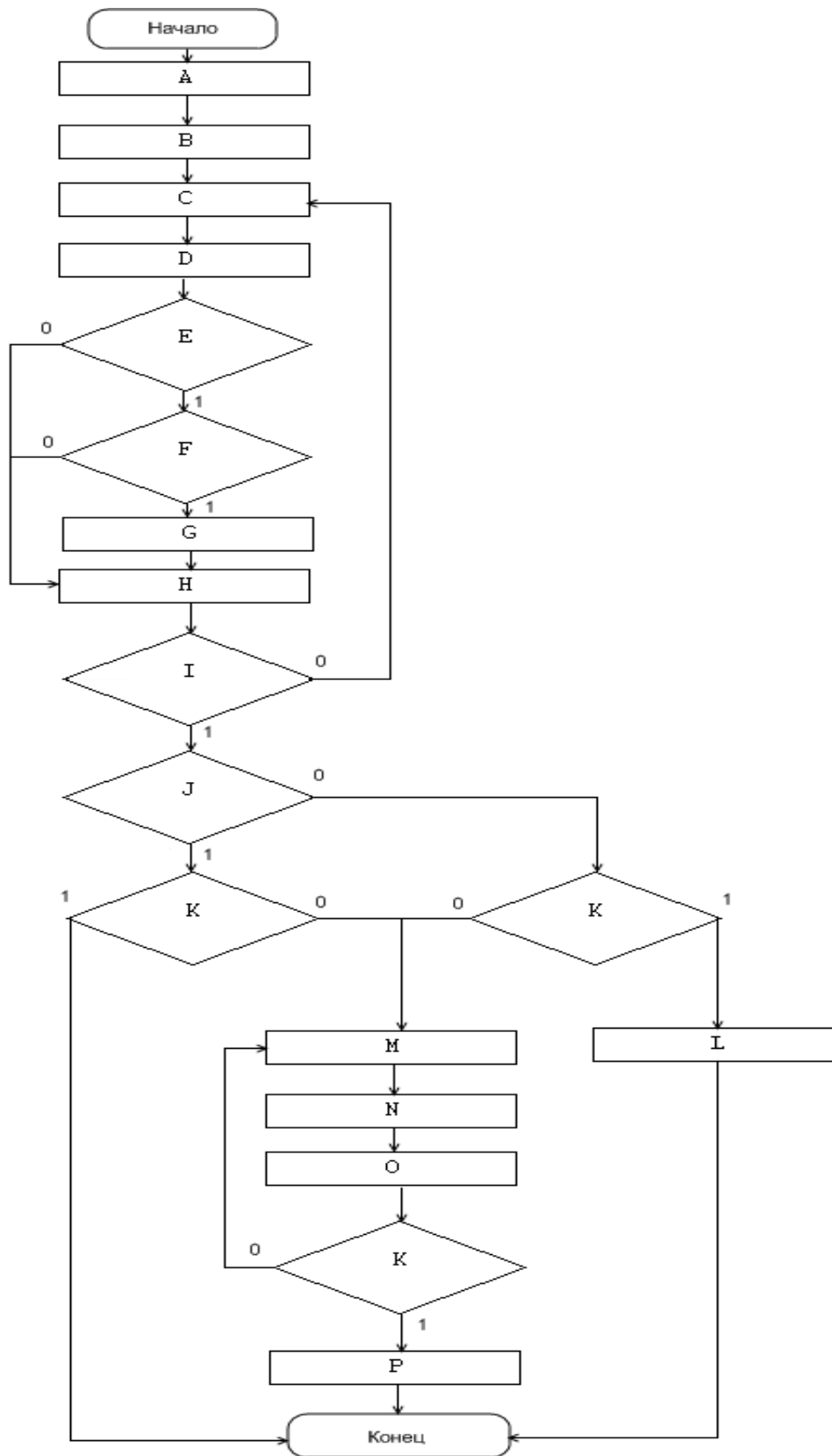


Рисунок 3.11 - Алгоритм изменения дерева выбора правил доступа к среде

Где:

- A. Ввод значений параметров нового примера.
- B. Переход к корню дерева выбора набора правил.
- C. Определение параметра в узле дерева.
- D. Извлечение значения определенного в C параметра из набора значений параметров A.
- E. Условие: значение параметра входит в отделяемый промежуток.
- F. Условие: отделяемый промежуток больше δ_0 .
- G. Сохранить параметр и значение в таблицу изменения дерева.
- H. Выполнить условия узла дерева.
- I. Условие: переход осуществлен к конечному потомку дерева.
- J. Условие: указатель на набор правил соответствует указателю в примере.
- K. Условие: таблица изменения дерева пуста.
- L. Изменить указатель на набор правил в конечном потомке дерева.
- M. Выбор параметра из таблицы изменения дерева.
- N. Замена конечного потомка дерева на условие принадлежности промежутку из L.
- O. Постановка указателя на старое значение набора правил для невыполнения условия в M.
- P. Введение нового указателя значения набора правил для выполнения условия в M.

Алгоритм, представленный на рисунке 3.11 позволяет включать в узлы дерева новые области классификации на различных уровнях дерева выбора правил доступа к среде. В результате изменения дерева среднее время принятия решения увеличится и будет больше чем в случае построения дерева решений с

использованием полной обучающей последовательности. Данный факт вызван увеличением количества узлов бинарном дереве. Еще одним недостатком является отсутствие возможности сжатия обучающей последовательности, что также увеличит среднее время принятия решения при выборе правил доступа к среде.

3.3. Выводы по главе 3

1. Разработана схема процесса управления правилами доступа к среде, позволяющего в автоматическом режиме устанавливать соединение, применяя правила доступа, обеспечивающие максимальное значение КИ ОСИВ.

2. На основе предложенного метода классификации разработан алгоритм построения дерева выбора правил доступа к среде (рисунок 3.6), алгоритм изменения (дополнения дерева выбора правил доступа к среде, рисунок 3.11) и алгоритма выбора правил доступа к среде, который позволяет на основе бинарного дерева решений (рисунок 3.10) произвести выбор правил доступа к среде, обеспечивающих максимальное значение КИ ОСИВ. Предложены способы сжатия обучающей последовательности и деления классифицируемого пространства параметров на гиперкубы с приоритетом начала распознавания в области наиболее вероятных значений параметров среды. Предложенные способы снижают временные затраты на принятие решений в процедурах управления правилами доступа к среде.

3. Разработан способ формирования значений параметров среды информационного обмена, базирующийся на анализе ОСИВ и фиксации фактов попыток передач. Предложены способы контроля параметров системы информационного взаимодействия и варианты форм хранения значений параметров среды информационного обмена.

Глава 4. Имитационное моделирование разработанного алгоритма конкурентного доступа к среде информационного обмена

4.1. Имитационная модель функционирования системы информационного взаимодействия

Целью выполненного имитационного моделирования является исследование процесса установления соединений абонентами в общей среде информационного обмена. Моделирование выполнено в среде *MATLab*. Структурная схема модели (рисунок 4.1) представляет собой модель $M/M/m/n$.

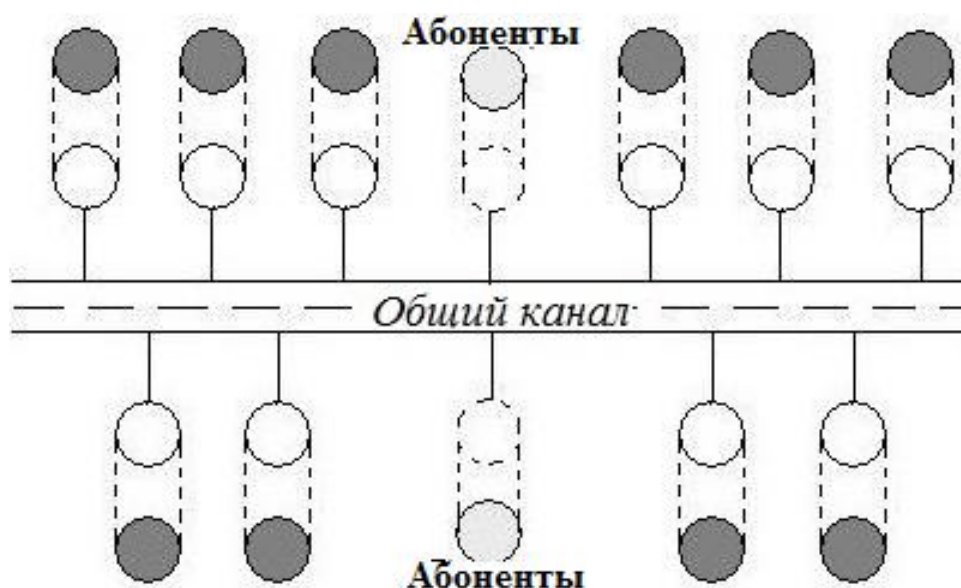


Рисунок 4.1 - Схема построения имитационной модели

В системе имеется n параллельных идентичных обслуживающих устройств (каналов) и ограниченный буфер для ожидания m . Запрос, пришедший в систему и заставший хотя бы один канал свободным, немедленно занимает любой из свободных каналов и начинает обслуживаться. Если все каналы в момент поступления запроса заняты, он присоединяется к очереди, если очередь занята, то запрос теряется.

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 ЗРД;
- существует множество значений ИПП, изменяющихся во времени.

Поскольку именно сеансы установления соединения являются самыми уязвимыми, выполняется моделирование множества попыток установления соединения. Определенное количество абонентов в случайный временной слот со случайным значением ЗРД проводят процедуру соединения с одним из абонентов, находящимся в ОСИВ с конкурированием.

Модель системы информационного взаимодействия, состоящей из функционирующих в ОСИВ абонентов, является программой для математического пакета *MATLab*. Модель состоит из 4 модулей, один из которых является основной программой, в которой могут быть заданы параметры для моделирования. Остальные три модуля несут функции, обеспечивающие работу основной программы.

Время работы модели разделено на временные интервалы, каждый интервал разделен на слоты (рисунок 4.2).

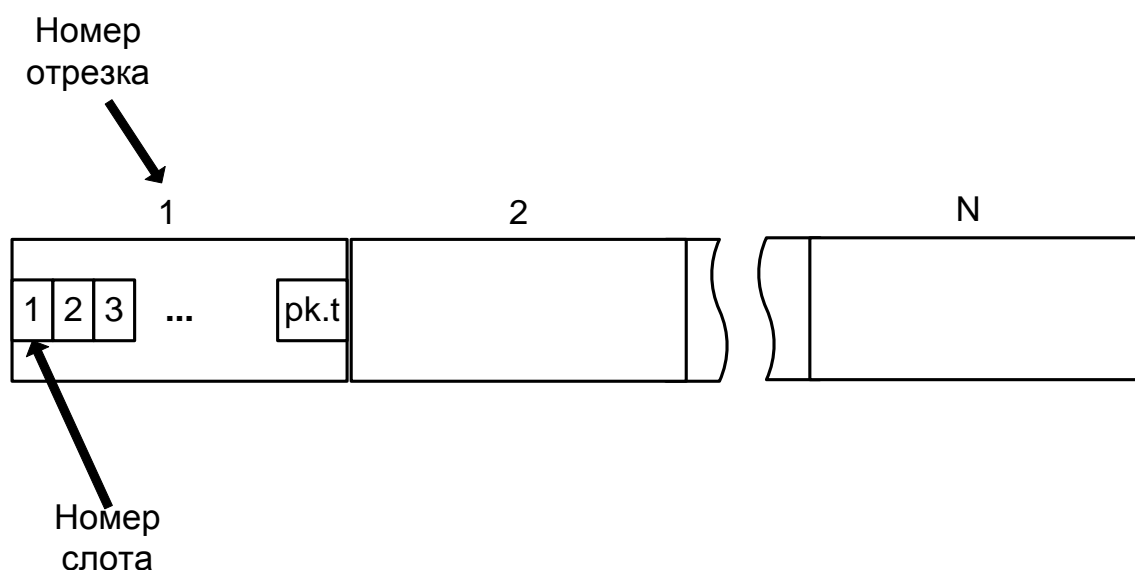


Рисунок 4.2 - Разделение канального времени в модели

Количество отрезков N и слотов $pk.t$ определяются переменными в основном модуле модели. В пределах каждого отрезка времени программа задаёт параметры коммуникационной системы, затем выполняется имитация процесса установления соединения в $pk.t$ временных слотах. Результатами моделирования являются: количество коллизий; сумма переданных кадров; значение КИ ОСИВ.

Попытки установления соединений выполнены путем использования следующих протоколов доступа к среде: *ALOHA*, *nonpersistent CSMA*, *1-persistent CSMA* и *p-persistent CSMA*. В процессе моделирования выполняется эксперимент по установлению соединений при помощи разработанного адаптивного алгоритма, управляющего правилами доступа к среде с целью выбора правил того протокола, КИ ОСИВ 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 КИ ОСИВ, которое вычисляется на всех отрезках времени и хранится в результирующем массиве. На основе этих результатов выполняется анализ значений КИ ОСИВ за заданное время и выносится решение о том, какой из

исследуемых протоколов дает максимальное значение анализируемого показателя.

Модуль № 1 модели.

Используются следующие переменные:

- количество временных слотов в одном тестовом периоде;
- количество слотов для передачи одного кадра (целое число не меньше 1);
- количество абонентов;
- максимальная задержка (в слотах) до повторной передачи (должна быть много больше длительности кадра);
- максимальное значение ЗРД (число от 0 до 1, в пределах которого меняется задержка в процессе моделирования). Определяется отношением времени задержки распространения кадра данных между абонентами к длительности кадра;
- максимальная интенсивность попыток доступа абонентов к ОСИВ (число от 0 до 100 %);
- количество выполненных экспериментов;
- значение интенсивности изменения динамических значений основных показателей - число не больше количества экспериментов, с ростом которого более интенсивно изменяются задержка и интенсивность;
- количество значений задержки;
- количество значений интенсивности.

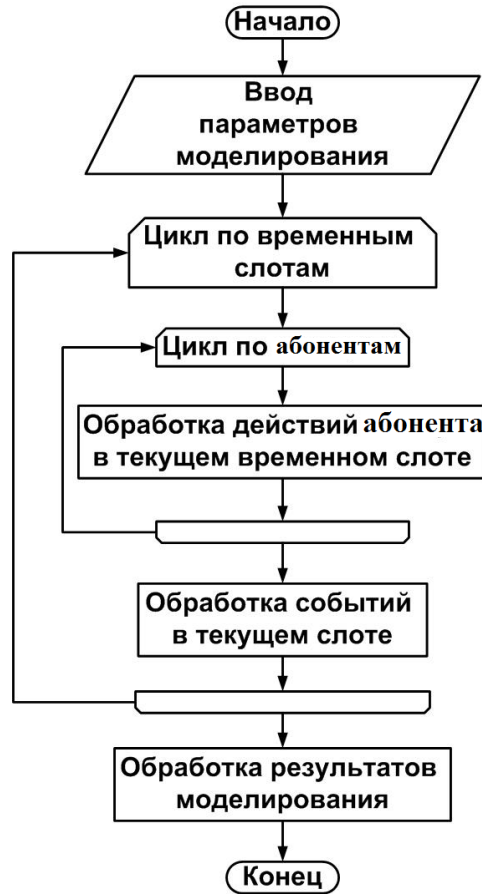


Рисунок 4.3 - Общий алгоритм имитационной модели

Результатами моделирования являются значения зависимости КИ ОСИВ от ИПП для всех анализируемых протоколов.

Модуль 2 модели.

При фиксированных значениях ЗРД и ИПП модуль реализует в динамике систему информационного взаимодействия с разными протоколами. Протокол с наибольшим значением КИ ОСИВ фиксируется в соответствующей ячейке памяти.

Модуль 3 модели.

Функцией модуля является определение оптимального протокола для условий системы информационного взаимодействия. Используя полученные

Модулем 2 результаты, Модуль 3 модели определяет протокол, обеспечивающий максимальное значение КИ ОСИВ при заданных условиях и определяет вероятность передачи (в случае *p-persistent CSMA*).

Модуль 4 модели.

Модуль имитирует работу системы информационного взаимодействия со случайным доступом и фиксированными параметрами. Входными параметрами модуля являются: количество слотов; количество слотов для передачи одного кадра; общее количество абонентов; максимальная ЗРД; ИПП; максимальная задержка до повторной передачи; значения вероятностей передачи для протокола *p-persistent CSMA*.

Результаты имитационного моделирования: количество коллизий; сумма переданных кадров данных; КИ ОСИВ в системе.

Для работы модель использует массивы, хранящие параметры каждого абонента и параметры каждого временного слота.

Параметры слотов хранятся в массиве, который состоит из столбцов (по одному на каждый слот) и 2 строк. В первую строку заносится номер абонента, который вел передачу в этом слоте, во вторую строку заносится номер абонента, которому был адресован передаваемый кадр.

Количество строк в массиве, хранящем параметры системы, соответствует количеству абонентов. В столбцах заданы параметры: флаг передачи (абонент ведёт передачу в данном слоте), номер принимающего абонента, количество занятых слотов на передачу, номер слота для повторной передачи, флаг слежения, количество принятых кадров

С целью увеличения скорости расчета, перед началом работы все заполняемые массивы обнуляются.

Схема алгоритма приведена в Приложении Б.

4.2. Оценка влияния параметров системы на коэффициент использования общей среды информационного взаимодействия

Моделирование выполнено при следующих условиях:

1. Имеется общая среда передачи данных; в общей среде функционируют абоненты.

2. Все абоненты находятся в режиме постоянного сканирования общей среды.

3. Система синхронизирована, однако, существует временная задержка на распространение данных от одного абонента до другого.

4. Если какой-либо из абонентов имеет на передачу кадр данных, то он начинает передачу согласно правилам доступа к среде того протокола, который он применяет.

5. При попытке передачи возможны два варианта:

5.1. Абонент успешно принял кадр. После установления соединения абоненты переходят в другой канал без конкуренции, следовательно, считаем, что установление соединения произведено и конечная цель достигнута.

5.2. В общем канале происходит коллизия. При возникновении коллизии корреспондент повторяет попытку передачи согласно правилам доступа к среде применяемого протокола доступа.

Положим, что формат кадров для всех протоколов един. Со сменой протоколов изменяются лишь правила установления соединения и правила назначения повторной передачи.

Выполнено имитационное моделирование функционирования абонентов в синхронной системе информационного взаимодействия со случайным доступом. Тогда абонент может находиться в трёх состояниях: передача; приём; подготовка к передаче. Наибольший интерес представляет момент, когда у абонента имеется кадр на передачу, и он производит сканирование канала и передачу. В

синхронных системах этот момент может наступить только в случае наличия синхросигнала, указывающего на начало нового слота.

Для определения эффективности использования предложенного метода управления правилами доступа к среде разработана программа моделирования в пакете *MATLab*. Основной частью программы моделирования является цикл по временным слотам. Моделируются события, имеющие место в момент начала очередного слота. Обработка таких событий разделена на четыре части:

- продолжение передачи, начатой в предыдущих слотах;
- начало новой передачи;
- анализ состояния общего канала после начала передачи (поиск коллизий);
- обработка успешных слотов.

Основным результатом здесь является значение КИ ОСИВ, который вычисляется на всех отрезках времени и хранится в результирующем массиве, который представлен графически. Этот график отображает изменение КИ ОСИВ за время моделирования и дает наглядное представление, какой из применяемых наборов правил (протоколов) будет наиболее эффективным в данных условиях.

Попытки установления соединений производились при помощи правил доступа к среде следующих протоколов доступа к среде: *ALOHA*, *nonpersistent CSMA*, *1-persistent CSMA* и *p-persistent CSMA* [60,61]. Условия для системы информационного взаимодействия выбраны следующие: для передачи кадра данных используется 3 временных слота; максимальная задержка (в слотах) до повторной передачи – 10.

Диапазон значений ИПП составил от 0.01 до 10 с шагом изменения значения интенсивности G (в кадрах в 1 временной слот) - 0.01; максимальное значение ЗРД (в слотах) (a) - 0.001. Количество активных абонентов, участвующих в моделировании составляет 3, 6, 10 и 15. На каждом значении производилась 1000 экспериментов.

Результаты моделирование работы в активном режиме 3 абонентов представлены на рисунке 4.4.

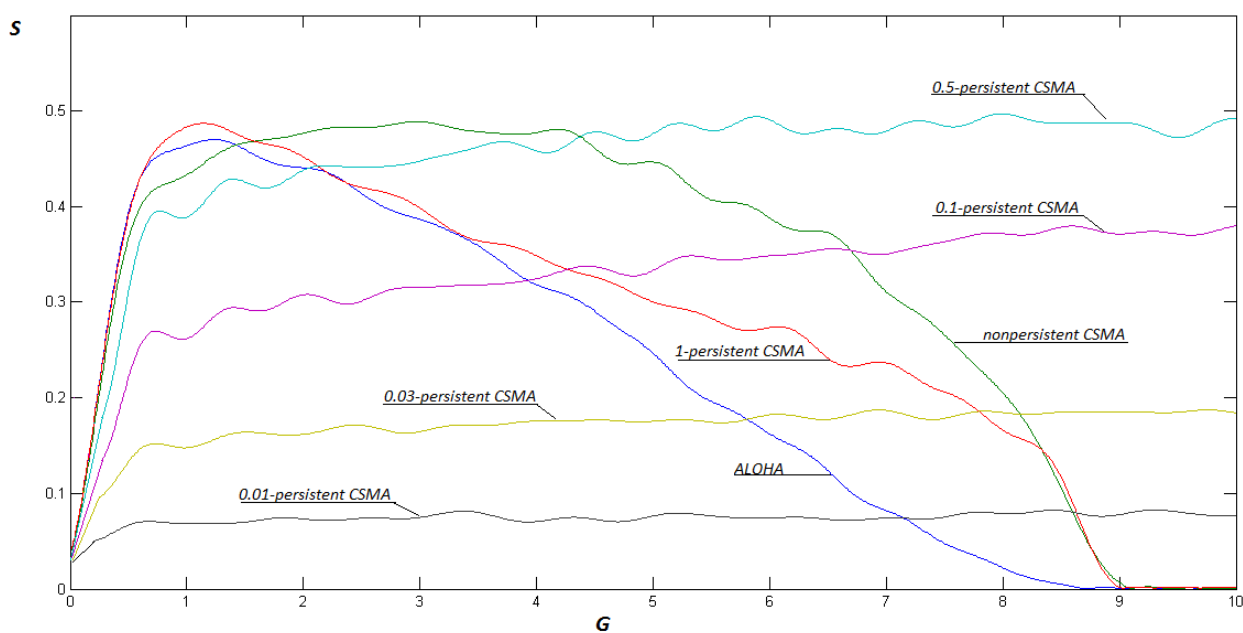


Рисунок 4.4 - Зависимости коэффициента использования общей среды информационного взаимодействия относительно интенсивности попыток передач при задержке распространения данных $a = 0.001$ и условии наличия в системе 3 активных абонентов

Анализ рисунка 4.4 позволяет сделать следующие выводы: значение КИ ОСИВ для протокола *ALOHA* соответствует расчетным значениям, несколько превосходя их при ограничении системы информационного взаимодействия 3-мя активными абонентами. Протокол *1-persistent CSMA* также показывает схожие соотношения ИПП и КИ ОСИВ при сравнении с расчетным методом (рисунок 1.7). Результаты моделирования для протоколов *nonpersistent CSMA* и *p-persistent CSMA* не совпадают с результатами математического расчета данных протоколов, что связано с большим количеством факторов, учтенных в модели. Так, в имитационной модели присутствуют существенные условия: количество абонентов, количество слотов необходимых для передачи одного кадра данных, максимальная задержка повторной передачи. Возрастание КИ ОСИВ протоколами *nonpersistent CSMA* и *p-persistent CSMA* на всем протяжении увеличения количества запросов в математической модели не находит своего

подтверждения в имитационной модели, поскольку, при длине информационных сообщений равных длительности слота стремление величины КИ ОСИВ к 100% при возрастании значений попыток передач с 1 до 100 является маловероятным.

При заданных условиях максимальное ожидаемое значение КИ ОСИВ составляет 0.5 для протоколов *ALOHA*, *nonpersistent CSMA*, *1-persistent CSMA* и *0.5-persistent CSMA*. При этом максимальный КИ ОСИВ для протоколов *ALOHA* и *1-persistent CSMA* достигается при значении $G = 1$, а для *nonpersistent CSMA* в диапазоне значений G от 2 до 4. Значение КИ ОСИВ для протоколов *p-persistent CSMA* возрастает вплоть до достижения ИПП равного 1 и незначительно меняется, стремясь к 0.5 для *0.5-persistent CSMA*, к 0.4 для *0.1-persistent CSMA*, к 0.2 для *0.03-persistent CSMA* и к 0.1 для *0.01-persistent CSMA*. Отличие зависимости ИПП от КИ ОСИВ в имитационном моделировании в случае применения правил доступа к среде протокола *p-persistent CSMA* от результатов математического моделирования обоснованы большими отсрочками на повторную передачу и пропуском слотов, которые могли быть использованы для организации взаимодействия.

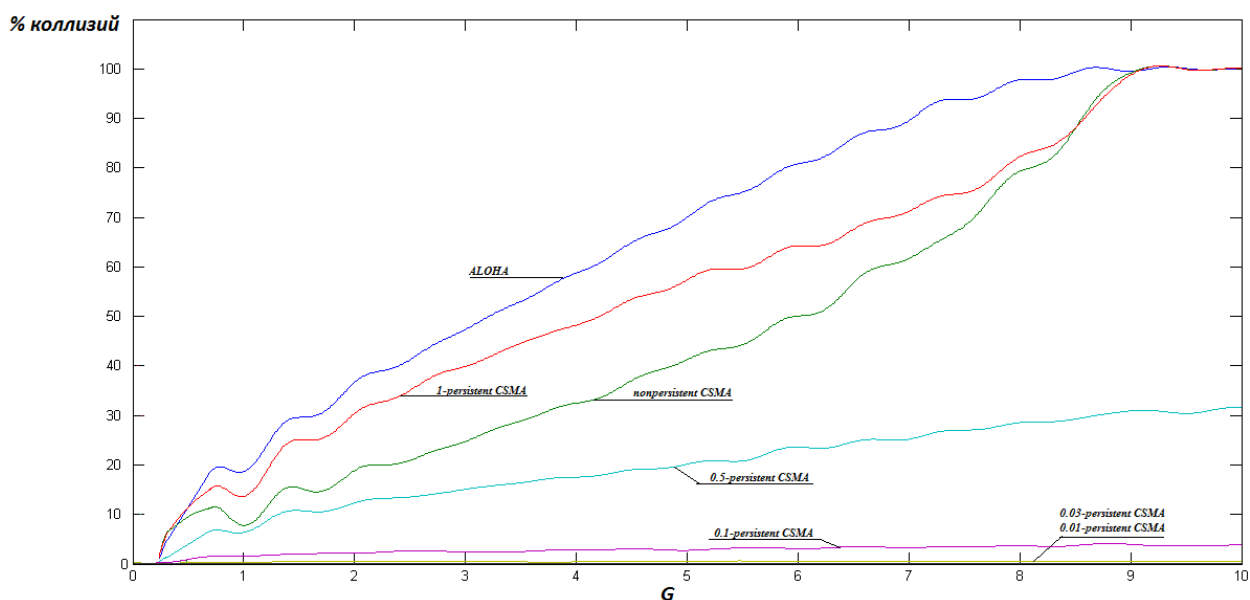


Рисунок 4.5 - Зависимости количества коллизий от интенсивности попыток передач при задержке распространения данных $a = 0.001$ и условии наличия в системе 3 активных абонентов

По этой причине, протокол *p-persistent CSMA* при различных значениях p не может достигать высоких уровней КИ ОСИВ, а после увеличения ИППИ начинает снижаться ввиду большого количества коллизий.

Анализ зависимости процента коллизионных слотов относительно ИППИ, показывает, что возрастание количества коллизий наиболее интенсивно происходит у протоколов *ALOHA*, *1-persistent CSMA* и *nonpersistent CSMA*, полностью парализуя работу системы при $G = 9$. Протоколы *p-persistent CSMA* с низким значением настойчивости передачи показывают наименьшее количество коллизий, в зависимости от среднего значения вероятности повторной передачи в следующий слот. Правила доступа протокола *0.5-persistent CSMA* показывают плавное возрастание количества коллизий, достигающее 30% при интенсивности $G = 10$, поэтому является наиболее предпочтительным в заданных условиях.

Малое количество активных абонентов позволяет ожидать наибольшую эффективность применения протоколов с большей настойчивостью, поэтому наименьшая эффективность принадлежит протоколу *p-persistent CSMA* с наименьшей настойчивостью попыток повторной передачи.

Результаты моделирование работы в активном режиме 6 абонентов представлены на рисунке 4.6.

Выполнены исследования для случая работы в активном режиме 6 абонентов (рисунок 4.6) Из анализа полученных результатов следует, что при увеличении количества абонентов до 6, максимальное значение КИ ОСИВ снижается до 0.43 и пик значений наблюдается при значении ИППИ равном 0.7. Здесь наиболее эффективными можно считать правила доступа протоколов *ALOHA* и *1-persistent CSMA*. Значение КИ ОСИВ для протоколов *0.01-persistent CSMA* стремится к 0.1, для *0.03-persistent CSMA* стремится к 0.25, для *0.1-persistent CSMA* стремится к 0.4. Значение КИ ОСИВ для протокола *0.5-persistent CSMA* плавно снижается до 0.25.

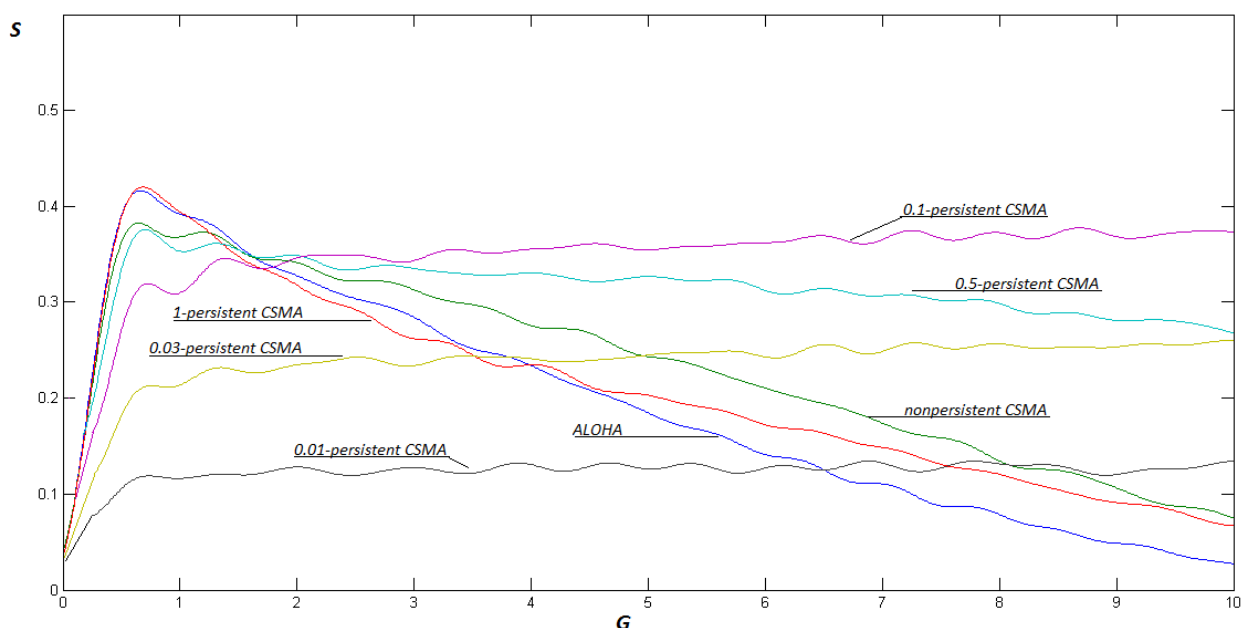


Рисунок 4.6 - Зависимости коэффициента использования общей среды информационного взаимодействия относительно интенсивности попыток передач при задержке распространения данных $a = 0.001$ и условии наличия в системе 6 активных абонентов

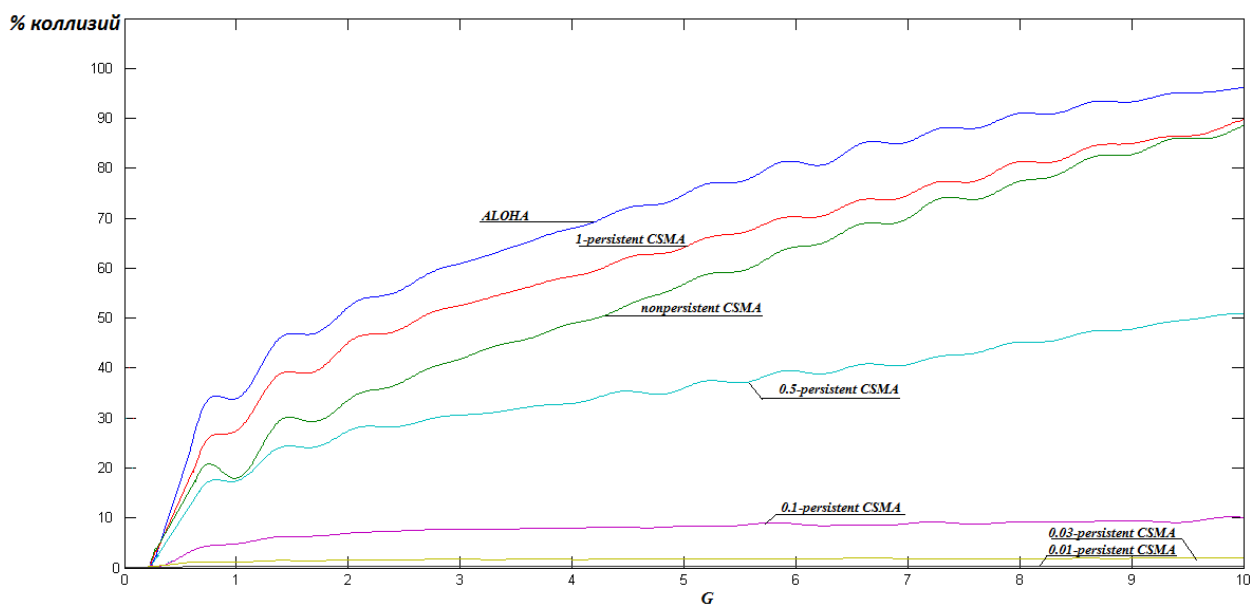


Рисунок 4.7 - Зависимости количества коллизий от интенсивности попыток передач при задержке распространения данных $a = 0.001$ и условии наличия в системе 6 активных абонентов

Анализ зависимости процента коллизионных слотов относительно ИПП (рисунок 4.7), позволяет утверждать, что при возрастании количества абонентов, увеличение настойчивости попыток повторной передачи приводит к более интенсивному снижению величины КИ ОСИВ, что объясняется меньшей возможностью избежать коллизии в условиях более высокой активности абонентов. Более интенсивное возрастание процента коллизий протокола *0.5-persistent CSMA* до 50% при значении $G = 10$ приводит к меньшей эффективности его применения, что делает применение правил доступа к среде протокола *0.1-persistent CSMA* более предпочтительным.

Возрастание ожидаемого количества коллизий при увеличении числа активных абонентов приводит к снижению КИ ОСИВ настойчивых протоколов и возрастанию эффективности применения правил доступа к среде протоколов *p-persistent CSMA* с меньшими значениями настойчивости p .

Результаты моделирование работы в активном режиме 10 абонентов представлены на рисунке 4.8.

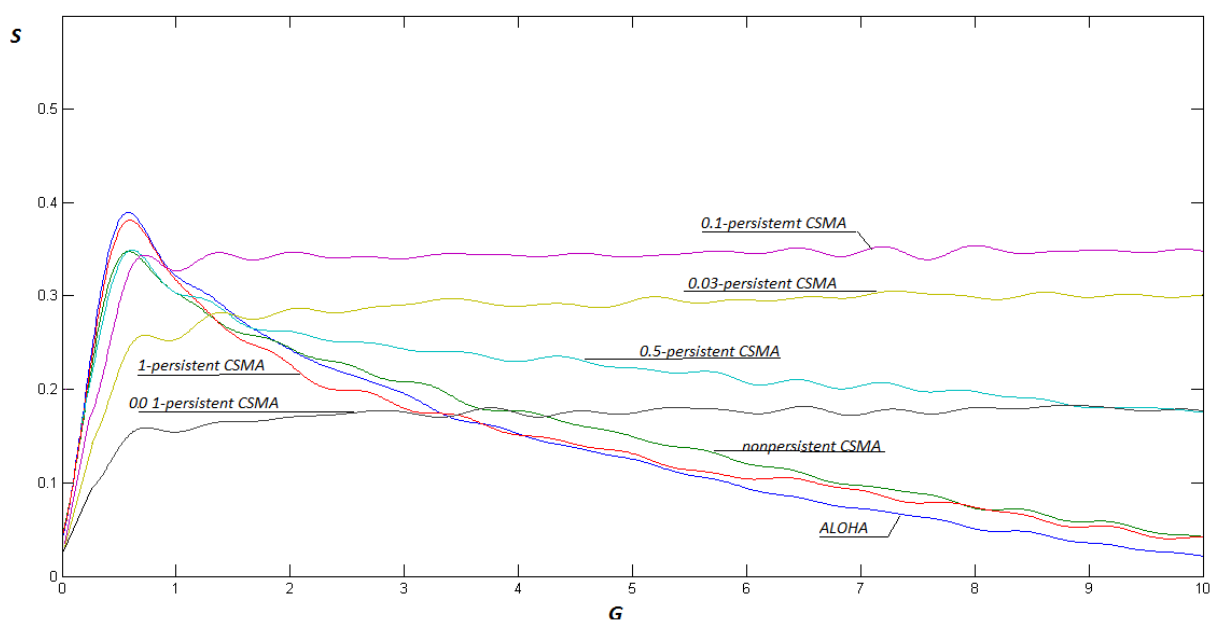


Рисунок 4.8 - Зависимости коэффициента использования общей среды информационного взаимодействия относительно интенсивности попыток передач при задержке распространения данных $a = 0.001$ и условии наличия в системе 10 активных абонентов.

Анализ рисунка 4.8 показал, что максимальное значение КИ ОСИВ не превышает 0.4 и пик значений наблюдается при значении $G = 0.6$, где наиболее эффективными являются правила доступа протоколов *ALOHA* и *1-persistent CSMA*. Значение КИ ОСИВ для протоколов *0.01-persistent CSMA* стремится к 0.2, для *0.03-persistent CSMA* стремится к 0.3, для *0.1-persistent CSMA* стремится к 0.35. Значение S для протокола *0.5-persistent CSMA* плавно снижается до 0.2.

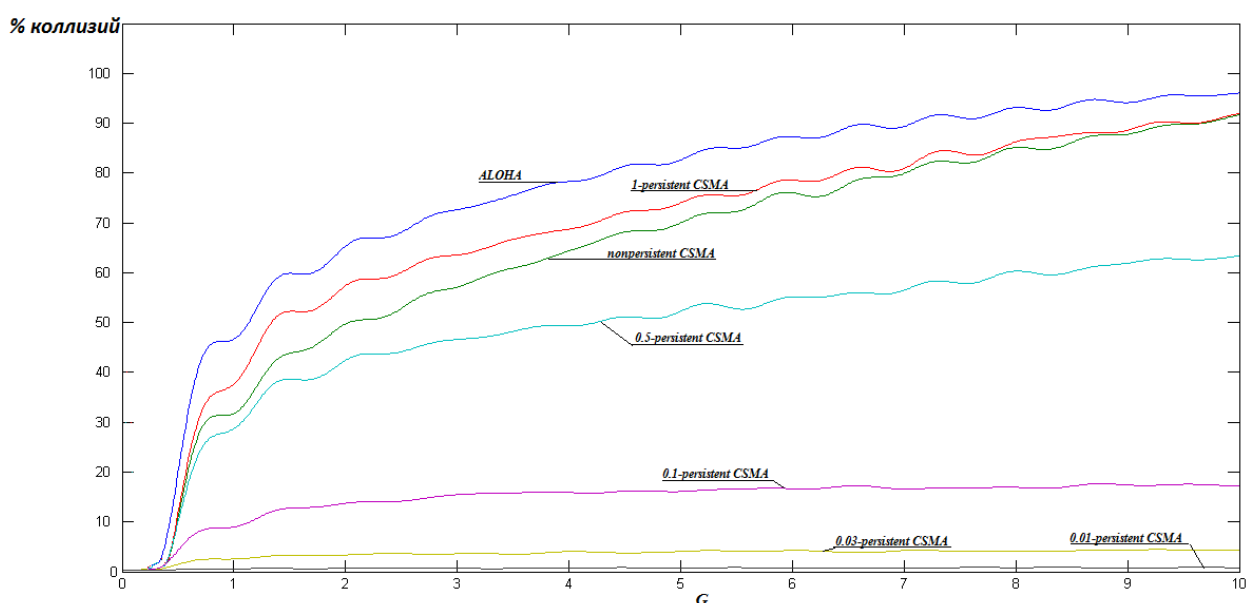


Рисунок 4.9 - Зависимости количества коллизий от интенсивности попыток передач при задержке распространения данных $a = 0.001$ и условии наличия в системе 10 активных абонентов

Анализ рисунка 4.9 показывает, что снижение значения КИ ОСИВ, с возрастанием ИПП, происходит большими темпами, в случае увеличения количества абонентов в системе с общим каналом, что объясняется существенным возрастанием количества коллизий.

Результаты моделирование работы в активном режиме 10 абонентов представлены на рисунке 4.10.

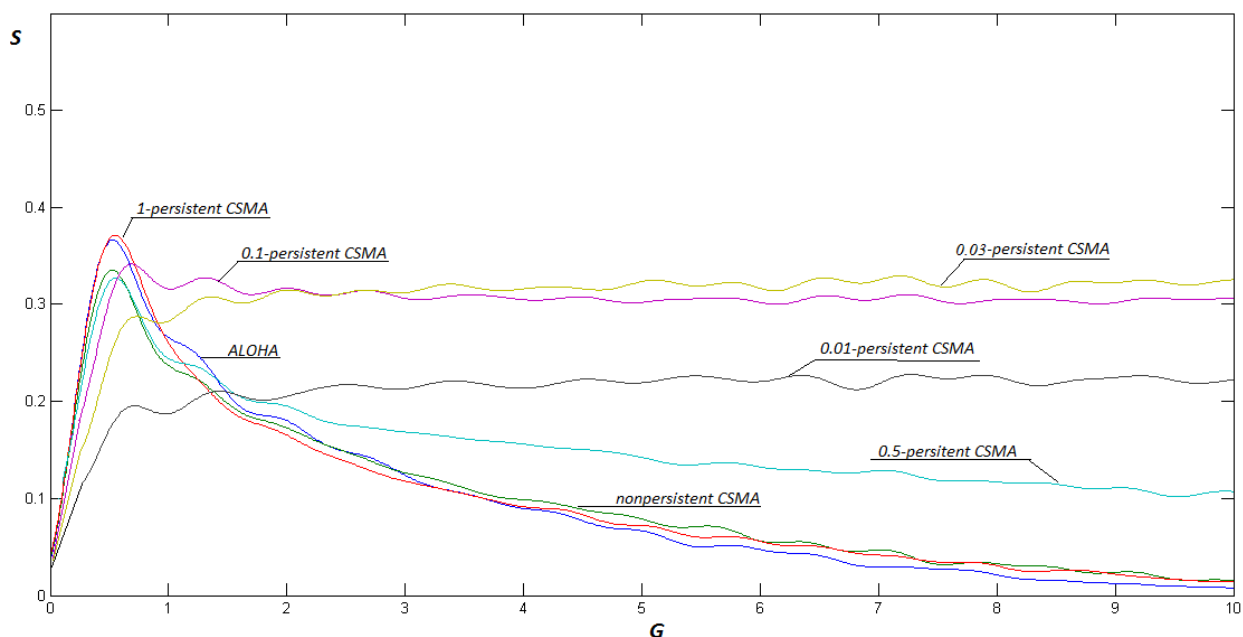


Рисунок 4.10 - Зависимости коэффициента использования общей среды информационного взаимодействия относительно интенсивности попыток передач при задержке распространения данных $a = 0.001$ и условии наличия в системе 15 активных абонентов

Анализ результатов, приведенных на рисунке 4.10, показал, что при количестве абонентов равном 15, максимальное значение КИ ОСИВ не превышает 0.38, и пик значений наблюдается при значении ИПП равном 0.5, где наиболее эффективными являются правила доступа протоколов *ALOHA* и *1-persistent CSMA*. Значение КИ ОСИВ для протоколов *0.01-persistent CSMA* стремится к 0.22, для *0.03-persistent CSMA* стремится к 0.32. Значение КИ ОСИВ для протокола *0.1-persistent CSMA* снижается до 0.3, для *0.5-persistent CSMA* плавно снижается до 0.1. Из результатов моделирования следует, что величина КИ ОСИВ протоколов с большей настойчивостью попыток повторных передач, достигает нуля при меньших значениях ИПП в случае с увеличением количества абонентов.

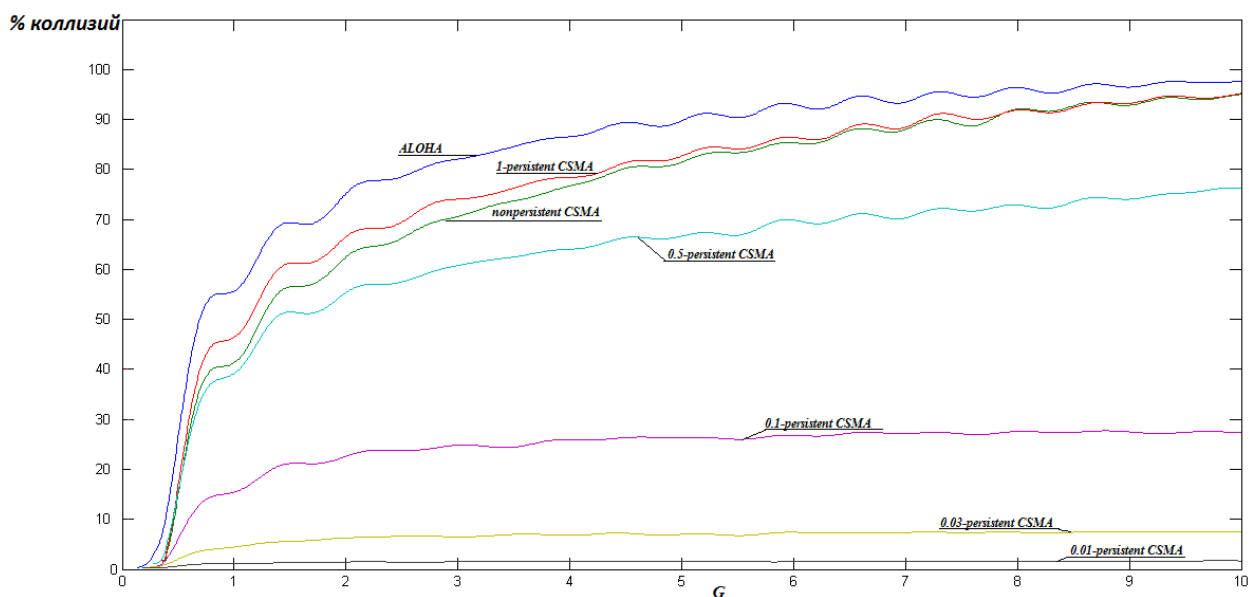


Рисунок 4.11 - Зависимости количества коллизий от интенсивности попыток передач при задержке распространения данных $a = 0.001$ и условии наличия в системе 15 активных абонентов

Увеличение количества активных абонентов до 15 приводит к существенному возрастанию количества коллизий и критичному снижению эффективности настойчивых протоколов (рисунок 4.11). Эффективность применения правил доступа к среде протоколов p -persistent CSMA со значениями p выше 0.1 не могут эффективно справляться с коллизиями и оптимальным, при значении ИПП выше 2, будет являться набор правил доступа к среде 0.03-persistent CSMA. Достигая значения коллизий 30% правила доступа к среде протокола 0.1-persistent CSMA уступают в своей эффективности протоколу 0.03-persistent CSMA, что позволяет утверждать о целесообразности применения правил доступа к среде протоколов, количество коллизий в которых находится в пределах 10-30% при ИПП в пределах от 0 до 10. При этом, чем больше количество активных абонентов в системе, тем ниже должно быть максимальное количество коллизий протокола для максимальной эффективности использования ОСИВ. Данное наблюдение позволяет ввести вышеуказанные условия как существенные для выбора правил доступа к среде.

Значение эффективности протокола *nonpersistent CSMA* имеет существенные различия с результатами математического моделирования по причине того, что в математической модели предусмотрена передача данных в общем канале кадрами, многократно превышающими длительность слота. Если в условия модели ввести длительность передачи информационного кадра данных равную 70 слотам при условии 3 активных абонентов системы и времени распространения данных $a = 0.001$ сек, получим значения КИ ОСИВ, продемонстрированные на рисунке 4.12.

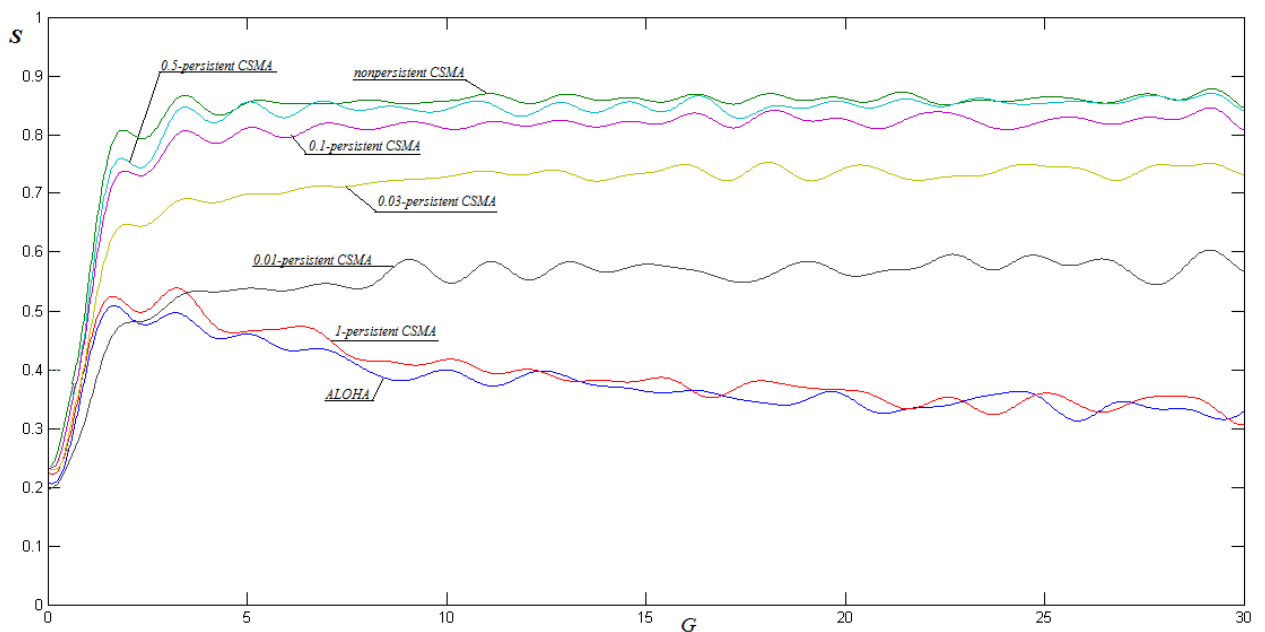


Рисунок 4.12 - Зависимости коэффициента использования общей среды информационного взаимодействия относительно интенсивности попыток передач при условии наличия в системе 3 активных абонентов и длительности кадра данных 70 слотов

Анализ рисунка 4.12 показал, что количество коллизий ненастойчивых протоколов существенно снижается за счет проверки занятости канала, согласно правил доступа к среде протоколов CSMA. В данном случае зависимости количества коллизий от ИПП имеет следующий вид (рисунок 4.13).

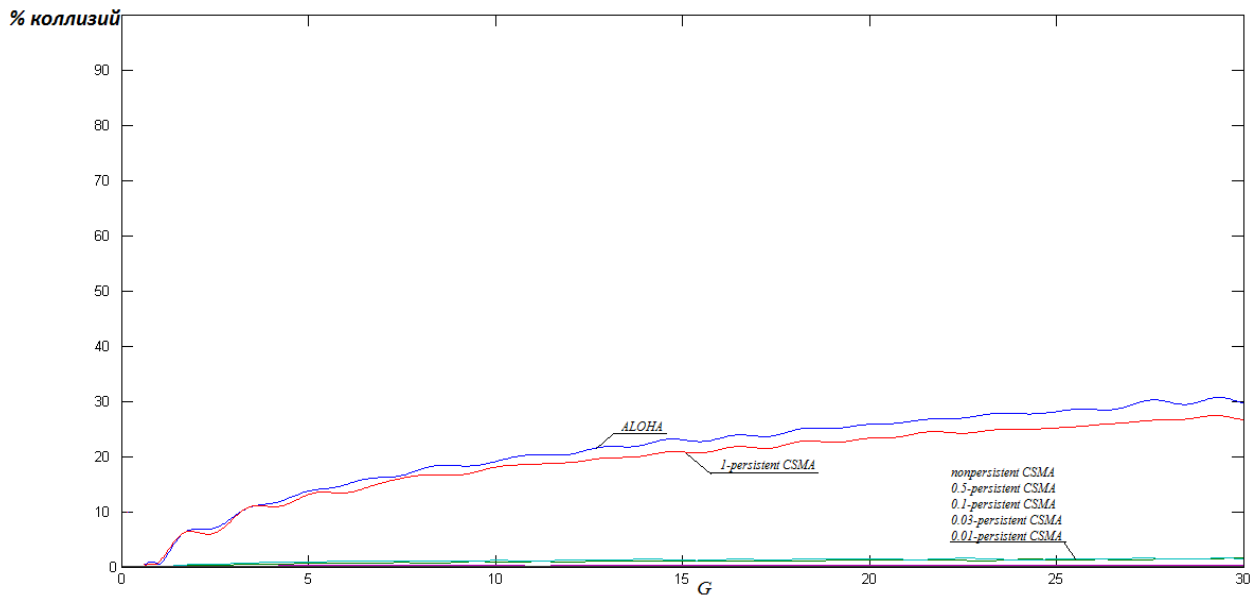


Рисунок 4.13 - Зависимости количества коллизий от интенсивности попыток передач при условии наличия в системе 3 активных абонентов и длительности кадра данных 70 слотов

Анализ рисунка 4.13 показал, что процент коллизий, при увеличении длины кадров данных, существенно ниже случая с системой, в которой кадры данных не существенно превышают длину слота. Этот факт обусловлен низкой вероятностью коллизии в протоколах с предварительным прослушиванием канала, а также относительно короткими задержками на повторную передачу в протоколах *nonpersistent CSMA* и *p-persistent CSMA*.

Увеличение количества активных абонентов до 6 снижает эффективность применения настойчивых протоколов. КИ ОСИВ протоколов с низкой настойчивостью снижается не более чем на 8% и показывают лучшие характеристики, чем в случае с передачей коротких кадров данных.

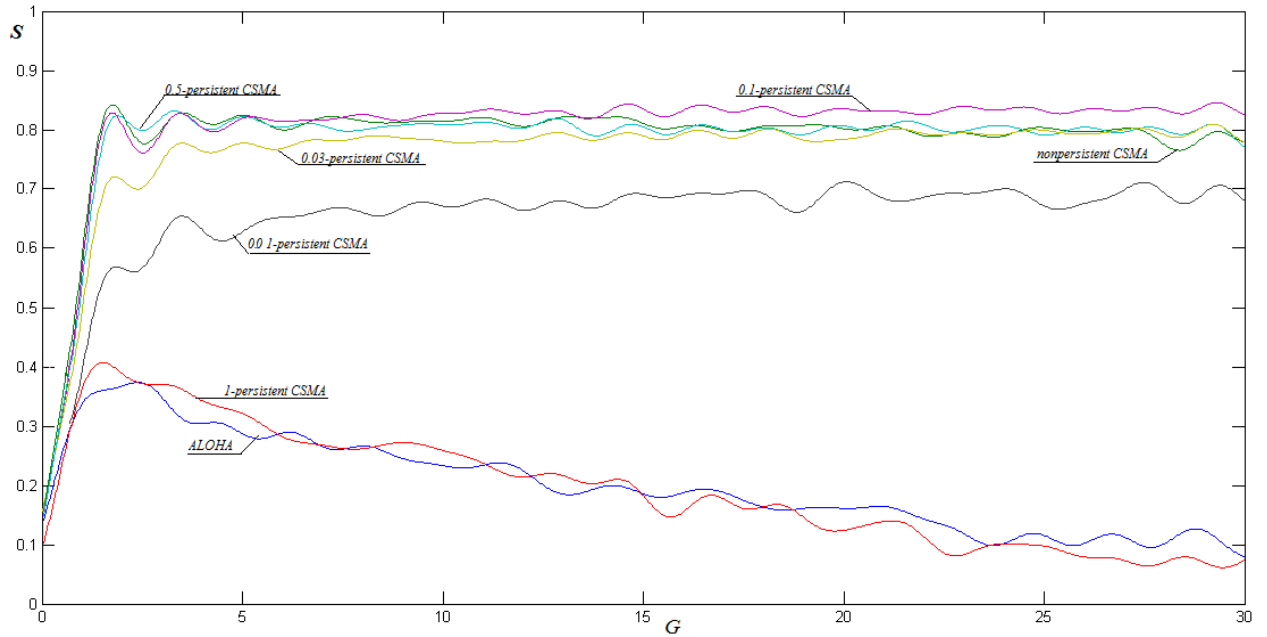


Рисунок 4.14 - Зависимости коэффициента использования общей среды информационного взаимодействия относительно интенсивности попыток передач при условии наличия в системе 6 активных абонентов и длительности кадра данных 70 слотов

Существенное снижение КИ ОСИВ в работе протоколов *1-persistent CSMA* и *ALOHA*, при увеличении количества активных абонентов до 6, как следует из анализа рисунка 4.14, происходит по причине их низкой возможности избежать коллизии. Протокол *ALOHA*, не предусматривающий прослушивание канала перед началом передачи, увеличивает количество коллизий с ростом ИПП. Протокол *1-persistent CSMA* начинает передачу в первый же пустой слот, в случае отсутствия занятости ОСИВ, что является причиной коллизий, в случае если еще хотя бы один абонент, с подобным протоколом, осуществляет попытку передать данные.

При увеличении длительности информационных кадров, вероятность возникновения коллизий у настойчивых протоколов возрастает с 30% до 40%.

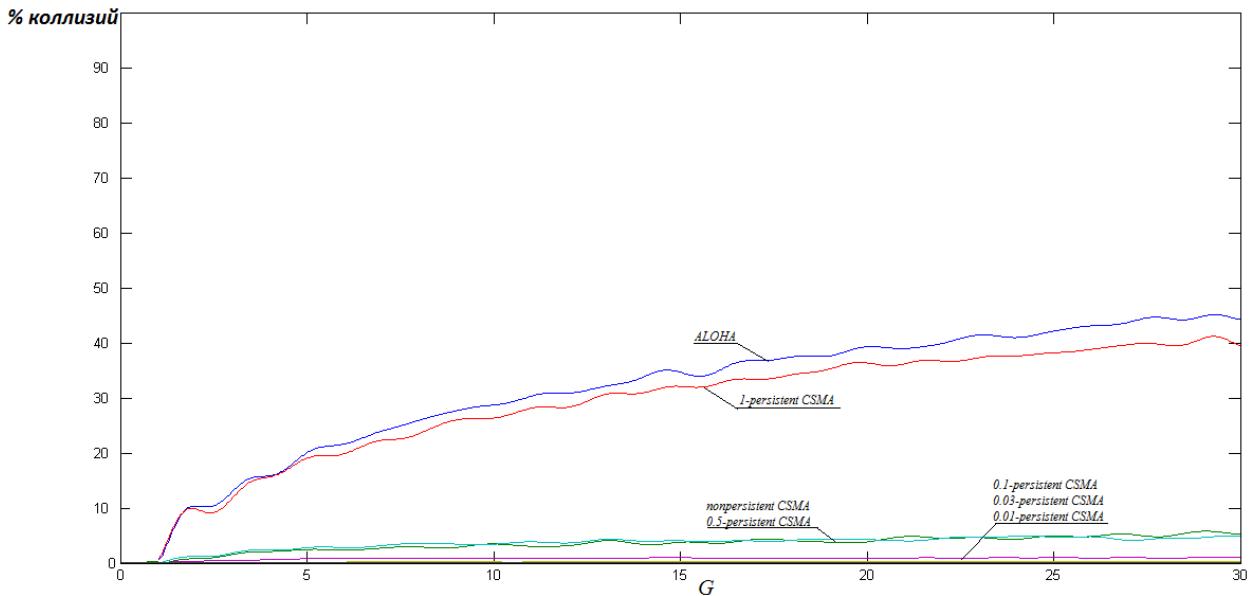


Рисунок 4.15 - Зависимости количества коллизий от интенсивности попыток передач при условии наличия в системе 6 активных абонентов и длительности кадра данных 70 слотов

Несущественное возрастание процента коллизий в протоколах *nonpersistent CSMA* и *0.5-persistent CSMA*, представленное на рисунке 4.15, объясняется незначительным увеличением вероятности коллизии в случае, когда несколько готовых к передаче абонентов с одинаковыми протоколами доступа к среде выберут одинаковое значение задержки на передачу, после освобождения канала.

В случае с 15 активными абонентами КИ ОСИВ для всех протоколов снижается ввиду увеличения вероятности коллизий. Протоколы *ALOHA* и *1-persistent CSMA* имеют наименьшие значения КИ ОСИВ и эффективность их применения равна 0 при $G > 7$.

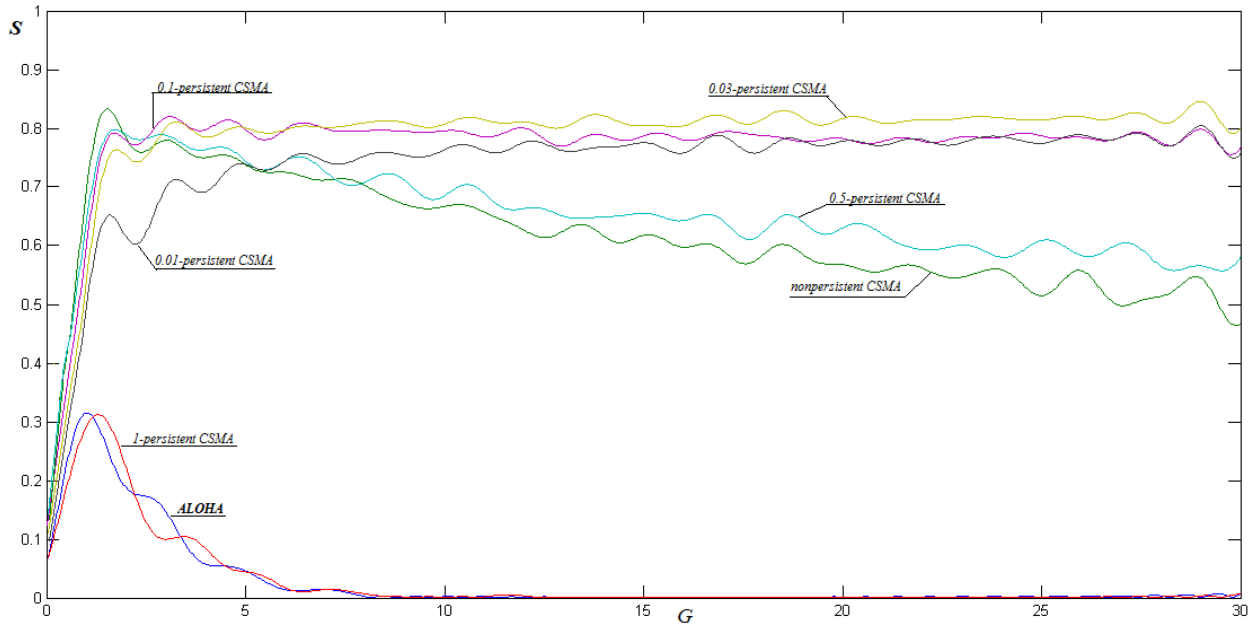


Рисунок 4.16 - Зависимости коэффициента использования общей среды информационного взаимодействия относительно интенсивности попыток передач при условии наличия в системе 15 активных абонентов и длительности кадра данных 70 слотов

Анализ рисунка 4.16 показал, что эффективность применения протоколов *nonpersistent CSMA* и *p-persistent CSMA* незначительно изменяется, при увеличении количества активных абонентов. Наибольшая эффективность наблюдается у протокола *p-persistent CSMA* с наименьшим значением p .

Увеличение количества коллизий, при увеличении количества активных абонентов до 15, наблюдается для протоколов *ALOHA* и *1-persistent CSMA*, а также *nonpersistent CSMA* и *0.5-persistent CSMA*. Незначительно возрастает количество коллизий для менее настойчивых протоколов *p-persistent CSMA*.

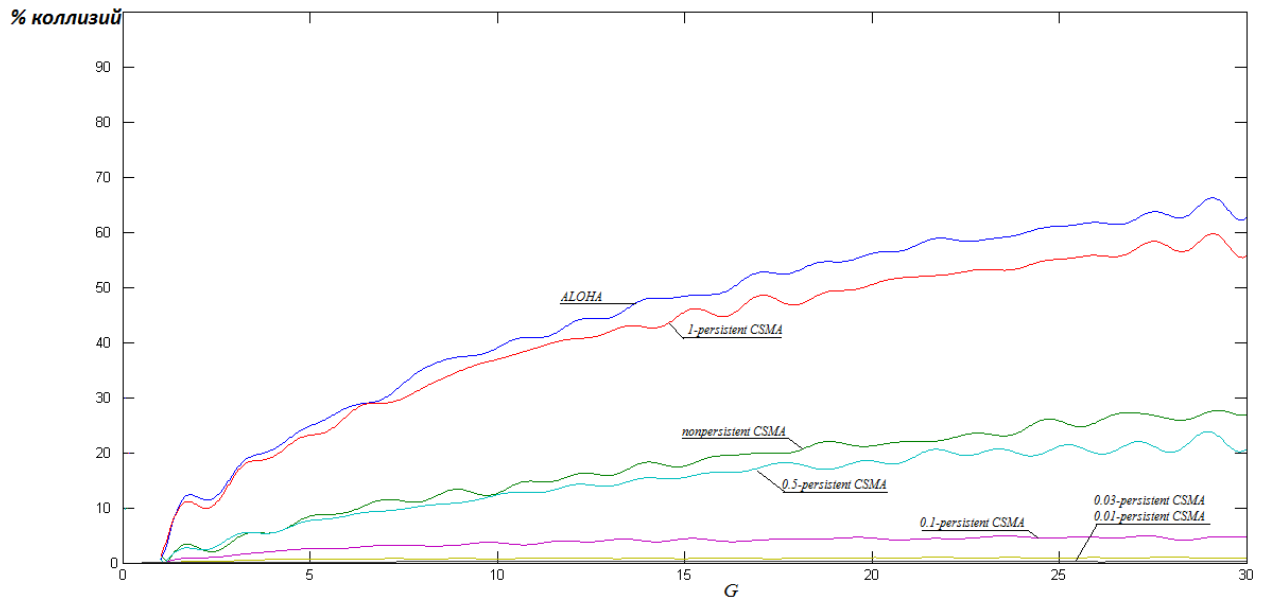


Рисунок 4.17 - Зависимости количества коллизий от интенсивности попыток передач при условии наличия в системе 15 активных абонентов и длительности кадра данных 70 слотов

С увеличением количества активных абонентов (рисунок 4.17), возрастает вероятность коллизии в случае, когда несколько готовых к передаче абонентов, с одинаковыми протоколами доступа к среде, выберут одинаковое значение задержки на передачу, после освобождения канала. В условиях большого количества активных абонентов, данное правило справедливо даже для правил доступа к среде протокола *p-persistent CSMA* с низкими значениями *p*.

Произведено сравнение результатов математического моделирования и результаты работы имитационной модели при условии времени распространения данных $a = 0.001$. Тот факт, что в математической модели не учитывается количество активных абонентов и длина кадра данных (считается, что она много больше длительности временного слота), позволяет предложить для сравнения лишь один вариант результатов расчетов, отражающий величину КИ ОСИВ в зависимости от ИПП.

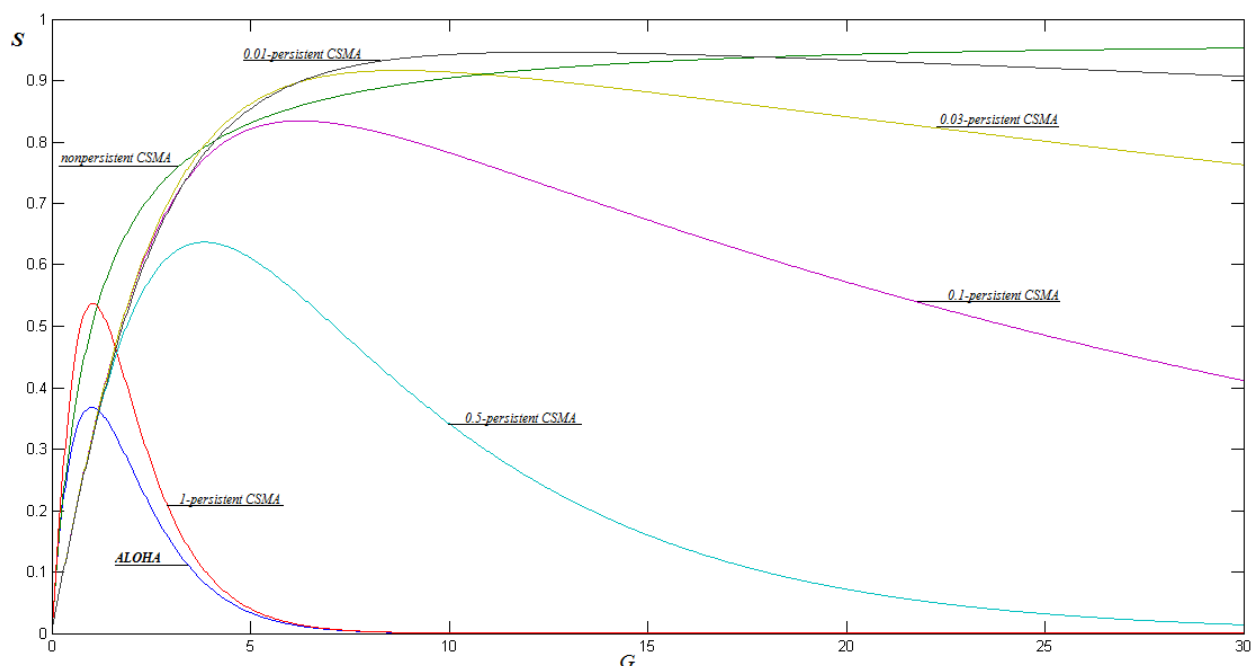


Рисунок 4.18 - Зависимости коэффициента использования общей среды информационного взаимодействия относительно интенсивности попыток передач при задержке распространения данных $a = 0.001$

Произведено сравнение результатов работы имитационной модели при условии наличия в системе 15 активных абонентов и длительности кадра данных 70 слотов а также результатов математического моделирования системы с общим каналом информационного взаимодействия. Анализ результатов математического (рисунок 4.18) и имитационного (рисунок 4.17) моделирования позволяет сделать следующие выводы:

1. КИ ОСИВ протоколов *ALOHA* и *1-persistent CSMA* в случаях математического и имитационного моделирования показывает низкую эффективность своего применения. При имитационном моделировании, эти протоколы имеют меньший КИ ОСИВ, чем в случае с математическим моделированием, что связано с имитацией работы 15 абонентов в системе. Такое количество абонентов увеличивает вероятность коллизий и снижает величину ожидаемого КИ ОСИВ. Эти протоколы имеют самые низкие значения максимального КИ ОСИВ и становятся полностью неприменимыми в случае,

когда $G > 8$. Полученные значения обоснованы тем, что протоколы с высокой настойчивостью передачи *ALOHA* и *1-persistent CSMA* имеют высокую вероятность коллизии в первый же свободный слот, после передачи продолжительного кадра данных.

2. Протокол *nonpersistent CSMA* при математическом моделировании показывает плавное увеличение КИ ОСИВ при росте ИПП, в то время как результат имитационного моделирования показывает, что эффективность применения этого протокола уступает *p-persistent CSMA*. Однако следует учитывать, что результат математического моделирования справедлив для случаев, когда длина информационных кадров имеет величину много большую, чем длина слота. Это ограничение соответствует имитационной модели, в которой характер зависимости значения КИ ОСИВ, приближается к результатам, полученным математическим моделированием в случае увеличения длительности информационного кадра. При условии, когда длительность кадра данных равна 3 слотам, протокол *nonpersistent CSMA* схож по величине КИ ОСИВ с настойчивыми протоколами.

3. Протокол *p-persistent CSMA* в зависимости от значения p имеет наибольшую эффективность, однако существенное влияние на КИ ОСИВ этого протокола оказывает значение длительности кадра данных. Кадры данных, сопоставимые по длительности с временными слотами, увеличивают вероятность коллизий за счет высокой ИПП. В заданных условиях большое влияние вносит период ЗРД, который является периодом уязвимости, когда абоненты могут зарегистрировать свободный канал, в то время как происходящая передача еще не зафиксирована абонентом. Чем меньше значение p , тем более эффективно используется канал. Зависимости математического и имитационного моделирования схожи для данного протокола, однако значения КИ ОСИВ не имеют идеального совпадения в связи с наличием в имитационной модели большего количества факторов.

4. Увеличение количества активных абонентов в системе, в случае имитационного моделирования, ведет к снижению КИ ОСИВ в связи с увеличением вероятности коллизий.

5. Увеличение длительности передачи кадра данных приводит к увеличению КИ ОСИВ, поскольку самым уязвимым моментом в процессе установления соединения является первый слот от начала передачи кадра, в котором может возникнуть коллизия в связи с наличием ЗРД.

6. В случае, когда длина кадров данных ограничена 3 слотами, увеличение количества активных абонентов с 3 до 15 снижают максимальный КИ ОСИВ протоколов на 20-30% и перераспределяют порядок приоритетности применения правил доступа к среде. В случае с длиной кадра данных равной 70 слотов, существенно снижается значение КИ ОСИВ для протоколов с высокой настойчивостью передачи *ALOHA* и *1-persistent CSMA*, что связано с высокой вероятностью коллизии в первый же свободный слот, после передачи продолжительного кадра данных.

7. С увеличением длительности кадров, наблюдается увеличение среднего значения КИ ОСИВ. Правила доступа к среде настойчивых протоколов демонстрируют большую зависимость от количества активных абонентов в случае с длиной кадров данных равной 70 слотам.

4.3. Моделирование системы информационного взаимодействия с применением разработанного алгоритма управления правилами доступа к среде

Выполним итоговое моделирование функционирования системы информационного взаимодействия с общим каналом. В целях эксперимента сгенерируем входящую последовательность, представляющую собой ИПП от времени в модели. Имитационная модель будет руководствоваться этой последовательностью, имитируя изменение в ИПП при установлении соединения каждым из предложенных алгоритмов.

Сформирована случайная последовательность значений ИПП (рисунок 4.19), представляющей собой Пуассоновский поток в промежутке от 1 до 1000 временных слотов.

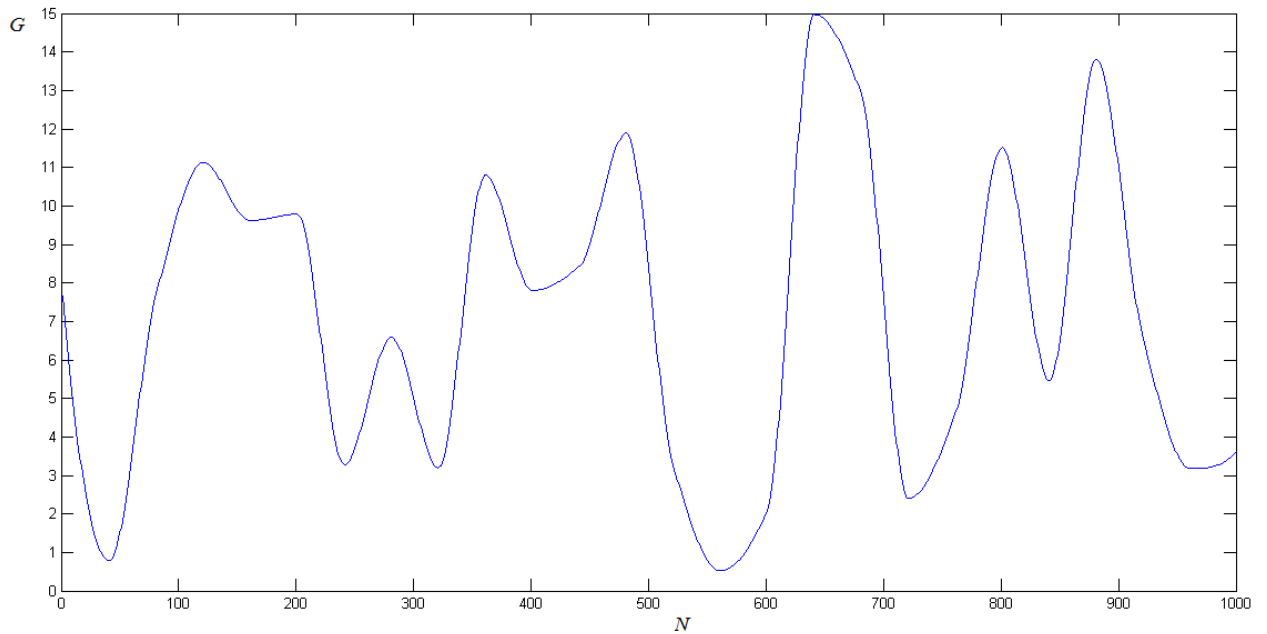


Рисунок 4.19 - Входящий поток значений интенсивности попыток передач

В целях максимального приближения модели к реальности, сформируем случайную последовательность значений ЗРД между абонентами с нормальным распределением для каждого временного слота в пределах от 0.001 до 0.01, что, к примеру, можно сопоставить с преодолением электромагнитной волной дистанции от 300 км до 3000 км.

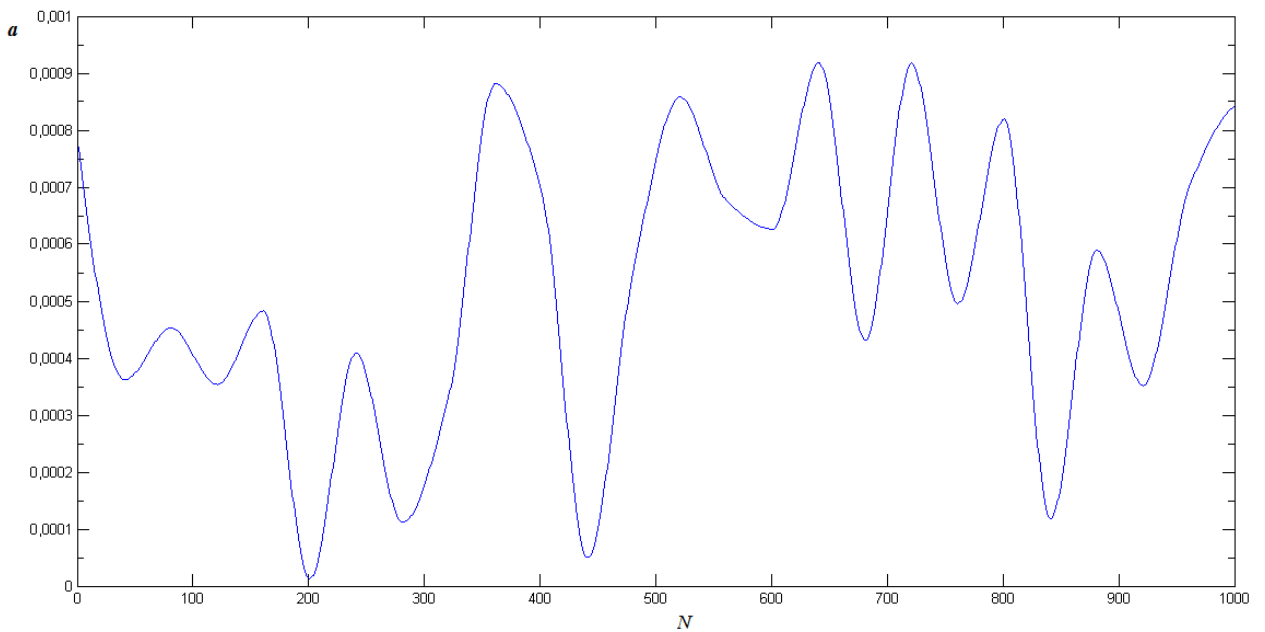


Рисунок 4.20 - Входящий поток значений задержки распространения данных

Промоделировав функционирование системы при следующих условиях: диапазон значений ИПП составил от 0.01 до 15 (входная последовательность изменения ИПП представлена на рисунке 4.19); диапазон значений ЗРД составил от 0.001 до 0.01 (входная последовательность изменения представлена на рисунке 4.20). На каждом из временных значений производилась 1000 экспериментов.

При условии работы в активном (устанавливаемом соединении) режиме 3-х абонентов, графическое представление совокупности зависимостей КИ ОСИВ протоколов показывает, что ни один из применяемых протоколов не показал однозначного преимущества во всем диапазоне значений ИПП.

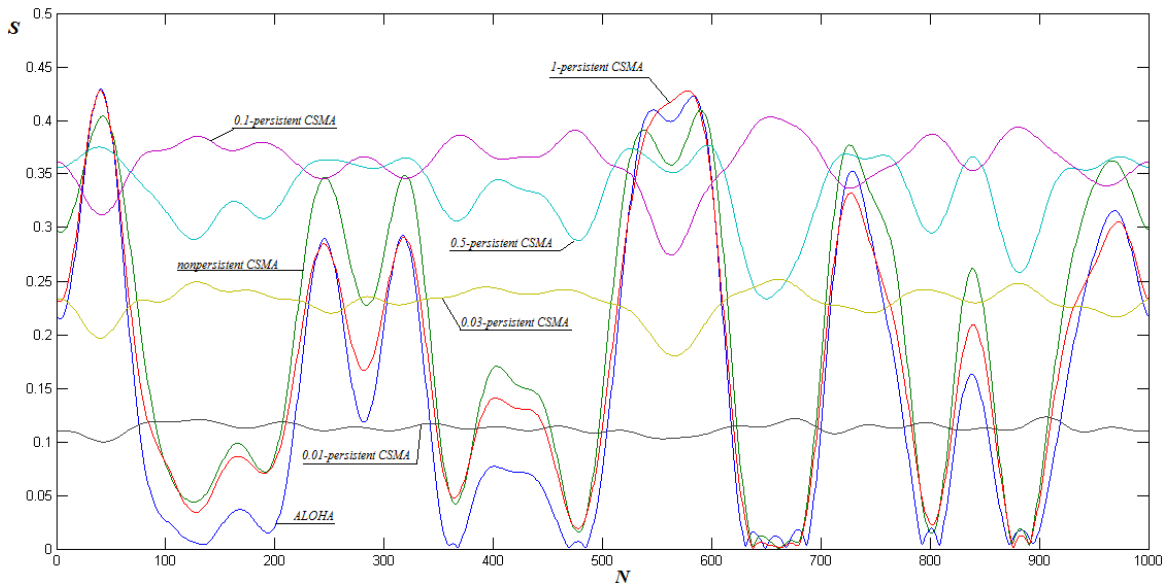


Рисунок 4.21 - Зависимость коэффициента использования общей среды информационного взаимодействия различных протоколов доступа к среде от интенсивности попыток передач и задержки распространения данных

Итоговым результатом имитационного моделирования является проведение эксперимента по установлению соединений при помощи адаптивного алгоритма управления правилами доступа к среде.

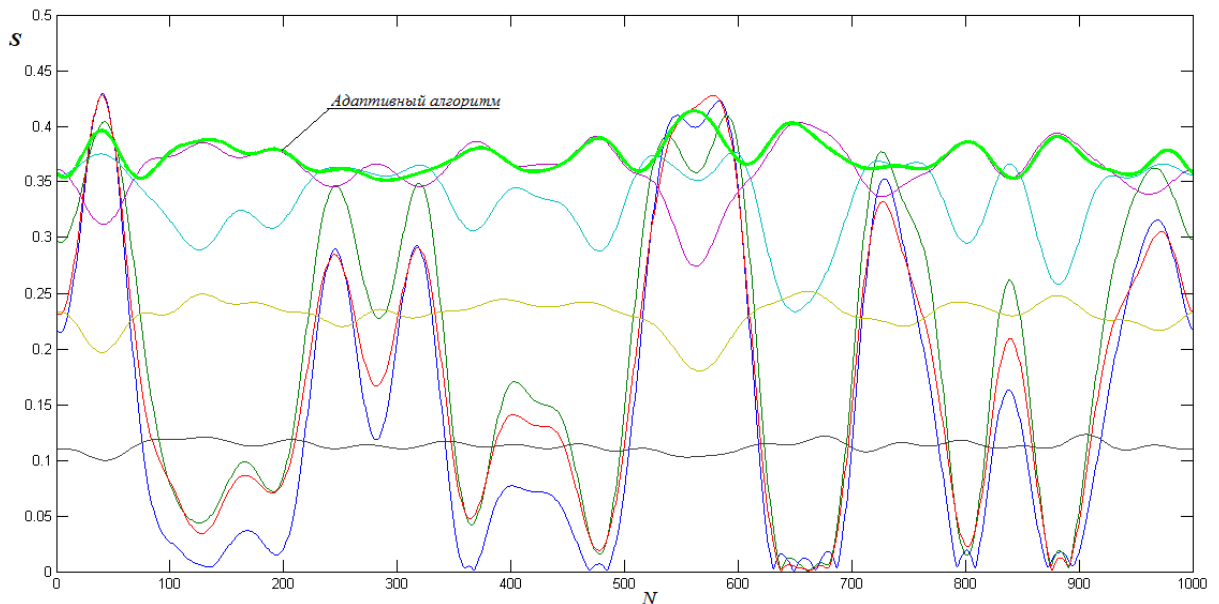


Рисунок 4.22 - Зависимость коэффициента использования общей среды информационного взаимодействия различных протоколов доступа среде а также адаптивного протокола от интенсивности попыток передач и задержки распространения данных

Анализ значения КИ ОСИВ (рисунок 4.22) показывает, что применение адаптивного алгоритма управления правилами доступа к среде позволяет, в данном примере, получить увеличение КИ ОСИВ на 3.3% в сравнение с правилами доступа к среде протокола *0.1-persistent CSMA*, который при данных условиях показывает наиболее высокое значение КИ ОСИВ.

Зависимость количества коллизий при заданных условиях, позволяет проанализировать, как влияет значение интенсивности попыток передач на возникновение коллизий (рисунок 4.23).

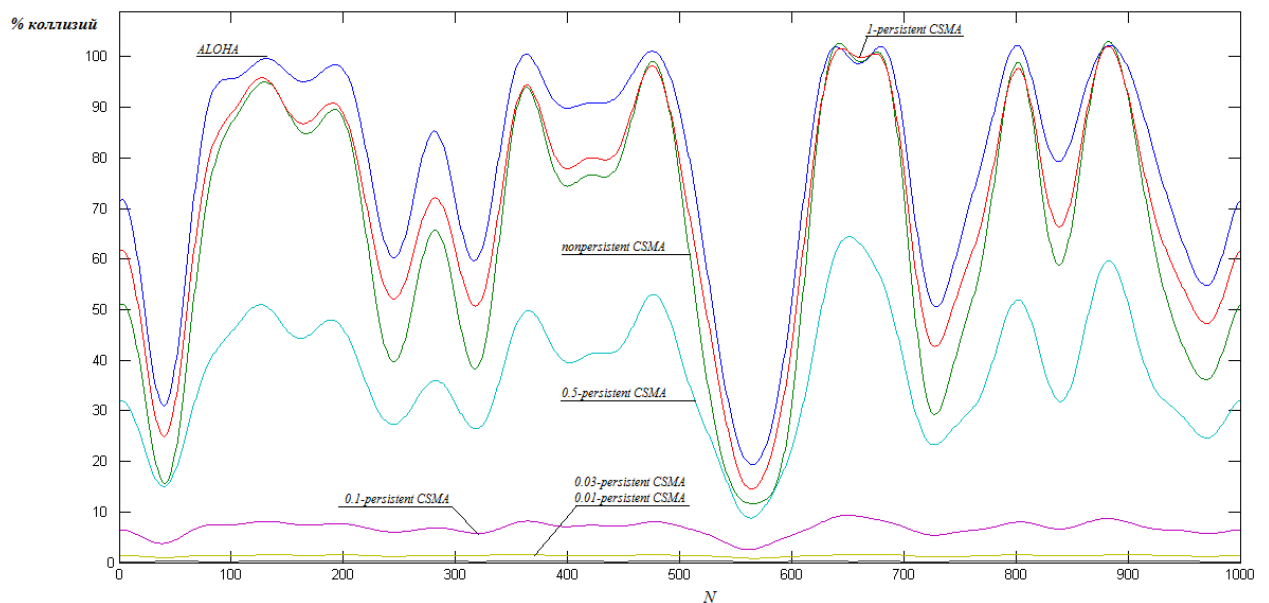


Рисунок 4.23 - Зависимость количества коллизий от интенсивности попыток передач и задержки распространения данных

Анализ данных, представленных на рисунке 4.23, позволяет утверждать о низкой эффективности применения протоколов *ALOHA*, *nonpersistent CSMA* и *0.1-persistent CSMA*, что вызвано большим количеством возникающих коллизий при заданных условиях системы.

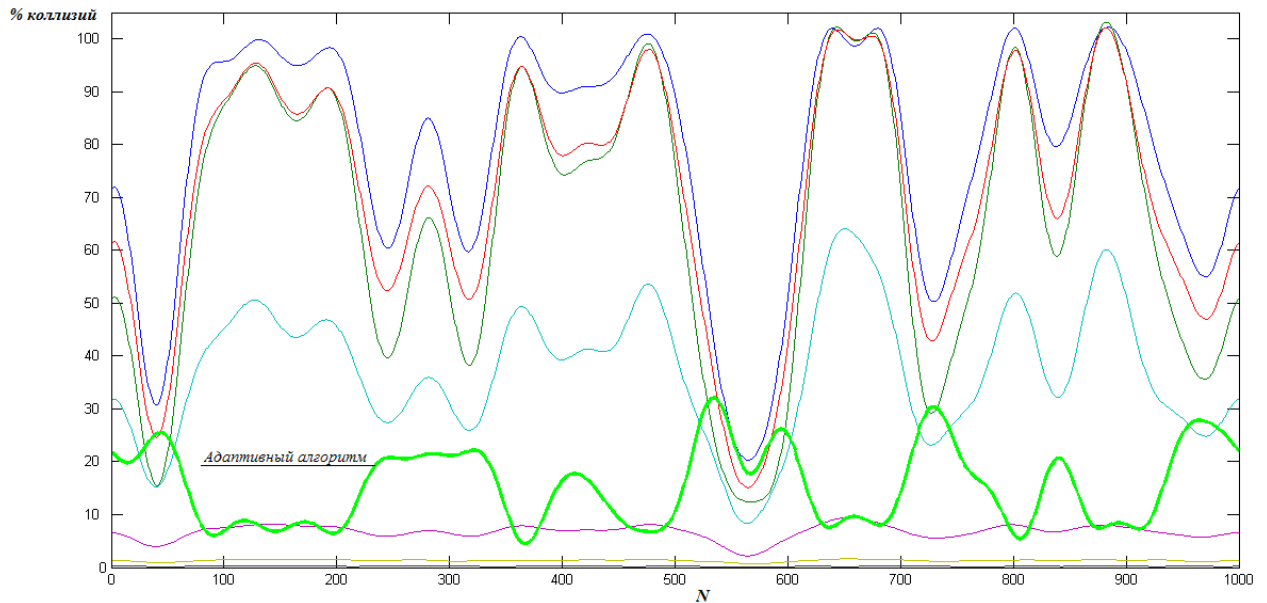


Рисунок 4.24 - Зависимость количества коллизий различных протоколов доступа к среде, а также адаптивного алгоритма управления правилами доступа к среде от интенсивности попыток передач и задержки распространения данных

Анализ возникновения коллизий адаптивного алгоритма управления правилами доступа к среде (рисунок 4.24) показывает, что существуют интервал значений коллизий, в котором протоколы наиболее эффективно используют ОСИВ.

4.4. Выводы по главе 4

1. В результате сравнения результатов моделирования выявлено, что имитационная модель позволяет учесть большее количество существенных параметров в сравнении с математической моделью предложенной Л.Клейнроком и А.Тобаги [70,71]. Длина кадров данных в имитационной модели и количество активных абонентов оказывают существенное влияние на КИ ОСИВ, что не было учтено в математической модели. Такое отличие поясняет существенные расхождения результатов моделирования.

2. Количество активных абонентов является важным фактором, влияющим на КИ ОСИВ. 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. В случае с длиной кадра данных равной 70 слотов, существенно снижается значение КИ ОСИВ для протоколов с высокой настойчивостью передачи *ALOHA* и *1-persistent CSMA*, что связано с высокой вероятностью коллизии в первый же свободный слот, после передачи кадра данных.

3. В случае применения различных по длительности кадров данных, наблюдаются существенные различия в значении КИ ОСИВ. Применение кадров данных равных 3 слотам и 70 слотам показали, что увеличение длительности информационных кадров меняет ожидаемые значения производительности коммуникационной системы в зависимости от ИПП. С увеличением длительности кадров, наблюдается увеличение среднего значения КИ ОСИВ. Правила доступа к среде настойчивых протоколов демонстрируют большую зависимость от количества активных абонентов в случае с длиной кадров данных равной 70 слотам.

4. Несовпадение значений КИ ОСИВ в математической и имитационной моделях для протоколов *p-persistent CSMA* и *nonpersistent CSMA* вызвано ограничением количества слотов, необходимых для передачи кадра данных в случае с длиной кадра равной 3 слотам. В исследуемой модели предполагается установление соединения в общем канале с последующим переходом в свободный канал для взаимодействия без конкуренции. В случае передач больших кадров данных, результаты моделирования протоколов *p-persistent CSMA* и *nonpersistent CSMA* совпадают с результатами математического моделирования.

5. Правила доступа к среде протокола *p-persistent CSMA* показывает наибольшие средние значения КИ ОСИВ, однако, существуют условия, при которых этот протокол может уступать прочим протоколам доступа к среде. В

среднем, возможно применение ограниченного адаптивного алгоритма, управляющего лишь значением настойчивости попытки передачи p протокола доступа к среде p -persistent CSMA.

6. Исследование результатов имитационного моделирования позволяет утверждать, что наибольшее значение КИ ОСИВ можно сопоставить с определенным уровнем коллизий. Находясь в границах предельных значений количества коллизий, можно ожидать, что правила доступа к среде того или иного протокола не допускают необоснованных пропусков временных слотов и не блокируют работу общей среды информационного взаимодействия большим количеством коллизий.

7. Адаптивный алгоритм управления правилами доступа к среде автоматически применяет набор правил доступа к среде того протокола, который показывает максимальную эффективность избегания коллизий и планирования повторных передач при тех условиях, в которых находится абонент, а потому демонстрирует максимальные значения КИ ОСИВ при любых условиях, учтенных в модели.

8. КИ ОСИВ протокола ALOHA показывает низкую эффективность своего применения. С увеличением количества абонентов возрастает вероятность коллизий и, следовательно, снижается КИ ОСИВ. Данный протокол имеет самый низкий предел максимального значения КИ ОСИВ и становится полностью неприменимым в случае, когда $G > 8$. Полученные значения обоснованы тем, что протокол с высокой настойчивостью передачи ALOHA имеет высокую вероятность коллизии в первый же свободный слот, после передачи кадра данных.

9. Протокол nonpersistent CSMA показывает плавное увеличение КИ ОСИВ при росте ИПП, однако эффективность применения данного протокола может уступать p -persistent CSMA в случае увеличения длины передаваемых кадров данных. Так, при условии, когда длительность кадра данных равна 3 слотам, протокол nonpersistent CSMA схож по критерию КИ ОСИВ с настойчивым

протоколом *ALOHA*. С увеличением длительности кадров, наблюдается увеличение среднего значения КИ ОСИВ.

10. 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.

Основные выводы и результаты

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.

Моделирование показало, что максимальное значение коэффициента использования среды информационного обмена принадлежит протоколам, процент коллизий в которых находился в диапазоне 5-40%, следовательно в системе существует оптимальный диапазон значений коллизий, который характеризует наибольшую вероятность установления соединения при заданных условиях.

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

Список сокращений и условных обозначений

ALE – Automatic Link Establishment (процедура автоматической организации связи);

CSMA - Carrier sense multiple access (множественный доступ к среде с обнаружением конфликтов и детектированием несущей);

ISO 7498 – сетевая модель стека сетевых протоколов международной организации по стандартизации;

MATLab - Matrix Laborator (пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений и одноимённый язык программирования, используемый в этом пакете);

OSI - open systems interconnection basic reference model (базовая эталонная модель взаимодействия открытых систем);

ЗРД – задержка распространения данных;

ИПП – интенсивность попыток передач;

КИ – коэффициент использования;

ОСИБ – общая среда информационного взаимодействия;

ПП - период передачи;

ТМО – теория массового обслуживания.

Список литературы

1. Антонов, А.В. Системный анализ: учебник для вузов / А.В. Сычев. - М.: Высшая школа, 2004. - 454 с.
2. Башарин, Г.П. Сравнительный анализ двух протоколов случайного множественного доступа / Г.П. Башарин, В.А. Ефимушкин, Ю.В. Прейдунов. // Автоматика и вычислительная техника, 1986. - №4. – с.34-39.
3. Борисов, В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью / В.И. Борисов, В.М. Зинчук. – М.: Радио и связь, 2003. – 640 с.
4. Винель, А.В. Исследование работы протокола IEEE 802.11 в канале с шумом / А.В. Винель // IV международная школа-семинар ГУАП: Сб. докл. - ГУАП, СПб. – 2003. - С. 171-174.
5. Винель, А.В. Разработка методов анализа протоколов управления доступом к среде в централизованных беспроводных сетях: автореф. дис. канд. тех. наук: 05.13.13 / Винель Алексей Викторович. – М., 2007. – 18 с.
6. Винель, А.В. Сравнение методов анализа работы протокола IEEE 802.11 при высокой нагрузке в канале с шумом / А.В. Винель // VII научная сессия аспирантов ГУАП: Сб. докл. - ГУАП, СПб. - 2004. - С. 170-173.
7. Вишневский, В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей / В.М. Вишневский. - М: Техносфера, 2003. –512 с.
8. Вишневский, В.М. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В.М. Вишневский, А.И. Ляхов, С.Л. Портной и др. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
9. Высочина, О.С. Сравнительный анализ моделей нейронных структур для решения задачи классификации состояний телекоммуникационной сети / О.С.

Высочина, С.И. Шматков // Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник “Автоматизированные системы управления и приборы автоматики”. - Выпуск 146. - 2009.- С.70-75.

10. Галлагер, Р. Теория информации и надежная связь / Р. Галлагер . пер с англ., под ред. М.С. Пинскера, Б.С. Цыбакова. – М.: Советское радио, 1974. –720с.

11. Голд, Б. Цифровая обработка сигналов / Голд, Б., Рэйдер Ч. пер. с англ., под ред. А.М. Трахтмана. – М.: Советское радио,1973. –368 с.

12. Головин, О.В. Системы и устройства коротковолновой радиосвязи / О.В. Головин. - М.: Горячая линия: Телеком, 2006. – 598 с.

13. Гольденберг, Л.М. Цифровая обработка сигналов: справочник / Л.М. Гольденберг. – М.: Радио и связь, 1985. –312 с.

14. Прокис, Дж. Цифровая связь / Дж. Прокис. пер с англ. под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000. –800 с.

15. Джонсон, Э. Результаты моделирования 3-го поколения аппаратуры автоматического составления ДКМВ линий связи / Э. Джонсон // Труды международной конференции «MILCOM' 1999», раздел VII ., 31 октября - 3 ноября. Атлантик сити, Нью Джерси.

16. Евсеев, Г.С. Оценки характеристик разрешения конфликтов в канале со свободным доступом и шумом / Г.С. Евсеев, Н.Г. Ермолаев // Проблемы передачи информации. - 1982. - № 2. - С. 101-105.

17. Жолен, Л Прикладной интервальный анализ / Л. Жолен, М. Кифер, О. Дидри и др. – М.-Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2005. – 468с.

18. Клейнрок, Л. Вычислительные системы с очередями / Л. Клейнрок. - М.: Мир, 1979. – 600 с.

19. Клейнрок, Л. Коммуникационные сети / Л. Клейнрок. - М.: Наука, 1970. – 256 с.

20. Клейнрок, Л. Теория массового обслуживания / Л. Клейнрок. - М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.
21. Кобляков, В.А. Вычисление коэффициента полезного использования канала для упрощенной модели протокола TCP / В.А. Кобляков // Сборник тезисов докладов 5 научной сессии аспирантов ГУАП- СПб, 2002. - С. 237-241.
22. Комарович, В.Ф. Случайные радиопомехи и надежность КВ связи / В.Ф. Комарович, В.И. Сосунов. - М.: Связь, 1977. – 136 с.
23. Крылов, В.В. Теория телетрафика и ее приложения / В.В. Крылов, С.С. Самохвалова. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с.
24. Липкин, И.А. Спутниковые навигационные системы / И.А. Липкин. - М.: Вузовская книга, 2012. – 288 с.
25. Маковеева, М.М. Системы связи с подвижными объектами: учебное пособие для вузов / М.М. Маковеева, Ю.С. Шинаков. – М.: Радио и связь, 2002. – 440с.
26. Мартин, М.Д. Введение в сетевые технологии / М.Д. Мартин. - М.: ЛОРИ, 2002. – 659 с.
27. Минин, В.Е. Анализ пропускной способности сети с радио доступом / В.Е. Минин // Девятая международная научно-техническая конференция «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций»: материалы конференции. - Казань: издательство КГТУ. - 2008 г. - С.212-213.
28. Минин, В. Е. Анализ характеристик предложенной модели КВ сети связи при помощи теории массового обслуживания / В.Е. Минин // Вестник Удмуртского государственного университета. – 2009 г. - №1. -С. 167-172.
29. Минин, В.Е. Оценка ожидаемой эффективности использования пропускной способности между терминалами в сети / В.Е. Минин // 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. – 2009. – С. 33-34.

30. Минин, В.Е. Применение алгоритма классификации в процедуре установления соединения/ В.Е. Минин // 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.

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

32. Минин, В. Е. Проблемы использования КВ диапазона при построении радиосетей / В.Е. Минин // Вестник Удмуртского университета. – 2007 г. - № 6.– С. 145-150.

33. Минин, В.Е. Расчет времени готовности к работе сети связи с радиодоступом в ненадежном канале связи / В.Е. Минин // 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.

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

35. Минин, В.Е. Увеличение производительности сети связи за счет использования адаптивного алгоритма доступа к среде / В.Е. Минин // 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.

36. Минин, В.Е. Сравнение результатов математического и имитационного моделирования сети с общим каналом / В.Е. Минин, И.З. Климов // 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.

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

38. Минин, В.Е. Оценка эффективности использования общего канала связи на основе имитационного моделирования / В.Е. Минин, И.З. Климов, А.В. Жидяев // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2014 г.- №1.- С. 102-105.

39. Минин, В.Е. Оценка эффективности использования общего канала в цифровой сети связи / В.Е. Минин, И.З. Климов , В.А. Мошонкин // Вестник Ижевского государственного технического университета. -2013 г. - №1. - С. 98-100.

40. Минин, В.Е. Увеличение производительности сети радиосвязи за счет выбора оптимального набора правил доступа к среде. / В.Е. Минин , И.З. Климов , А.Н. Тетерин // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2011 г. - №3. - С. 103-106.

41. Минин, В.Е. Расчет основных показателей доступности сети связи с радиодоступом в декаметровом диапазоне волн. / В.Е. Минин, О.В. Меркушев //

Международная научно-техническая конференция к 100-летию со дня рождения В.А. Котельникова: Тезисы докладов. – М.: Издательский дом МЭИ. – 2008 г. – С.143-145.

42. Немировский, А.С. Борьба с замираниями при передаче аналоговых сигналов / А.С Немировский. – М.: Радио и Связь, 1984 – 208 с.

43. Овчинников А.М. Открытые стандарты цифровой транкинговой радиосвязи: серия изданий "Связь и бизнес" / А.М. Овчинников, С.В. Воробьев, С.И. Сергеев. – М.: МЦНТИ, ООО "Мобильные коммуникации", 2000. – 166 с.

44. Окунев, Ю.Б. Системы связи с инвариантными характеристиками помехоустойчивости / Ю.Б. Окунев. – М.: Связь, 1973. – 80 с.

45. Олифер, В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. - СПб.:Питер, 2010. - 944 с.

46. Орлов, А.И. Прикладная статистика: Учебник для вузов / А.И. Орлов. - М.: Экзамен, 2004. – 672 с.

47. Пасечников, И.И. Методология анализа и синтеза предельно нагруженных информационных сетей / И.И. Пасечников. – М.: Издательство Машиностроение-1, 2004. – 216 с.

48. Педжман Рошан Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11 / Рошан Педжман, Лиэри Джонатан. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2004 г. – 296 с.

49. Побережский, Е.С. Цифровые радиоприемные устройства / Е.С. Побережский. – М.: Радио и связь, 1987. – 184 с.

50. Рассказова, И.О. Разработка и исследование эффективности нейросетевых алгоритмов управления в сетях радиосвязи: автореф. дис. канд. тех. наук: 05.13.13 / Рассказова Инесса Олеговна. – Рязань, 2006. – 19 с.

51. Рябко, А.Н. Пуассоновская гипотеза: комбинаторный аспект / А.Н. Рябко, С.Б. Шлосман // Проблемы передачи информации. - 2005. – том 41:3. - С. 51-57.
52. Самуйлов, К.Е. Сети и системы телекоммуникаций: Учебно-методическое пособие / К.Е. Самуйлов, Д.С.Кулябов. - М.: РУДН, 2002.- 55 с.
53. Столлингс, В. Беспроводные линии связи и сети / В. Столлингс. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 640 с.
54. Тетерин, А.Н. Геометрический подход к классификации - новая модель работы нейрона / А.Н. Тетерин // Журнал вычислительной математики и математической физики. - 1992. - том. 32. - С. 1972-1980.
55. Уоссермен, Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика / Ф.Уоссермен. - М.: Мир, 1992. - 240 с.
56. Хайкин, С. Нейронные сети: Полный курс / С. Хайкин. - М.: Вильямс, 2006. - 1104 с.
57. Хмельницкий, Е.А. Оценка реальной помехозащищенности приема сигналов в КВ-диапазоне / Е.А. Хмельницкий. – М.: Связь, 1975. – 232 с.
58. Хомичков, И.И. Расчет характеристик локальной сети с р-настойчивым протоколом случайного множественного доступа / И.И. Хомичков // Автоматика и телемеханика. - 1995.- № 2. – С. 67 – 80.
59. Цыбаков, В.С. Блокированный стек-алгоритм СМД в сети с конечным числом станций / В.С. Цыбаков, В.Б. Файнгольд // Проблемы передачи информации. - 1992.- том 28:1. – С. 89-96.
60. Abramson, N. The ALOHA System-Another alternative for computer communication / N. Abramson // 1970 Fall Joint Computer Conf.: AFIPS Press. - Vol. 37. – 1970. - С. 281-285.

61. Berkovskii, M.A. Multiple Access with Reservation / M.A. Berkovskii, B.S. Tsybakov // Problems of Information Transmission. - Vol. 16:1. - 1980. – C.50-76.
62. Bononi, L. Design and Performance Evaluation of Distributed Contention Control (DCC) Mechanism for IEEE 802.11 Wireless Local Area Network / L. Bononi, M. Conti, L. Donatiello // J. Parallel Distrib. Comput. - Vol. 60:4. - 2000. – C. 59-67.
63. Cali, F. IEEE 802.11 Wireless LAN: Capacity Analysis and protocol enhancement / F. Cali, M. Conti, E. Gregori // Proc. INFOCOM'98. - San Francisco. - 1998.- C. 142-149.
64. Dimic, G. Medium Access Control-Physical Cross-Layer Design / G. Dimic, N.D. Sidiropoulos, R. Zhang // IEEE Signal Processing Magazine. – 2004. – C.40-50.
65. Johnson, E. U.S. MIL-STD-188-141B Appendix C - a unified 3rd generation HF messaging protocol / E. Johnson //Harris Corporation. - RF Communications Division. - 1998. – C. 30
66. Gallager, D. Data Networks / D. Gallager, R. Bertsekas // Englewood Cliffs. - NJ: Prentice-Hall, 1992.- 556 c.
67. Hajek, A. Information Theory and Communication Networks: An Unconsummated Union / A. Hajek, B. Ephremides // IEEE Transactions on Information Theory. -Vol. 44:6.- 1998. - C. 2416-2434.
68. Hajek, A. On the Delay in a Multiple-Access System with Large Propagation Delay / B. Hajek, N.B. Likhanov, B.S. Tsybakov, // IEEE Transactions on Information Theory. - Vol. 40:4.- 1994. - C. 1158-1166.
69. Ho, T.S. Performance Analysis of IEEE 802.11 CSMA/CA Medium Access Control Protocol / T.S. Ho, K.C. Chen // Proc. PIMRC'96. - October 1996. - C.407-411.
70. Kleinrock, L. Packet Switching in Radio Channels: Part I -- Carrier Sense Multiple-Access Modes and Their Throughput-Delay Characteristics / L. Kleinrock,

F.A. Tobagi // IEEE Transactions on Communications. - Vol. 23:12. – 1975. – C. 1400-1416.

71. Kleinrock, L. Packet Switching in Radio Channels: Part II -- The Hidden Terminal Problem in Carrier Sense Multiple-Access and the Busy-Tone Solution/ L. Kleinrock, F.A. Tobagi // IEEE Transactions on Communications. - Vol. 23:12. – 1975. – C. 1417-1433.

72. Likhanov, B.S. Upper Bound on the Capacity of a Random Multiple-Access System / B.S. Likhanov, N.B. Tsybakov // Problems of Information Transmission. - № 3. – 1987. - C. 224-236.

73. Mikhailov, V.A. Random Multiple Packet Access: Part-and-Try Algorithm / V.A. Mikhailov, B.S. Tsybakov // Problems of Information Transmission. -№ 4. – 1980. - C. 305-317.

74. Molle, M.L. Conflict resolution algorithms and their performance analysis. Technical report / M.L. Molle, S. Polyzos. - University of Toronto. -1993. – 60 c.

75. Roberts, L.G. Data by the packet / L.G. Roberts // IEEE Spectrum. - Vol.11:2. - 1974. – C. 46-51.

76. Teterin, A.N. Formularless Logic Function / A.N. Teterin // Open Journal of Discrete Mathematics. - Vol.3:1.- 2013. – C. 21-24.

77. Tobagi, F.A. Random Access Techniques for Data Transmission Over Packet Switched Radio Networks / F.A. Tobagi. - School of Engineering and Applied Science University of California:Los Angeles, 1974. – 298 c.

78. Van Houdt, B. Robustness of Q-ary Collision Resolution Algorithms in Random Access Systems / B. Van Houdt, C. Blondia // Performance Evaluation. – 2004. - C.357-377.

79. Van Houdt, B. Throughput of Q-ary Splitting Algorithms for Contention Resolution in Communication Network / B. Van Houdt, C. Blondia // Communications in Information and Systems. - Vol.4:2. – 2005. - C. 135-164.

80. Vishnevsky, V.M. IEEE 802.11 Wireless LAN: Saturation Throughput Analysis with Seizing Effect Consideration / V.M. Vishnevsky, A.I. Lyakhov // Cluster Computing. - №5. – 2002. - С. 133-144.
81. Weinmiller, J Performance Study of Access Control in Wireless LANs IEEE 802.11 DFWMAC and ETSI RES 10 HIPERLAN / J. Weinmiller, M. Schlager, A. Festag, A.Wolisz // Mobile Networks and Applications. - № 1. – 1997. - С. 55-76.
82. Yokohira, T. Analysis of dynamic behavior in p-persistent CSMA/CD using cusp catastrophe / T. Yokohira, T. Nishida, H. Miyahara // Computer networks and ISDN systems. - Vol.12:5. – 1986. – С. 277-289.
83. Zimmermann, H. OSI Reference Model — The ISO Model of Architecture for Open Systems Interconnection / H. Zimmermann // IEEE Transactions on Communications . - Vol. 28:4. – 1980. – С.425-432.
84. Анкудинов, А.Н. Частотная и временная синхронизация в любительской связи [Электронный ресурс] / А.Н. Анкудинов - Режим доступа: http://ua3vvm.qrz.ru/freq_sinchro.htm, свободный (дата обращения: 11.05.2009).
85. Олифер В.Г. Транспортная подсистема неоднородных сетей [Электронный ресурс] / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – Режим доступа: <http://citforum.ru/nets/tpns/contents.shtml>, свободный (дата обращения: 15.05.2008).
86. Дискретный протокол АЛОHA [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.conlex.kz/diskretnyj-protokol-ALOHA>, свободный (дата обращения: 01.05.2009).
87. Козубцов, И.Н. Известия науки - Аналитическое обоснование возможного использования методов технического анализа для прогнозирования оптимальных рабочих частот коротковолновой радиосвязи [Электронный ресурс] / И.Н. Козубцов, А.И. Миночкин, О.В. Кокотов – Режим доступа: <http://www.inauka.ru/blogs/article85744.html>, свободный (дата обращения: 01.12.2008).

88. Кулаков, Д.С. Современные технологии автоматического составления канала авиационной ДКМВ радиосвязи [Электронный ресурс] / Д.С. Кулаков
Режим доступа: <http://bsfp.iszf.irk.ru/bsfp2002/articles/Kulakov.htm>, свободный
(дата обращения: 21.10.2006).

89. Основы теории нейронных сетей: Персептроны. Представимость и делимость. [Электронный ресурс] / Режим доступа:
<http://www.intuit.ru/studies/courses/88/88/info> , свободный (дата обращения:
14.09.2010).

90. Семейство стандартов IEEE 802.11 [Электронный ресурс] URL /
Режим доступа: http://www.wireless.ru/wireless/wrl_ieee80211, свободный (дата
обращения: 20.02.2007).

91. Средства согласования протоколов на физическом и канальном уровнях [Электронный ресурс] / Режим доступа:
http://fizmat.vspu.ru/citforum/nets/tpns/glava_3.shtml#_2_1, свободный (дата
обращения: 01.09.2009).

92. Технология Ethernet [Электронный ресурс] / Режим доступа:
<http://www.teralink.ru/?do=printt&id=2>, свободный (дата обращения: 26.09.2006).

93. Стандарты беспроводных сетей [Электронный ресурс] / Режим
доступа: <http://www.communet.ru/scs/wireless/standart.htm>, свободный (дата
обращения: 01.04.2011).

94. Функции канального уровня модели OSI [Электронный ресурс] /
Режим доступа: http://fizmat.vspu.ru/citforum/nets/tpns/glava_4.shtml, свободный
(дата обращения: 05.02.2008).

95. IEEE 802.11-1999 [Электронный ресурс] / Режим доступа:
<http://standards.ieee.org/reading/ieee/std/lanman/802.11-1999.pdf>, свободный (дата
обращения: 20.02.2007).

96. IEEE 802.11a-1999 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://standards.ieee.org/reading/ieee/std/lanman/802.11a-1999.pdf>, свободный (дата обращения: 20.02.2007).

97. IEEE 802.11b-1999 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://standards.ieee.org/reading/ieee/std/lanman/802.11b-1999.pdf>, свободный (дата обращения: 20.02.2007).

98. IEEE 802.11b-1999-2001 [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://standards.ieee.org/reading/ieee/std/lanman/802.11b-1999_Cor1-2001.pdf, свободный (дата обращения: 20.02.2007).

99. IEEE 802.11d-2001 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://standards.ieee.org/reading/ieee/std/lanman/802.11d-2001.pdf>, свободный (дата обращения: 20.02.2007).

100. IEEE 802.11F-2003 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://standards.ieee.org/reading/ieee/std/lanman/802.11F-2003.pdf>, свободный (дата обращения: 20.02.2007).

101. IEEE 802.11g-2003 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://standards.ieee.org/reading/ieee/std/lanman/802.11g-2003.pdf>, свободный (дата обращения: 20.02.2007).

102. IEEE 802.11h-2003 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://standards.ieee.org/reading/ieee/std/lanman/802.11h-2003.pdf>, свободный (дата обращения: 20.02.2007).

103. IEEE Std 802.11-1999 Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://pdos.csail.mit.edu/archive/decouto/papers/802.11a.pdf>, свободный (дата обращения: 22.02.2007).

104. IEEE Std 802.3-2002 Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications [Электронный ресурс]

/Режим доступа: http://standards.ieee.org/findstds/errata/802.3ae-2002_errata.pdf, свободный (дата обращения: 20.02.2007).

105. Johnson, E. Simulation of MIL-STD-187-721C automated HF networking [Электронный ресурс] / E. Johnson, R. Desourdis, M. Rader. – Режим доступа: http://tracebase.nmsu.edu/hf/papers/russian_npp.pdf, свободный (дата обращения: 05.03.2008).

106. Johnson, E. Fast propagations for HF network simulations [Электронный ресурс] / E. Johnson. - Режим доступа: <http://tracebase.nmsu.edu/hf/papers/milcom97.pdf>, свободный (дата обращения: 05.03.2008).

107. Johnson, E. Third-generation technologies for HF radio networking [Электронный ресурс] / E. Johnson. - Режим доступа: http://tracebase.nmsu.edu/hf/papers/3g_ale.pdf, свободный (дата обращения: 05.03.2008).

108. MIL-STD-188-141B. Interoperability and performance standards for medium and high frequency radio systems. DOD interface standard [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://militarycomms.tripod.com/mil-std-188-141-b>, свободный (дата обращения: 11.03.2008).

109. Xylan Corporation: Модель OSI [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.citforum.ru/nets/switche/osi.shtml>, свободный (дата обращения: 05.02.2008).

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Справка о внедрении

Республика Башкортостан
 Филиал Публичного акционерного общества
 «Акционерная нефтяная Компания «Башнефть»
 «Башнефть-Региональные продажи»
 450027, г. Уфа, Уфимское шоссе, д. 3 корп. Б
 Почтовый адрес: 426011, г. Ижевск,
 ул. Холмогорова, д. 3
 тел.: +7 3412 91-23-70, факс: +7 3412 91-23-75
 ИНН 0274051582
 www.bashneft.ru



Republic of Bashkortostan
 Branch of Public Joint Stock Oil Company Bashneft
 Bashneft-Regionalnie prodazhi
 3-B, Ufimskoye shosse St., Ufa, 450027
 Post address: 3, Kholmogorova St.,
 Izhevsk, 426011
 phone: +7 3412 91-23-70,
 fax: +7 3412 91-23-75
 TIN 0274051582
 www.bashneft.com

20.02.2016 № 74
 На № _____ от _____

В Диссертационный совет
 Д 212.065.06

Справка о внедрении

Настоящим подтверждаем, что диссертационное исследование Минина В.Е. на тему «Автоматическое управление правилами конкурентного доступа к среде информационного обмена» обладает высокой универсальностью применения и представляет практический интерес для решения задач автоматизации процессов управления. Отдельные результаты данной работы были высоко оценены на II Научно-технической конференции ПАО АНК «Башнефть» г. Уфа в 2015 г.

Результаты диссертационного исследования Минина В.Е. нашли свое применение в Филиале ПАО АНК «Башнефть» «Башнефть-Региональные продажи» в создании процедур автоматизированного анализа процессов реализации.

Директор Филиала



Н. В. Балдин

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Блок-схема алгоритма
функционирования имитационной модели

