

Решетников Виктор Владиславович

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ РЕЧЕВОГО
СИГНАЛА ПО ЦИФРОВЫМ КАНАЛАМ СВЯЗИ
НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ СТАНДАРТА GSM

Специальность: 05.13.17 – Теоретические основы информатики

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Решет.

Москва 2006

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете имени Н.Э.Баумана

Научный руководитель: кандидат технических наук,
доцент Дядюнов А.Н.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Логвин А.И.
кандидат технических наук,
Фархадов М.П.

Ведущая организация: ООО "Си Ти Ай"

Заш _____ " _____ 200_ г. на
заседании _____
государств Решетников В.В. 2.141.10 при Московском
107005 г. Автоматическая оценка ени Н.Э.Баумана по адресу:
107005 г. качества передачи речевого сигнала по цифровому каналу связи

У 1758018

/ им.

Н

ВОЗВРАТИТЕ КНИГУ НЕ ПОЗЖЕ
обозначенного здесь срока

Н:

ЛОСИМ

В

1054

Актуальность проблемы

В большинстве исследований помехозащищенности радиосвязи обычно за критерий помехозащищенности принимается величина отношения интегральных значений сигнала и помехи на выходе приемного устройства либо значение вероятности ошибки в канале на символ (для цифровых каналов связи). Такая величина может служить достаточным критерием для высококачественных трактов вещания или для трактов, в которых конечным приемником является тот или иной прибор, реагирующий на разность интегральных значений сигнала и помехи. Для телефонных трактов такая оценка не может являться достаточной, так как окончательным приемником информации является человек.

В настоящее время для потребителя голосовой услуги основным критерием оценки качества телефонного тракта служит величина разборчивости речи. Разборчивость речи не является единственным критерием оценки качества телефонной связи, но для большинства практических случаев считается достаточным.

Безусловно, что и оценка качества помехозащищенности цифрового телефонного тракта сотовой связи также может и должна производиться по величине разборчивости речи.

Другие оценки помехозащищенности для телефонных трактов дают лишь приближенные данные, а в отдельных случаях могут оказаться слишком далекими от действительности и даже неверными.

Цель и задачи диссертации

Цель работы: разработка критериев оценки качества речи, передаваемой по цифровым каналам связи, определение разборчивости речи от уровня помех в канале связи на примере речевого канала цифровой сотовой системы телефонной связи стандарта GSM-900/1800.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие основные задачи:

1. Исследование процедур оценки качества речи, определение зависимостей между различными методами оценки качества речи.
2. Оценка состояния канала связи, а именно: рассмотреть различные виды помех, присутствующие в канале связи, определить источники помех, оказывающие значительное влияние на передаваемый сигнал и оценить степень их влияния. При организации широкоразветвленной сети сотовой связи, то есть при использовании большого количества базовых и мобильных станций на ограниченных площадях, возможны взаимные помехи от станций текущей соты, а также от станций соседних сот. Ввиду этого, для наиболее точного определения ряда данных, необходимых для эксплуатации, в частности данных о максимально допустимых размерах соты и минимальном расстоянии между сотами,

использующими одинаковые частотные каналы, необходимо определить помехозащищенность канала связи с учетом вероятных шумов и помех.

3. Разработка программной модели речевого канала цифровой сотовой системы телефонной связи стандарта GSM-900/1800, включающую все этапы преобразования сигнала, с возможностью их отключения для проведения исследований: уменьшение избыточности речи, кодирование циклическим кодом, кодирование сверточным кодом, перемежение, шифрование. Необходимо определить эффективность процедур кодирования и перемежения и их влияние на качество речи.

Важнейшей задачей данной работы является определение зависимости разборчивости речи от уровня помех. Для этого был использован экспериментальный метод измерения разборчивости речи (артикуляции) согласно ГОСТ Р 50840-95. Так как проведение подобных измерений в реальной сети громоздко и неудобно, то для исследования применялась специально созданная программная модель речевого канала системы сотовой телефонной связи стандарта GSM-900/1800, которая будет подробно рассмотрена далее. Эта модель позволяет воспроизводить условия работы речевого канала системы сотовой телефонной связи стандарта GSM-900/1800 при различных ошибках в канале связи. Также, модель позволяет включать/отключать используемые в стандарте GSM-900/1800 процедуры кодирования и перемежения, что позволило определить не только помехозащищенность телефонного канала в целом, но и помехоустойчивость каждой процедуры кодирования и перемежения.

Методы исследования

Поставленные задачи решены с использованием моделирования информационных систем, теории случайных процессов, теории дискретной передачи аналоговых сигналов, теории помехоустойчивого кодирования, теории шифрования, акустики.

Научная новизна

Создана программная модель передачи данных стандарта GSM. Произведена оценка зависимости субъективного качества речи от коэффициента сжатия речевого кодека, используемого в стандарте GSM. Произведена оценка эффективности алгоритмов помехоустойчивого кодирования, используемых в системе связи GSM с точки зрения влияния на субъективное качество речи.

Впервые определена зависимость между значением объективной оценки качества речи и субъективной оценки разборчивости речи.

Впервые произведена оценка субъективного качества речи, переданной по каналу связи стандарта GSM в зависимости от вероятности ошибки в канале связи и закона распределения ошибок в канале связи.

Практическая значимость

Модель позволяет разработчикам изменять помеховую обстановку в канале при моделировании системы связи.

Модель позволяет отключать и/или изменять этапы преобразования сигнала, что позволяет исследовать существующие и новые алгоритмы сжатия и помехоустойчивого кодирования речевого сигнала.

Использование зависимости между объективными и субъективными оценками качества речи позволяет разработчикам цифровых телефонных сетей связи и службам технической поддержки оценивать субъективное качество речи с меньшими трудозатратами.

Найденная зависимость между вероятностью ошибки в канале связи стандарта GSM и значением субъективной оценки качества речи позволяет разработчикам сетей стандарта GSM и службам технической поддержки оценивать субъективное качество речи по величине вероятности ошибки в канале связи.

Положения, выносимые на защиту

1. Анализ субъективных и объективных оценок качества речи.
2. Оценка состояния канала связи стандарта GSM.
3. Оценка зависимости субъективного качества речи от коэффициента сжатия речевого кода, используемого в стандарте GSM.
4. Оценка эффективности алгоритмов помехоустойчивого кодирования, используемых в системе связи GSM с точки зрения влияния на субъективное качество речи.
5. Оценка субъективного качества речи, переданной по каналу связи стандарта GSM в зависимости от вероятности ошибки в канале связи и закона распределения ошибок в канале связи.

Внедрение

Результаты диссертационной работы использованы при тестировании каналов связи в НПО им. С.А. Лавочкина, а также в учебном процессе кафедры ИУ-3 МГТУ им. Н.Э.Баумана, что подтверждено соответствующими актами о внедрении.

Публикации

По материалам диссертации опубликованы две научные статьи.

Объем и структура работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы. Основной текст диссертации изложен на 174 страницах. Список литературы включает 87 наименований. Работа содержит 57 рисунков и 18 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи научных исследований. Приведено краткое содержание по главам.

В первой главе произведен анализ состояния канала связи, рассмотрены различные виды помех, препятствующие качественному приему радиосигналов. Можно сделать вывод, что основными источниками помех для радиосигналов систем мобильной связи на частотах 900-1800 МГц, значительно затухающего с расстоянием, являются: помехи от соседних частотных каналов и помехи от соседних базовых станций.

Влиянием индустриальных и атмосферных помех на радиосигналы на частотах 900-1800 МГц можно пренебречь, так как данные виды помех присутствуют на более низких частотах (50 Гц – 100 МГц). Затуханием радиосигнала из-за присутствия кислорода и водяных паров в атмосфере также можно пренебречь, так как этот эффект начинает оказывать значительное влияние на частотах более 10 ГГц.

Таким образом, при моделировании помеховой обстановки для радиосигналов систем мобильной связи на частотах 900-1800 МГц, влияние индустриальных и атмосферных помех можно не учитывать.

Затухание радиосигнала от расстояния, искажения сигналов, обусловленные хаотическим изменением коэффициента передачи физической среды, в которой распространяется сигнал, приводит к появлению независимых ошибок при передаче цифрового сигнала в системе связи.

Взаимные помехи могут приводить к появлению как одиночных, так и групповых ошибок при передаче цифрового сигнала.

При оценке влияния взаимных помех использовался метод приведения помехи с произвольным спектром к помехе с равномерным спектром типа "белый шум" и был произведен расчет отношения сигнал/шум для эквивалентной помехи с равномерным спектром. Таким образом, для определения вероятности ошибки сигнала будем пользоваться кривыми помехоустойчивости, рассчитанными для помех с равномерным спектром типа "белый шум". Произведен расчет помехоустойчивости приема частотно модулированного сигнала.

Во второй главе описаны особенности восприятия звука человеком, подробно описана программная модель речевого канала, разработанная для определения влияния процедур кодирования на качество речи. Модель включает следующие процедуры с возможностью их отключения:

- Уменьшение избыточности речи в речевом кодеке
- Кодирование циклическим кодом для обнаружения ошибок в наиболее важных разрядах
- Кодирование сверточным кодом для борьбы с одиночными ошибками
- Перемежение для преобразования пакетов ошибок в одиночные ошибки
- Шифрование для защиты от несанкционированного доступа
- Формирование кадра
- Передача сигнала в канал связи

- Прием сигнала и выполнение обратных преобразований

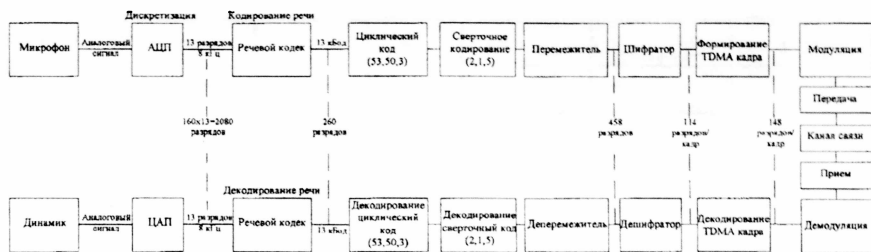


Рис. 1. Модель речевого канала связи стандарта GSM

Модель позволяет воспроизводить условия работы системы связи стандарта GSM-900/1800 при различных ошибках в канале связи, прослушивать принятый сигнал с целью оценки качества речи. Модель позволяет отключать процедуры кодирования, что позволяет исследовать не только систему в целом, но и исследовать влияние каждой процедуры на качество речи в отдельности и заменять существующие алгоритмы новыми.

В третьей главе описаны различные оценки качества речевого сигнала. В настоящее время существует два основных класса методов оценки качества речи: субъективные методы и объективные методы. Субъективные методы определяют качество речи при помощи дикторских тестов. Результаты таких методов являются наиболее востребованными, однако платой являются большие затраты как в человеческих, так и во временных ресурсах. Описаны следующие субъективные методы оценки качества речи:

- измерение разборчивости речи артикуляционным методом согласно ГОСТ Р 50840-95,
- оценка качества MOS (Mean Opinion Score) согласно рекомендации P.800 Международного союза электросвязи (МСЭ-Т).

Объективные методы основаны на модели восприятия звука человеком, на выходе таких методов получается оценка, предсказывающая значение субъективных методов. Объективные методы оценки качества речи достаточно легко автоматизировать, поэтому в последнее время они получили большое распространение.

Метод объективной оценки качества PESQ (Perceptual Evaluation of Speech Quality - воспринятая оценка качества речи), был разработан МСЭ-Т как рекомендация P.862 после тестирования нескольких различных объективных методов оценки качества и принят в 2001 году как стандарт измерения качества речи.

Произведены эксперименты для определения зависимости между значением PESQ и значением слоговой разборчивости, измеренным в

соответствии с ГОСТ Р 50840-95, определены границы классов качества речи в зависимости от значения PESQ.

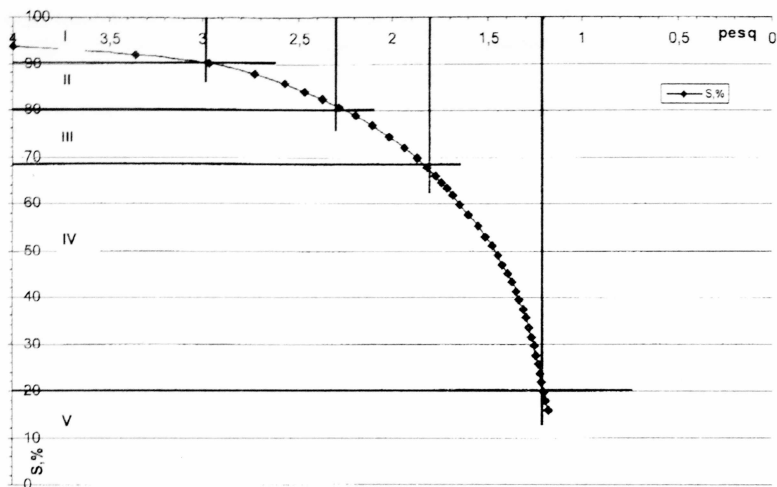


Рис. 2. Зависимость между значением автоматической оценки качества речи PESQ и слоговой разборчивости

Определено среднее квадратическое отклонение (σ) экспериментальных данных от среднего значения.

В области высокого качества речи ($S > 90\%$, первый класс качества) функция $S = f(\text{PESQ})$ обладает низкой чувствительностью. Напротив, в области низкого качества речи ($S < 60\%$, середина четвертого и пятый класс качества), функция $S = f(\text{PESQ})$ становится почти “вертикальной”. В области низкого качества речи величина PESQ позволяет судить о величине слоговой разборчивости со значительной погрешностью.

Таблица 1

Класс качества	Характеристика класса качества	PESQ	σ
I	Понимание передаваемой речи без малейшего напряжения внимания	более 3.0	0.18
II	Понимание передаваемой речи без затруднений	св. 2.2 – 3.0	0.28
III	Понимание передаваемой речи с напряжением внимания без переспросов и повторений	св. 1.8 – 2.2	0.58
IV	Понимание передаваемой речи с большим напряжением внимания с переспросами и повторениями	св. 1.2 – 1.8	0.98
V	Неразборчивость связного текста, срыв связи	1.2 и менее	1.11

В четвертой главе описаны эксперименты для определения эффективности методов кодирования, используемых в стандарте GSM 900/1800 и влияния их на качество речи, а также помехоустойчивость системы в целом при различных видах ошибок в канале связи: одиночные ошибки, пакетные ошибки фиксирования длины и с геометрическим распределением длины пакетов. Определены границы классов качества речи в зависимости от вероятности ошибки в канале связи и длины пакетов ошибок.

Исследование влияния коэффициента сжатия речевого кодека на качество речи.

Проанализированы возможные пути по увеличению коэффициента сжатия кодека, не изменяя основного алгоритма сжатия. Проведено исследование качества восстановленной речи.

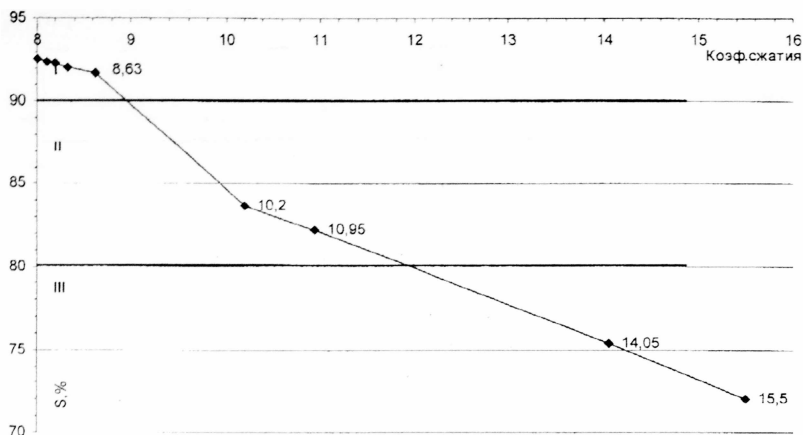


Рис. 3. Зависимость разборчивости восстановленной речи от коэффициента сжатия кода

Как видно из рисунка 3, увеличение коэффициента сжатия речевого кода на 10% практически не изменяет качества восстановленной речи (значение слоговой разборчивости остается в пределах первого класса качества речи).

Увеличение коэффициента сжатия на 30% – 35% соответствует второму классу разборчивости речи.

Увеличение коэффициента сжатия на 75% – 90% соответствует третьему классу разборчивости речи, что недопустимо, т.к. в телефонии могут применяться только кодеки, работающие в I и во II классах качества речи.

Исследования влияния циклического кода на качество речи.

Были проведены эксперименты по определению эффективности циклического кода с точки зрения влияния его на качество речи.

Алгоритм декодирования: если при приеме текущего кадра обнаружены ошибки в коэффициентах фильтра, то они заменяются коэффициентами фильтра, переданными в предыдущем кадре, если они не содержали ошибок.

Эксперименты показали, что при увеличении вероятности ошибки в канале связи количество кадров, исправленных с помощью последнего принятого кадра, увеличивается до определенного значения ($\approx 25,5\%$) а затем уменьшается, так как возрастает число последовательно искаженных кадров, поэтому чаще приходится использовать кадры, более удаленные от текущего. Таким образом, при росте числа ошибок в канале связи возрастает влияние предыдущих принятых кадров, что может приводить к ухудшению качества речи.

Были проведены эксперименты по влиянию циклического кода на качество передаваемой речевой информации. Использовались шесть различных алгоритмов декодирования: без хранения предыдущих кадров (S_0 , способность циклического кода обнаруживать ошибки не использовалась) и алгоритмы с хранением предыдущих от одного до пяти кадров (S_1 - S_5). Сверточное кодирование и перемежение не использовалось.

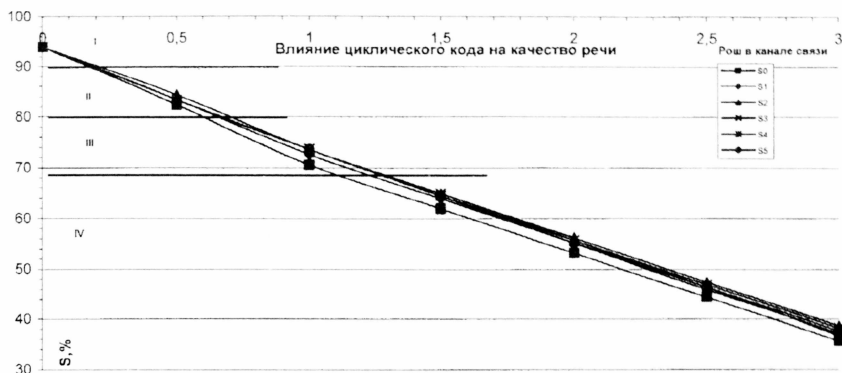


Рис. 4. Зависимость разборчивости речи от вероятности ошибки в канале связи при различных алгоритмах декодирования циклического кода

На графике показаны границы качества речи согласно ГОСТ 16600.

Эксперимент показал, что для более качественного приема необходимо хранить в памяти приемного устройства информацию о трех предыдущих кадрах. Максимальный выигрыш от использования циклического кода составляет 2-3 % слоговой разборчивости. Это не позволяет существенно улучшить качество речи, т.к. не происходит переход в "лучший" класс качества.

Исследование влияния сверточного кода на качество речи.

Были проведены эксперименты по определению возможности используемого сверточного кода исправлять одиночные ошибки, пакеты ошибок фиксированной длины ($\Pi = 2, 3, 4$) и ошибки с геометрическим распределением длины пакетов ($L_{ср} = 2, 3, 4$).

Для каждого типа ошибок проведены эксперименты по определению качества речи после исправления ошибок сверточным кодом. Результаты экспериментов представлены на рис.5.

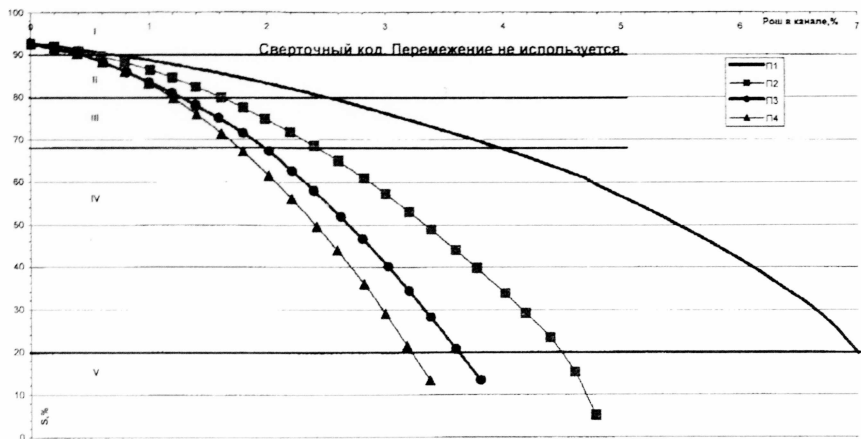


Рис. 5. Зависимость разборчивости речи от вероятности ошибки в канале связи при использовании сверточного кодирования

На графике показаны границы качества речи согласно ГОСТ 16600.

Эксперимент показал, что использование сверточного кода позволяет существенно улучшить качество речи, так как происходит переход в лучший класс качества, а именно:

- Если в канале связи присутствуют только одиночные ошибки, с вероятностью появления $0,2-0,7\%$ ($0,2 \div 0,7 \cdot 10^{-2}$; $E_c/N_0=16,5 \div 12$), то использование сверточного кода позволяет перевести качество речи из второго в первый класс качества;
- Если в канале связи присутствуют только одиночные ошибки, с вероятностью появления $0,7-1,25\%$ ($0,7 \div 1,25 \cdot 10^{-2}$; $E_c/N_0=12 \div 10$), то использование сверточного кода позволяет перевести качество речи из третьего во второй класс качества;
- Если в канале связи присутствуют только одиночные ошибки, с вероятностью появления $1,25-2,5\%$ ($1,25 \div 2,5 \cdot 10^{-2}$; $E_c/N_0=10 \div 7,5$), то использование сверточного кода позволяет перевести качество речи из четвертого во второй класс качества;
- Если в канале связи присутствуют только одиночные ошибки, с вероятностью появления $2,5-3,5\%$ ($2,5 \div 3,5 \cdot 10^{-2}$; $E_c/N_0=7,5 \div 6,5$), то использование сверточного кода позволяет перевести качество речи из четвертого в третий класс качества и т.д.

Исследование влияния перемежения на качество речи.

Цель перемежения – уменьшение длины пакетов ошибок. Алгоритм, используемый в стандарте GSM-900, разбивает пакет ошибок длиной L на два пакета по $L/2$, если L – четно, или на пакеты длиной $(L/2 + 0,5)$ и $(L/2 -$

0.5), если L – нечетно, причем после деперемежения эти два пакета ошибок находятся в соседних информационных кадрах.

Проведены эксперименты по влиянию перемежения на исправление ошибок сверточным кодом.

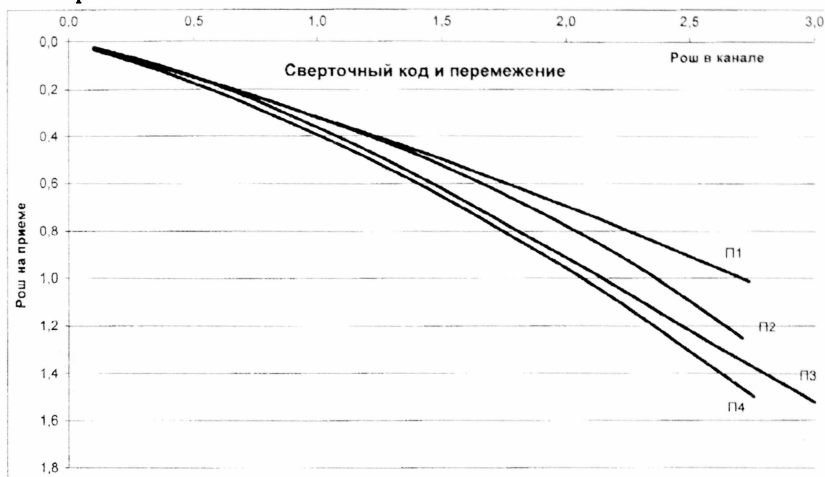


Рис. 6. Способность сверточного кода и перемежения исправлять одиночные и пакетные ошибки

На графике 6 по оси абсцисс отложена вероятность ошибки в канале связи (в процентах), а по оси ординат – вероятность ошибки на приеме, при использовании сверточного кодирования и перемежения.

Если в канале связи присутствуют пакеты двойных ошибок и вероятность ошибки на символ $\leq 1,3\%$ (или тройные ошибки и вероятность ошибки на символ $\leq 0,6\%$), тогда сверточный код исправляет ошибки с той же эффективностью, как и при воздействии на канал одиночных ошибок. При увеличении вероятности ошибки в канале связи алгоритм перемежения становится менее эффективным.

Влияние перемежения разрядов на разборчивость речи при различных видах ошибок в канале связи показано на следующих графиках:

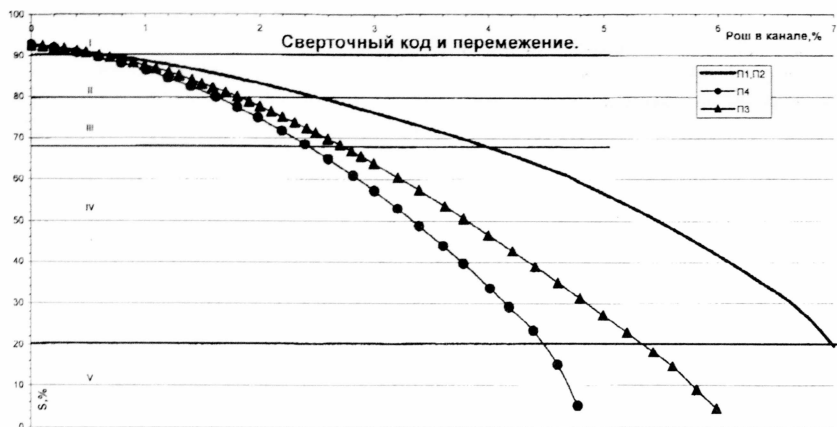


Рис. 7. Зависимость слоговой разборчивости от вероятности ошибки в канале связи при использовании сверточного кодирования и перемежения

Сравнивая результаты экспериментов с использованием и без использования перемежения (рис.5 и рис.7) видно, что использование перемежения позволяет существенно улучшить качество речи, так как происходит переход в лучший класс качества, а именно:

- Если в канале связи присутствуют двойные ошибки (П2), то использование перемежения позволяет значительно улучшить разборчивость речи, а именно, разборчивость речи становится такой-же, как при одиночных ошибках в канале связи.
- Если в канале связи присутствуют пакеты ошибок длиной четыре (П4), то использование перемежения позволяет значительно улучшить разборчивость речи, а именно, разборчивость речи становится такой-же, как при двойных ошибках в канале связи.
- Если в канале связи присутствуют тройные ошибки с вероятностью появления 1,2-1,8 % ($1,2 \div 1,8 \cdot 10^{-2}$; $E_c/N_0 = 10 \div 9$), то использование перемежения позволяет перевести качество речи из третьего во второй класс качества;
- Если в канале связи присутствуют тройные ошибки с вероятностью появления 1,8-2,7 % ($1,8 \div 2,7 \cdot 10^{-2}$; $E_c/N_0 = 9 \div 7,5$), то использование перемежения позволяет перевести качество речи из четвертого в третий класс качества и т.д.

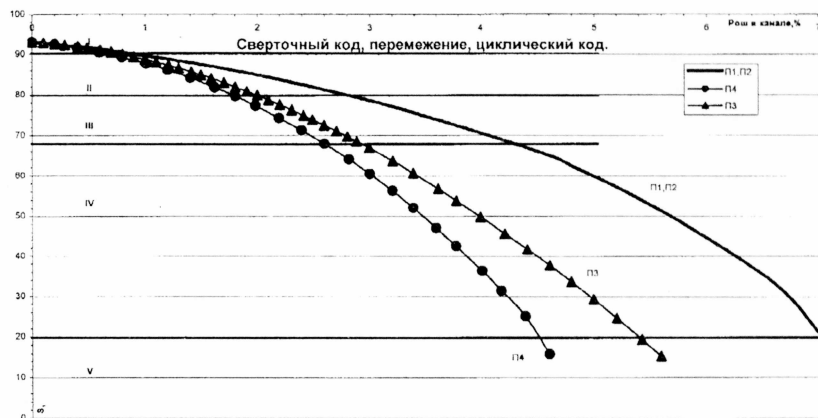
Оценка помехозащищенности системы передачи данных стандарта GSM-900 в целом.

Необходимо определить субъективную оценку качества речи, переданной по системе передачи данных стандарта GSM в зависимости от вероятности ошибки в канале связи.

Величина вероятности ошибки в канале связи принята в стандарте GSM за основную величину оценки качества канала связи. Для оценки вероятности ошибки каждый информационный кадр содержит 26 разрядов псевдослучайной последовательности. Вероятность ошибки в канале связи используется при оценке зоны покрытия радиосвязью, при вхождении абонента в сеть, при выполнении процедуры "эстафетной передачи" абонента из одной соты в другую.

Выше были определены значения слоговой артикуляции в зависимости от вероятности ошибки в канале связи и закона распределения пакетов ошибок при использовании сверточного кодирования и перемежения в системе связи. Учитывая влияние циклического кодирования, получаем окончательные зависимости слоговой артикуляции от вероятности ошибки в канале связи.

На рис.8 приведены значения слоговой артикуляции и границы классов качества речи согласно ГОСТ в зависимости от вероятности ошибки в канале связи для одиночных и пакетных ошибок.



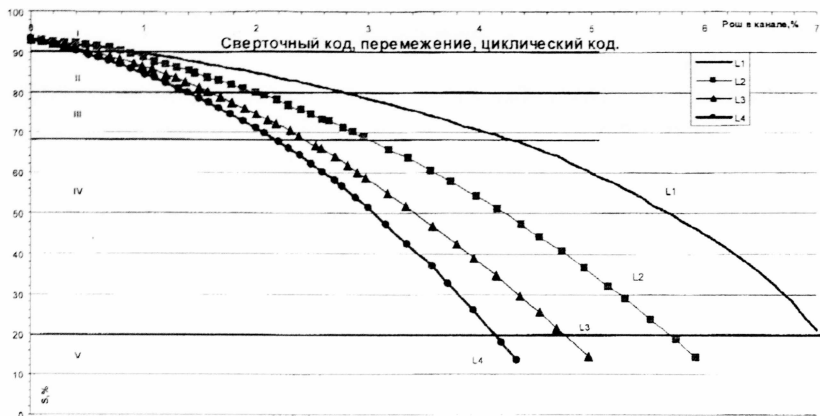


Рис. 8. Зависимость слоговой разборчивости от вероятности ошибки в канале связи стандарта GSM

Из рис.8 видно, что для более качественной оценки разборчивости речи, переданной по каналу связи GSM-900/1800, необходимо не только определять вероятность ошибки в канале связи, но и определять закон распределения ошибок.

Таким образом, используя тестовую последовательность, передаваемую в каждом кадре и измеряя вероятность ошибки можно автоматически определять значение разборчивости речи в действующих сетях связи, то есть измерять мгновенную оценку качества речи.

То есть, использование полученных зависимостей позволяет производить оценку качества системы связи не по вероятности ошибки в канале, а по значению разборчивости речи. Такая оценка является наиболее востребованной для потребителей голосовых услуг связи. Границы классов качества речи в зависимости от вероятности ошибки в канале связи стандарта GSM представлены в таблице 2.

Таблица 2

Класс качества	Характеристика класса качества	Вероятность ошибки в канале связи (Рош, 10^{-2})					
		П1-П2	L2	П3	П4	L3	L4
I	Понимание передаваемой речи без малейшего напряжения внимания	менее 0,9	менее 0,8	менее 0,8	менее 0,8	менее 0,6	менее 0,4
II	Понимание передаваемой речи без затруднений	св. 0,9 – 2,7	св. 0,8 – 2,0	св. 0,8 – 2,0	св. 0,8 – 1,8	св. 0,6 – 1,6	св. 0,4 – 1,4

Таблица 2 (окончание)

III	Понимание передаваемой речи с напряжением внимания без переспросов и повторений	св. 2,7 - 4,3	св. 2,0 - 3,0	св. 2,0 - 2,9	св. 1,8 - 2,6	св. 1,6 - 2,4	св. 1,4 - 2,2
IV	Понимание передаваемой речи с большим напряжением внимания с переспросами и повторениями	св. 4,3 - 7,0	св. 3,0 - 5,6	св. 2,9 - 5,4	св. 2,6 - 4,5	св. 2,4 - 4,7	св. 2,2 - 4,1
V	Неразборчивость связного текста, срыв связи	св. 7,0	св. 5,6	св. 5,4	св. 4,5	св. 4,7	св. 4,1

Среднеквадратическое отклонение (σ) экспериментальных данных от среднего значения представлены в таблице 3.

Таблица 3

Класс качества	Характеристика класса качества	Среднеквадратическое отклонение(σ)					
		П1-П2	L2	П3	П4	L3	L4
I	Понимание передаваемой речи без малейшего напряжения внимания	0,33	0,23	0,22	0,51	0,47	0,39
II	Понимание передаваемой речи без затруднений	1,61	1,06	0,99	1,59	1,82	0,91
III	Понимание передаваемой речи с напряжением внимания без переспросов и повторений	2,63	2,25	2,27	2,47	1,86	1,65
IV	Понимание передаваемой речи с большим напряжением внимания с переспросами и повторениями	3,18	4,41	6,19	4,26	4,99	8,17

Как видно из таблицы, погрешность измерения разборчивости речи увеличивается при увеличении вероятности ошибки в канале связи.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1. Определена зависимость между значением разборчивости русской речи и автоматической оценкой качества речи.
2. Создана программная модель передачи данных стандарта GSM.
3. Определена зависимость разборчивости русской речи от вероятности ошибки в канале связи стандарта GSM.
4. Предложен метод автоматической оценки качества передачи речи по каналу связи стандарта GSM, основанный на использовании тестовой последовательности.

На основе полученных результатов вытекают следующие выводы:

1. Полученная зависимость между значением разборчивости русской речи и автоматической оценкой качества речи позволяет применять автоматические методы для оценки качества речевых каналов связи без привлечения дикторов и слушателей.
2. Созданная программная модель передачи данных стандарта GSM может использоваться для исследования существующих и новых алгоритмов сжатия и помехоустойчивого кодирования речевого сигнала.
3. Полученная зависимость разборчивости русской речи от вероятности ошибки в канале связи стандарта GSM может использоваться для автоматической оценки качества речи в проектируемых сетях.
4. Предложенный метод оценки качества передачи речи по каналу связи стандарта GSM может использоваться для автоматической оценки качества речи в эксплуатируемых сетях связи стандарта GSM.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Дядюнов А.Н. Решетников В.В. Программное моделирование стандарта сотовой телефонной связи GSM-900 // Научный вестник Московского Государственного Технического Университета Гражданской Авиации. – 2001. – №35. – С. 207-215.
2. Дядюнов А.Н. Решетников В.В. Оценка качества речевого канала связи стандарта GSM-900 // Научный вестник Московского Государственного Технического Университета Гражданской Авиации. – 2001. – №35. – С. 216-226.

Подписано к печати 26.04.06 г. Заказ №202 Объем 1,0 п.л. Тираж 100 экз.
Типография МГТУ им. Н.Э. Баумана