

На правах рукописи

Бородулин Вячеслав Владимирович

УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕДАЧЕЙ ДАННЫХ  
В СИСТЕМАХ БЕСПРОВОДНОГО ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ  
РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

05.13.01 – системный анализ, управление  
и обработка информации (техника и технология)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Хабаровск – 2012

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Тихоокеанский государственный университет»

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент  
Березин Виктор Владимирович

Официальные оппоненты: Пустынский Иван Николаевич  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВПО «Томский государственный  
университет систем управления и  
радиоэлектроники», заведующий кафедрой  
телевидения и управления

Иванов Виктор Эдуардович  
кандидат технических наук,  
ФГБОУ ВПО «Тихоокеанский государственный  
университет», доцент кафедры  
«Автоматика и системотехника»

Ведущая организация – ОАО «Научно-инженерный центр  
электротехнического университета»

Защита состоится 30 мая 2012 г. в 15-00 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.294.05 в Тихоокеанском государственном университете по адресу: 680035, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136, ауд. 315<sup>Д</sup>.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Тихоокеанского государственного университета.

Автореферат разослан 27 апреля 2012 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Бурдинский Игорь Николаевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

*Актуальность темы.* Современные системы обработки визуальной информации могут включать в себя каналы беспроводной передачи данных. К таким системам, в частности, относятся охранные комплексы видеонаблюдения.

Большинство подобных систем построено на базе технологии IEEE 802.11. Развитие современных беспроводных технологий позволяет передавать по радиоканалу значительные объемы информации на скоростях, сопоставимых с передачей по проводным каналам связи. В то же время несложно показать низкое использование пропускной способности реальных беспроводных каналов связи. Технологически совершенствуется физический уровень: меняются способы модуляции, совершенствуются способы обработки сигналов и увеличиваются битовая скорость передачи и чувствительность приемника.

Развитие методов канального кодирования несколько отстает от развития методов кодирования физического уровня. Более того, при дальнейшем увеличении скорости передачи протокол управления доступом к среде становится узким местом всей системы, не позволяя получить ощутимый прирост пропускной способности даже при применении самых высокоэффективных технологий физического уровня. К примеру, максимальный теоретический процент использования пропускной способности канала для стандарта IEEE 802.11n с битовой скоростью 108 Мбит/с составляет 51 %.

Повысить данный показатель можно, применив принцип системного подхода к проектированию системы обработки визуальной информации. Наибольшую сложность в этом случае представляет проектирование канального уровня. При проектировании системы кодирования канального уровня необходимо решить задачу оптимального проектирования по выбору метода кодирования и его параметров.

Проблемам управления передачей данных в беспроводных сетях посвящено значительное количество исследований. Среди наиболее известных трудов, посвященных этим проблемам, следует отнести работы российских и зарубежных ученых: А. В. Винеля, В. М. Вишневого, А. И. Ляхова, А. П. Мощевикова, В. Столлингса, И. В. Шахновича.

**Цель работы:** повышение эффективности управления передачей данных в системах беспроводного видеонаблюдения реального времени.

Для достижения поставленной цели решаются следующие **задачи**:

1. Разработка алгоритмов управления передачей видеоизображений реального времени и исследование их эффективности.
2. Разработка и создание элементов управления системы беспроводного видеонаблюдения реального времени.
3. Анализ и реализация программно-алгоритмического обеспечения управления передачей данных для добавления возможности формирования MAC-кадров большой длины по каналу специализированного приемопередатчика стандарта IEEE 802.15.4a (nanoNET).

**Методы исследований** основаны на применении теории системного анализа, теории вероятности и случайных процессов, статистической теории связи, теории помехоустойчивого кодирования, вычислительной математики и имитационного моделирования.

**Научная новизна работы.**

1. Получена зависимость эффективной скорости передачи данных от системных ограничений и характеристик канала с помехами, управление которым основано на применении метода автоматического запроса повторной передачи ARQ.
2. Предложен и исследован алгоритм фрагментации пакетов видеоданных и управления их передачей, модифицирующий метод ARQ.
3. Определены значения параметров известных алгоритмов адаптивного помехоустойчивого кодирования в системе видеонаблюдения для достижения максимальной эффективной скорости передачи изображений при заданной ошибке.
4. Предложена методика визуализации видеоизображения и формула для расчёта количества слоёв частотной составляющей видеоизображения, кодируемого прогрессивным кодером.

**Практическая ценность результатов работы.**

1. Установлен размер пакета, позволяющий достигать максимальной эффективной скорости передачи данных методом ARQ в канале с помехами.

2. Применение разработанного алгоритма фрагментации пакетов к методу ARQ позволяет увеличить эффективную скорость передачи данных для систем беспроводного видеонаблюдения.

3. Вычислены параметры фрагментации пакета, позволяющие достигать максимальной эффективной скорости передачи данных при известном коэффициенте битовой ошибки в канале.

4. Увеличение скорости и качества передачи видеоизображений в заданных временных ограничениях позволяет создавать телевизионно-компьютерные системы на основе стандартных интерфейсов передачи данных по беспроводным каналам, что дает возможность унифицировать аппаратно-программное обеспечение.

5. Разработано и исследовано программно-аппаратное обеспечение системы беспроводной передачи изображений. Повышена в два раза скорость передачи по протоколу nanoNET.

6. Получены сравнительные результаты скорости передачи данных и помехоустойчивости для ряда беспроводных технологий управления и передачи изображений. Подготовлены рекомендации разработчикам систем беспроводной передачи данных.

7. Применение видеоизображений, сжатых прогрессивным кодером, позволяет нормировать частоту кадров видеоинформации и может быть применено в устройствах с новыми физическими принципами визуализации данных.

8. Результаты работы внедрены и используются на практике, что подтверждено соответствующими актами. Основные результаты получены в ходе выполнения НИР «Разработка и исследование телевизионно-компьютерной системы высокого разрешения» (шифр «ТВКС-НИИТ»), «Разработка и создание экспериментального образца комплекта цифровой видеокамеры с кодированием изображения формата JPEG2000».

Практические результаты работы представлялись на различных выставках, за что были получены награды, в том числе Диплом I степени (с вручением золотой медали) на выставке «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции (промышленные инновации)» в Санкт-Петербурге, 2009.

***Положения, выносимые на защиту.***

1. Алгоритм управления передачей данных в системах беспроводного видеонаблюдения методом ARQ с применением фрагментации пакета.
2. Модель и результаты моделирования канала, управляемого методом ARQ.
3. Программное обеспечение управления каналом передачи данных методом ARQ с применением алгоритма формирования MAC-кадров большой длины по протоколу panONET.
4. Результаты экспериментальных исследований алгоритма управления каналом передачи данных по протоколу panONET.

***Апробация результатов работы.*** Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались:

- на конференции-конкурсе научных работ молодых ученых Тихоокеанского государственного университета (Хабаровск, 2009);
- одиннадцатом краевом конкурсе молодых ученых и аспирантов (Хабаровск, 2009);
- межрегиональной научно-практической конференции «Информационные и коммуникационные технологии в образовании и научной деятельности» (Хабаровск, 2009);
- III конкурсе-конференции научных работ молодых ученых Тихоокеанского государственного университета (Хабаровск, 2010);
- 8-й Международной конференции «Телевидение: передача и обработка изображений» (Санкт-Петербург, 2011).

***Публикации и личный вклад автора.*** По теме диссертации опубликовано 11 научных работ, из которых 2 входят в Перечень ведущих рецензируемых журналов и изданий ВАК РФ. Все результаты, представленные в диссертационной работе и имеющие научную новизну, получены автором лично или при его участии в работе научной группы, руководимой д.т.н., доцентом В. В. Березиным.

На систему беспроводной передачи видеоизображений получен патент на полезную модель РФ. На программное и программно-аппаратное обеспечение для быстродействующей передачи видеоизображения в составе беспроводной

телевизионной камеры получены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка использованной литературы, включающего 121 наименование и 6 приложений. Основная часть работы изложена на 114 страницах машинописного текста, содержит 36 рисунков и 15 таблиц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность темы, характеризуется научная новизна и методы исследования, приводятся основные теоретические и практические результаты, формулируются выносящиеся на защиту положения, цели и задачи диссертационного исследования.

**В первой главе**, имеющей обзорный характер, рассмотрены особенности беспроводной передачи видеоизображений и проведен анализ требований к системе беспроводной передачи видеоизображений реального времени.

При синтезе любой системы связи разработчик находится в условиях ограничений. Систему ограничений можно рассмотреть на примере опорной триады: априорная информация – ограничения – критерий качества, где априорная информация – это спектр сигнала и шума; критерий качества – это ограничение при вычислении энтропии; ограничения на кодер, декодер: сложность, мощность, задержка и т. д.

В соответствии с данной концепцией разработка системы беспроводной передачи видеоизображений является сложной системной задачей.

В системах передачи видеопотока в реальном времени кодирование и воспроизведение видео происходит с постоянной частотой кадров. При отсутствии данных на декодере на момент их показа (в силу ошибок или задержки при передаче) на экране отображается черный блок изображения. Для уменьшения вероятности такого события до приемлемого уровня возможно применять передачу сжатых данных с различными приоритетами и алгоритмы повтора передачи с подтверждением доставки. Следовательно, необходимо решать следующие задачи:

– создание системы передачи сжатого видео в реальном времени по ра-

диоканалу связи с изменяющейся пропускной способностью;

– выбор оптимальных параметров сжатия и передачи (PSNR, размер пакета, размер блока данных).

Показана возможность применения помехоустойчивого кодирования для обеспечения неравномерной защиты передаваемого потокового видео по сети Интернет и беспроводной сети (на примере сети мобильной связи 3G). Показана возможность применения механизма автоматического запроса повторной передачи для гарантирования целостности доставляемых видеоизображений.

*Эффективность методов канального кодирования.* Под эффективной скоростью передачи символов данных понимается скорость передачи символов данных, определяемая отношением числа символов, принятых получателем данных, к общему времени передачи.

Введем понятие эффективности канального кодирования и вычислим соответствующий коэффициент  $K_{\text{эф}}$ :

$$K_{\text{эф}} = \frac{T_{\text{д}}}{T_{\text{д}} + T_{\text{у}}}, \quad (1)$$

где  $T_{\text{д}}$  – время, затраченное на передачу данных (под полезными данными понимаются данные, передаваемые приложением, то есть информация прикладного уровня);  $T_{\text{у}}$  – время, в течение которого по каналу передается управляющая информация или выдерживаются определенные задержки, то есть канал используется для реализации алгоритма управления передачей данных.

*Оценка эффективности методов канального кодирования по критерию гарантированной эффективной скорости.* В системах передачи данных, а также для систем и устройств передачи видеоизображений и команд управления в реальном времени по радиоканалу регламентируется минимальная допустимая скорость передачи и граничное (максимальное, наиболее худшее) значение коэффициента битовых ошибок (BER) канала, при котором система должна функционировать.

В результате системного анализа проблемы установлено следующее:

– для исследования проблемы передачи видеоизображений по радиоканалу необходимо решить следующие задачи: применение помехозащищенного кодирования и метода повторной передачи, выбор оптимальной длины пакета, изменение физического уровня протокола (мощность передатчика, чувстви-



тельность приемника);

- для улучшения характеристик разрабатываемой системы необходимо использовать свойство кодека прогрессивного декодирования;

- оценка качества передаваемых изображений может быть произведена двумя способами: субъективной экспертной оценкой и объективной оценкой посредством математического анализа изображения;

- основная возможность для увеличения пропускной способности – это модификация MAC-подуровня интерфейса, так как именно на этот подуровень приходится наибольшие накладные расходы.

*Во второй главе* приведены результаты экспериментальных исследований характеристик канала nanoNET, информационных потоков JPEG2000.

*Экспериментальное получение характеристик канала и передаваемого потока данных.* Для разработки алгоритма управления передачей данных необходимо знать характеристики применяемого канала, а также характер данных. Наиболее полно данные характеристики можно определить только экспериментально.

Наиболее важными характеристиками любого радиоканала являются BER и закон распределения ошибок. Для получения этих характеристик разработано специальное программно-аппаратное обеспечение, которое отслеживает и регистрирует возникающие ошибки в канале связи. На рис. 1 отображена зависимость BER от расстояния между станциями и выходной мощности передатчика, снимаемой с усилителя.

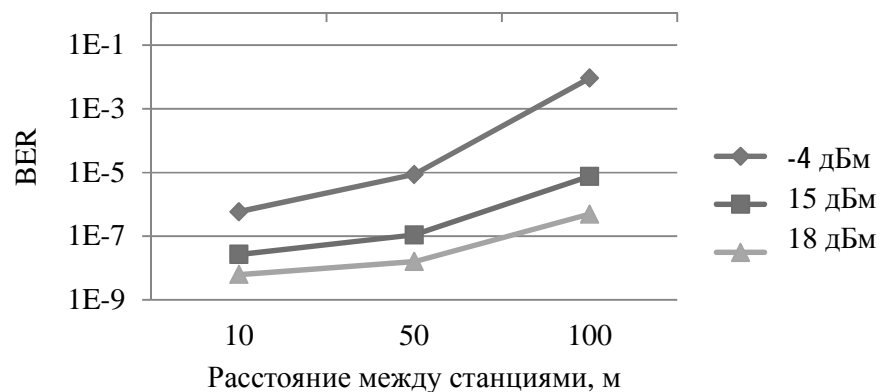


Рис. 1. Зависимость BER от расстояния между станциями и выходной мощности передатчика

Анализируя экспериментальные данные по определению зависимости битовых ошибок между собой, можно отметить, что большое количество ошибок отстоит друг от друга на 1–2 бита. Это говорит об определенной зависимости ошибок между собой. Частично данную зависимость можно объяснить тем, что при использовании линейно-частотной модуляции, применяемой в nanoNET, одним символом модулируется два бита.

Для получения экспериментальных данных о помехозащищенности передаваемого изображения формата JPEG2000 разработано программное обеспечение имитационного моделирования. Основная функция программного обеспечения – внесение искажений в изображение в соответствии с полученными экспериментальными характеристиками канала передачи данных, а также объективная и субъективная оценка степени повреждения изображения.

*Визуализация видеоизображений.* Основываясь на том, что при прогрессивном декодировании изображения его можно выводить отдельными слоями, предлагается применять принципиально новое устройство вывода изображения. Устройство отображения является аддитивным и выводит изображение послойно с постепенным увеличением качества, то есть физический принцип работы устройства должен позволять выводить изображение разного качества за разное время. Это даст возможность оптимизировать энергозатраты на визуализацию изображения.

Необходимо отметить, что все известные сегодня устройства вывода изображений работают последовательно: они выводят друг за другом отдельные пиксели или строки пикселей конечного изображения на экран.

В настоящее время свойство прогрессивного декодирования применяется при визуализации изображений в веб-браузерах. Там последовательно выводятся слои изображения на экран пользователя. При этом изображение каждый раз перерисовывается с постепенным увеличением качества.

*Методика визуализации видеоизображения.* Исходное изображение сжимается прогрессивным кодером изображения с коэффициентом  $k$ , с формированием  $K$  слоев изображения, эти параметры могут быть рассчитаны в зависимости от требований, предъявляемых к визуализации. Если принять во внимание лишь требование того, что для глаза не должно быть заметно мерцания, то

определить количество слоев можно следующей формулой:

$$K = (\beta - F_k + F_{кр})\tau, \quad (2)$$

где  $\beta = 1$  Гц – константа;  $F_k$  – заданная частота кадров;  $F_{кр}$  – критическая частота мерцания человеческого глаза;  $\tau = 1$  с – константа.

Предложенная формула (2) имеет следующее обоснование: количество слоев изображения, выводимого на экран, не должно превышать величины, определяемой критической частотой мерцания для человеческого глаза. Также нет необходимости выводить кадры с частотой, выше критической частоты мерцания, и вследствие этого максимальное количество слоев тоже ограничено.

**В третьей главе** приводится описание авторских алгоритмов управления передачей данных для беспроводной системы видеонаблюдения. Для сравнения алгоритмов описывается эталонная модель метода ARQ на примере протокола nanoNET. Вычислены оптимальные параметры протокола nanoNET для метода ARQ и для его предложенной модификации.

Время передачи полезных данных  $T_D$  для алгоритма повторной передачи в реализации nanoNET определяется следующим образом:

$$T_D = L_{DD} \cdot T_B, \quad (3)$$

где  $L_{DD}$  – битовая длина поля данных пакета данных;  $T_B$  – длительность одного битового интервала.

Время  $T_U$  для алгоритма повторной передачи в реализации nanoNET определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} T_U = & (L_{PRE} + L_{SYN} + L_{TAIL} + L_{DH} + L_{DS} + L_{PRE} + L_{SYN} + L_{TAIL} + L_{AH} + L_{AS}) \times \\ & \times T_B + T_{МКИ} + T_{ИПК} = (2(L_{PRE} + L_{SYN} + L_{TAIL}) + L_{DH} + L_{DS} + L_{AH} + L_{AS}) \times \\ & \times T_B + T_{МКИ} + T_{ИПК}, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $L_{PRE}$  – битовая длина преамбулы пакета;  $L_{SYN}$  – битовая длина слова синхронизации пакета;  $L_{TAIL}$  – битовая длина конца пакета;  $L_{DH}$  – битовая длина заголовка пакета данных;  $L_{DS}$  – битовая длина контрольной суммы пакета данных;  $L_{AH}$  – битовая длина заголовка пакета подтверждения;  $L_{AS}$  – битовая длина поля контрольной суммы пакета подтверждения;  $T_B$  – длительность одного битового интервала;  $T_{МКИ}$  – длительность межкадрового временного интервала, предвещающего передачу пакета данных;  $T_{ИПК}$  – задержка на переключение между приемом последнего бита пакета данных и отправкой первого бита пакета под-

тверждения.

В соответствии с формулой (1) и документацией на протокол nanoNET  $K_{ЭФ}$  определяется следующим образом:

$$K_{ЭФ} = \frac{L_{DD}}{L_{DD} + L_{DS} + L_{AS} + 468}. \quad (5)$$

Вероятность  $P_{DA}$  безошибочной передачи одного пакета с подтверждением определяется следующей формулой:

$$P_{DA} = P_D \cdot P_A, \quad (6)$$

где  $P_D$  – вероятность того, что пакет данных не будет поврежден;  $P_A$  – вероятность того, что пакет подтверждения не будет поврежден.

Коэффициент эффективности канального кодирования при наличии помех  $K_{ЭФП}$  определяется следующим выражением:

$$K_{ЭФП} = K_{ЭФ} \cdot P_{DA} = \frac{L_{DD}(1 - BER)^{L_{DD}+L_{DS}+L_{AS}+404}}{L_{DD} + L_{DS} + L_{AS} + 468}. \quad (7)$$

*Алгоритмы управления передачей данных для систем беспроводного видеонаблюдения.* Основная идея заключается в том, чтобы разбить один кадр данных на несколько фрагментов и высылать подтверждение на каждый из фрагментов одним пакетом. При этом увеличение производительности может быть достигнуто за счет уменьшения накладных расходов на передачу заголовка сообщения.

Предлагается две реализации алгоритма: с повторной передачей только поврежденных фрагментов и передачей всего кадра целиком.

*Алгоритм фрагментации с повторной передачей поврежденных фрагментов.* Краткая последовательность действий передающей стороны заключается в следующем:

1. Весь видеокادر разбивается на слои, содержащие различные частотные составляющие изображения.

2. Каждый слой изображения разбивается на несколько фрагментов, для каждого из которых высчитывается контрольная сумма.

3. Слои изображения упаковываются в MAC-кадры (рис. 2).

4. MAC-кадр передается по физическому интерфейсу.

5. После передачи MAC-кадра передатчик ожидает пакет подтверждения

о принятии данных. В пакете подтверждения приемник указывает номера фрагментов с некорректными контрольными суммами. В следующем MAC-кадре передатчик передает поврежденные фрагменты повторно, вместе со следующими фрагментами.

6. Если истекло время, отведенное на передачу кадра, то нужно закончить передачу текущего кадра и перейти к п. 8.

7. Если видеокадр не передан полностью, необходимо перейти к п. 3.

8. Конец передачи видеокадра.

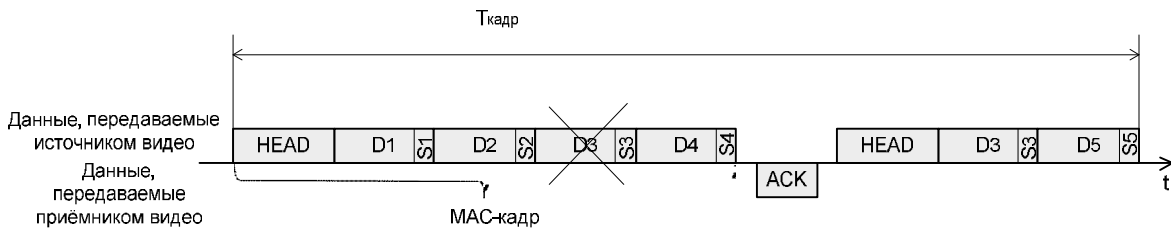


Рис. 2. Временная диаграмма алгоритма повторной передачи

*Алгоритм фрагментации с повторной передачей всего кадра.* Алгоритм повторной передачи можно модифицировать иным способом. Полезные данные MAC-кадра разбиваются на фрагменты со своими контрольными суммами аналогично описанному выше подходу. В случае повреждения одного или нескольких фрагментов MAC-кадра приемник сообщает их номера пакетом-подтверждением, а передатчик отправляет весь MAC-кадр повторно. Если в результате повторной передачи из неповрежденных фрагментов можно собрать весь MAC-кадр, то передача считается успешной, иначе процесс повторной передачи повторяется до тех пор, пока не будет получен целый MAC-кадр.

Очевидным недостатком этого алгоритма по сравнению с предложенным выше является то, что при повторной передаче передается не только поврежденный фрагмент, но и целые фрагменты. Это увеличивает его избыточность. Однако неоспоримым преимуществом данного алгоритма управления передачей является скорость его аппаратной реализации.

*Эффективность метода ARQ с применением алгоритма фрагментации.* Коэффициент эффективности канального кодирования  $K_{\text{эфф}}$  для алгоритма повторной передачи с фрагментацией при наличии помех определяется так:

$$K_{\text{ЭФПФ}} = K_{\text{ЭФ2}} P_{\text{DAF}} = \frac{L_{\text{FR}} N (1 - \text{BER})^{L_{\text{DHF}} + L_{\text{FR}} + L_{\text{FS}} + L_{\text{AF}} + 404}}{L_{\text{DHF}} + N(L_{\text{FR}} + L_{\text{FS}}) + L_{\text{AF}} + 468}, \quad (8)$$

где  $K_{\text{ЭФ2}}$  – коэффициент эффективности канального кодирования для алгоритма фрагментации;  $P_{\text{DAF}}$  – вероятность того, что фрагмент кадра не будет потерян (фрагмент не поврежден и не поврежден пакет подтверждения на него);  $L_{\text{FR}}$  – битовая длина фрагмента данных;  $N$  – количество фрагментов в одном пакете;  $L_{\text{DHF}}$  – размер дополнительного заголовка в пакете данных для реализации алгоритма фрагментации;  $L_{\text{FS}}$  – размер контрольной суммы фрагмента;  $L_{\text{AF}}$  – размер дополнительной части пакета подтверждения для реализации алгоритма фрагментации.

На рис. 3 приведена зависимость коэффициента эффективности канального кодирования для алгоритма фрагментации при наличии помех в канале от BER при различных соотношениях размера и количества фрагментов.

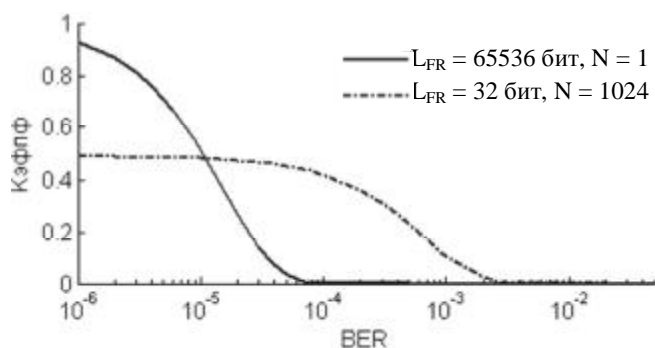


Рис. 3. Зависимость коэффициента эффективности от величины BER при различных значениях размера фрагмента

*Преимущество предложенного алгоритма фрагментации.* На основе описанных моделей рассчитаны оптимальные значения системы управления передачей данных при различных значениях BER. Построены графики зависимости коэффициента эффективности от значения BER (рис. 4).

Из результатов моделирования можно сделать следующие выводы:

- значение  $K_{\text{ЭФП}} = 0,7$  метод ARQ без фрагментации покажет при  $\text{BER} = 6\text{E-}5$ , метод ARQ с фрагментацией покажет при  $\text{BER} = 2,6\text{E-}4$ , то есть диапазон допустимой величины BER для метода ARQ с фрагментацией гораздо шире;

- при величине  $\text{BER} = 2,6\text{E-}4$  значение  $K_{\text{ЭФП}}$  для метода ARQ с фрагментацией равно 0,7, для метода ARQ без фрагментации значение  $K_{\text{ЭФП}}$  равно 0,38, то есть в 1,8 раза хуже.

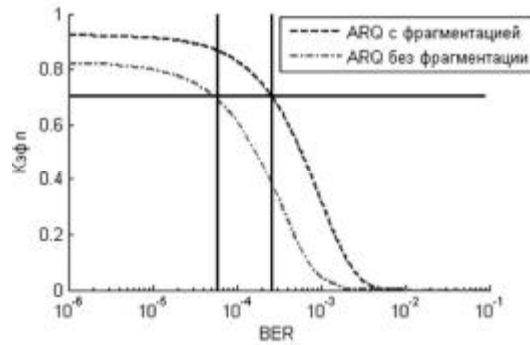


Рис. 4. Эффективность различных методов ARQ

Таким образом, можно сделать вывод, что метод ARQ с применением фрагментации обеспечивает более высокий коэффициент эффективности канального кодирования во всем моделируемом диапазоне величины BER.

*В четвертой главе* отражен процесс разработки экспериментального образца системы беспроводного видеонаблюдения, а также приведены результаты экспериментальных исследований предложенных алгоритмов.

Для оценки предложенных алгоритмов управления передачей данных и их моделей решено разработать, создать и исследовать программно-аппаратное обеспечение элементов системы беспроводного видеонаблюдения реального времени.

Показано, что для реализации аппаратного обеспечения радиоканала системы беспроводного видеонаблюдения целесообразно использовать оборудование стандарта IEEE 802.15.4a (nanoNET).

Для доставки видеоизображений от беспроводного устройства на терминал пользователя предложено использовать два подходящих интерфейса: Ethernet 100 Мбит/с и USB 2.0 Full Speed (12 Мбит/с). Для оценки сложности реализации программного обеспечения интерфейсов Ethernet и USB, а также их реально достижимой эффективной скорости разработан экспериментальный образец системы на базе микропроцессорного стенда ATMEL EVK1100.

*Эксперимент.* Передача пакетов длиной  $L_{DD}$  от 128 до 8192 байт. Расстояние между станциями – 50 м (рис. 5). Эффективная скорость передачи данных по протоколу nanoNET отложена по оси ординат, размер пакета – по оси абсцисс.

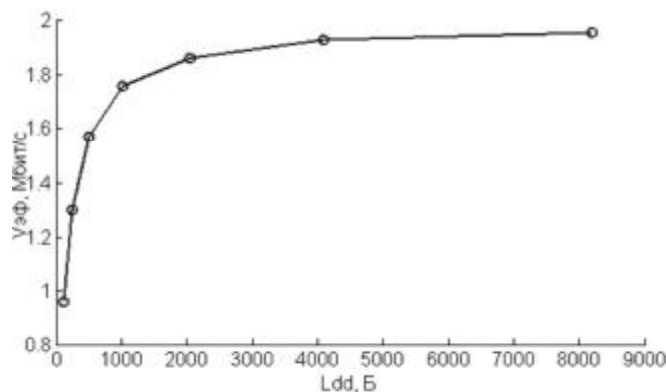


Рис. 5. Эффективная скорость передачи данных nanoNET

На приведенном на рис. 5 графике, исходная точка анализа и модернизации аппаратно-программного обеспечения соответствует эффективной скорости передачи – 0,96 Мбит/с. В результате проведенного диссертационного исследования и разработки программного обеспечения суммарным объемом свыше 6 тыс. строк оптимизированного кода, скорость передачи была повышена до 1,96 Мбит/с.

Для осуществления экспериментальных исследований с передачей изображений, кодируемых прогрессивным кодером, разработана структура аппаратно-программного обеспечения на основе видеосистемы на кристалле.

**В приложении** приведены справочные материалы по теме работы, исходные тексты программ и акты о внедрении результатов диссертационной работы.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В диссертационной работе достигнута обозначенная цель посредством решения поставленных задач. По окончании проведенного исследования получены шесть основных результатов:

1. Разработана модель канала с помехами, управление передачей данных в котором основано на применении метода ARQ.
2. Разработан и исследован алгоритм фрагментации пакетов для управления передачей данных в системах беспроводного видеонаблюдения.
3. Разработан и исследован алгоритм применения известных методов адаптивного помехоустойчивого кодирования для управления передачей данных в системах беспроводного видеонаблюдения.



4. Обоснован и реализован алгоритм формирования MAC-кадров протокола nanoNET.

5. Измерены практические характеристики канала nanoNET и проведены сравнительные испытания с другими беспроводными технологиями.

6. Теоретические и экспериментальные исследования файлового потока JPEG2000 показали, что изображение разбивается на слои, содержащие различные частотные составляющие изображения.

По результатам работы сделаны следующие выводы:

1. Показана возможность увеличения более чем в два раза эффективной скорости передачи по каналу специализированного приемопередатчика nanoNET.

2. Применение разработанного алгоритма фрагментации пакета к методу ARQ для систем беспроводного видеонаблюдения позволяет увеличить эффективную скорость передачи по каналу специализированного приемопередатчика nanoNET почти в 2 раза.

3. Применение адаптивного помехоустойчивого кодирования позволяет эффективно управлять передачей данных в системе беспроводного видеонаблюдения в канале с коэффициентом битовой ошибки не выше  $10^{-2}$ .

4. Применение разработанного алгоритма формирования MAC-кадров протокола nanoNET позволяет в два раза повысить скорость передачи видеозображений при коэффициенте битовой ошибки не хуже, чем  $10^{-5}$ .

5. Устойчивая связь (BER не хуже, чем  $10^{-6}$ ) по каналу nanoNET на расстояниях свыше 100 м возможна при использовании штыревых антенн и выходной мощности усилителя 18 дБм.

6. Отказ в формате файла JPEG2000 от растровой структуры изображения позволяет предполагать появление иных физических принципов визуализации изображений.

## **ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**1. Бородулин В. В. Быстродействующие радиointерфейсы передачи видеоданных / В. В. Бородулин // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2008. – № 4 (11). – С. 215–224.**

2. **Бородулин В. В.** Протокол управления видеокамерой и передачи видеоизображений по радиоканалу / В. В. Бородулин // Вестник Тихоокеанского государственного университета. –2010. – № 4 (19). – С. 41–44.
3. Система беспроводного видеонаблюдения: пат. на полезную модель № 90638 Рос. Федерация : МПК<sup>7</sup> Н 04 Н 5/232 / Березин В. В., Бобровский А. И., **Бородулин В. В.**, Цыцулин А. К. – № 2009111756/224 ; заявл. 30.03.2009 ; опубл. 10.01.2010, Бюл. № 1. – 2 с.
4. Программное обеспечение для быстродействующей передачи видеоизображения в составе беспроводной телевизионной камеры : свид. 2009612326 Рос. Федерация / Березин В. В., **Бородулин В. В.**, Фахми Ш. С. – 2009611101 ; заявл. 18.03.2009 ; опубл. 7.05.2009.
5. Аппаратно-программное обеспечение системы на кристалле для быстродействующей передачи изображений : свид. 2010615985 Рос. Федерация / Березин В. В., **Бородулин В. В.**, Зинкевич А. В., Фахми Ш. С., Шоберг А. Г. – 2010614352 ; заявл. 19.07.2010 ; опубл. 13.09.2010.
6. **Бородулин В. В.** Сравнительные характеристики алгоритмов расчета CRC16 последовательным и табличным способом на примере микроконтроллера AVR / В. В. Бородулин // Современная электроника. – 2008. – № 2. – С. 74–76.
7. **Borodulin V. V.** Capture Techniques Capable of High Dynamic Range Image / V. V. Borodulin, V. A. Mukha, E. V. Mikhailov // First Russia and Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RussiaPacificComputer 2010) 6 – 9 September, 2010 Russian Academy of Sciences, Far Eastern Branch – Vladivostok, Russia. – P. 225–227.
8. **Бородулин В. В.** Применение микроконтроллера AVR32UC3. Модуль Ethernet MAC / В. В. Бородулин, А. В. Шитиков // Современная электроника. – 2010. – № 2. – С. 66–69.
9. **Бородулин В. В.** Методы формирования видеоизображений высокого динамического диапазона / В. В. Бородулин // Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова. 13-ая Международная конференция «Цифровая обработка сигналов и её применение – DSPA – 2011»: Доклады. Выпуск: XIII 2.– М: ООО «Информпресс–94», 2011.– С. 106–109.

Бородулин Вячеслав Владимирович

**УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕДАЧЕЙ ДАННЫХ  
В СИСТЕМАХ БЕСПРОВОДНОГО ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ  
РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано в печать 24.04.2012. Формат 60×84/16.

Усл. печ. л. 1,1. Тираж 100. Заказ 108.

Отдел оперативной полиграфии издательства  
Тихоокеанского государственного университета  
680035, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136