

УДК 621.391

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ РЕЧИ С АНАЛИЗОМ ХАРАКТЕРИСТИК ЭФФЕКТИВНЫХ ПОТЕРЬ ПАКЕТОВ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ



С.М. БОБРИЦКИЙ

Харьковский научно-
исследовательский институт
судебных экспертиз им. Засл.
проф. Н.С. Бокариуса

Предложенный в статье метод VqMW относится к семейству E-model и может быть использован при оценке качества передачи речевого трафика в условиях группирования потерь речевых пакетов и высокого уровня джиттера однопутевых задержек.

The proposed in paper method VqMW belongs to the family and the E-model can be used in evaluating the transmission quality of voice traffic in terms of grouping voice packets losses and high levels of jitter one-way delays.

Запропонований у статті метод VqMW відноситься до сімейства E-model і може бути використаний при оцінці якості передачі мовного трафіка в умовах групування втрат мовних пакетів і високого рівня джиттера одношляхових затримок.

Введение

Все концепции построения современных телекоммуникационных сетей связи предусматривают переход на пакетную передачу речевого трафика. Одновременно возрастают требования к характеристикам алгоритмов оценки качества передачи речевого трафика. В частности, современные методы оценки должны обеспечивать:

- низкую погрешность по сравнению с эталонными методами (например, методом экспертных оценок);
- формирование оценки в режиме реального времени;
- возможность реализации в транзитных узлах и потоковых агентах;
- приемлемый уровень требуемых ресурсов (например, MIPS) для реализации процедуры расчета.

Существующие методы оценки качества передачи речевого трафика можно разделить на две основные группы: уровень контента и уровень протокола переноса.

Методы уровня контента, такие как [1], обеспечивают хорошую корреляцию с оценкой воспринимаемого человеком качества передачи речи, но требуют наличия тестового (опорного сигнала), что не позволяет проводить анализ в реальном масштабе. Гораздо более перспективными являются алгоритмы уровня протокола переноса (обычно стека RTP/RTCP). Оценка выполняется на основе анализа заголовков пакетов RTP/RTCP, не требует наличия опорного речевого сигнала и может проводиться как в транзитных узлах, так и в терминальных устройствах. Алгоритмы уровня протокола переноса обеспечивают детализацию учета влияния основных факторов путем обработки заголовков протокола стека RTP/RTCP:

- обобщенной задержки;
- джиттера задержки;
- устойчивости речевого кодека к потерям;

- характеристик группировки потерь речевых пакетов;
- фазы речевого сеанса, в которой возникают потери пакетов.

К перспективным методам оценки качества уровня переноса относится E-model на основе G.107 [2] и VqMon [3,4] (совместно разработан ETSI и Telchemy).

В отличие от E-model в методике VqMon учитываются все перечисленные факторы, включая джиттер задержки и характеристики группировки потерь. Но основным недостатком методик уровня протокола переноса является сложность оценки реального (эффективного) значения уровня и параметров группирования потерь в оборудовании VoIP.

I. Постановка задачи

Процедура оценки качества передачи речи в методах уровня протокола переноса обладает некоторой погрешностью, что в основном связано с несколькими факторами (рис. 1).

1. Воздействие джиттер-буфера с алгоритмом формирования задержки воспроизведения. После прохождения джиттер-буфера возможно увеличение, как общей задержки речевых пакетов, так и появление одиночных и групповых потерь. При этом параметры воздействия джиттер-буфера определяются типом алгоритма и настройками конкретного экземпляра VoIP терминала или шлюза.

2. Воздействие алгоритма компенсации потерь речевых пакетов на стороне приема. При передаче речи могут быть использованы как пассивные, так и активные способы компенсации потерь речевых данных [5].

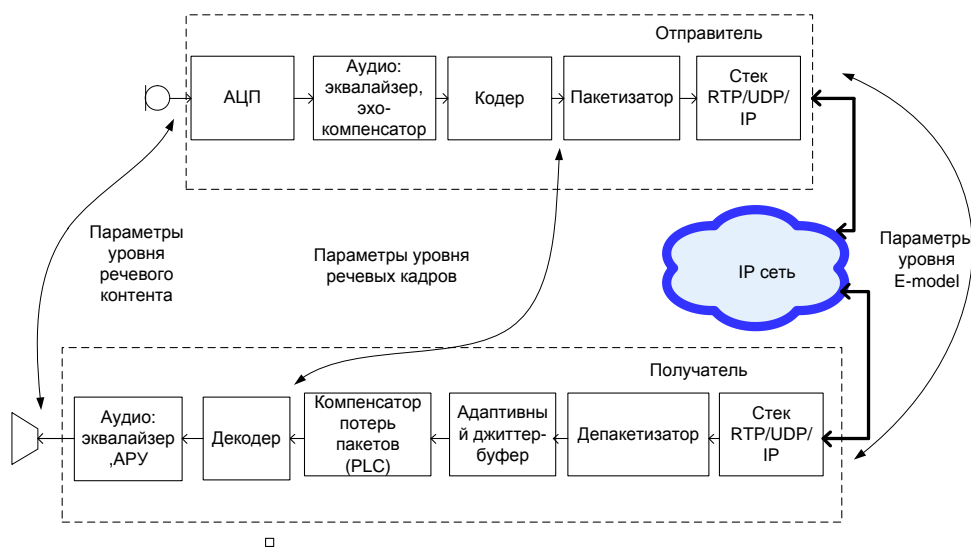


Рис. 1. Пояснение методов оценки качества передачи речи

Погрешность оценки на уровне RTP по сравнению с реальным уровнем потерь, вносимых при обработке в устройствах VoIP, растет с увеличением джиттера сетевой задержки, а также при наличии группировки потерь в результате передачи по сети.

Формализуем оценку влияния потерь речевых пакетов в рамках метода E-model:

$$Ie_{eff} = Ie_{RTP} + Ie_{PDV} + Ie_{PLC}, \quad (1)$$

где Ie_{RTP} – оценка деградации качества за счет потерь при анализе уровня протокола переноса; Ie_{PDV} – оценка деградации за счет влияния алгоритма компенсации джиттера на основе аналитической модели джиттер-буфера; Ie_{PLC} – оценка деградации за счет влияния алгоритма компенсации потерь речевых пакетов.

Таким образом, погрешность, вносимая традиционным методом оценки качества E-model или VqMON, зависит от степени адекватности моделей джиттер-буфера и алгоритма компенсации потерь:

$$\Delta Ie = \Delta Ie_{PDV} + \Delta Ie_{PLC}.$$

В случае решения задачи определения эффективного уровня вносимых потерь речевых пакетов возможно повысить точность оценок качества передачи речевого трафика в целом.

II. Описание предлагаемого метода оценки качества передачи речи

Для формирования адекватной оценки уровня потерь речевых пакетов предлагается дополнить сетевую статистику оценкой фактических потерь на входе речевого декодера (рис. 1). При этом основной проблемой является необходимость получения оценки в реальном масштабе времени без использования передачи заранее сохраненного (тестового) речевого фрагмента.

Для этого предлагается использовать свойства типового искажения речевого сигнала при наличии однократных или групповых потерь. При анализе группировки потерь необходимо:

- определить критерий формирования группировки потерь;
- выбрать метод обнаружения группы;
- выбрать метод формирования и анализа статистики распределения длительности группировок потерь;
- выбрать метод локализации групп потерь и синхронизации в абсолютном времени с временными метками RTP пакетов.

В качестве базовой для обнаружения групп потерь была выбрана методика на основе вейвлет-анализа речевых сигналов [6].

Хотелось бы определить основные признаки предлагаемого в данной работе метода оценки качества:

- режим формирования оценки качества: в реальном масштабе времени;
- два уровня анализа:
 - а) базовый на уровне протокола переноса;
 - б) дополнительный на уровне контента (речи);
- оценка параметров реального уровня групповых потерь с использованием вейвлет-анализа.

Поясним особенности предлагаемого метода оценки качества речи VQMON-Wavelet (далее VqMW). Метод VqMW по сути является комплексным, с формирова-

нием оценки качества путем обработки данных на уровне стека RTP/RTCP, а также дополнительной оценкой эффективного уровня групповых потерь на основе анализа речевого контента с использованием вейвлет-преобразования (рис. 2).

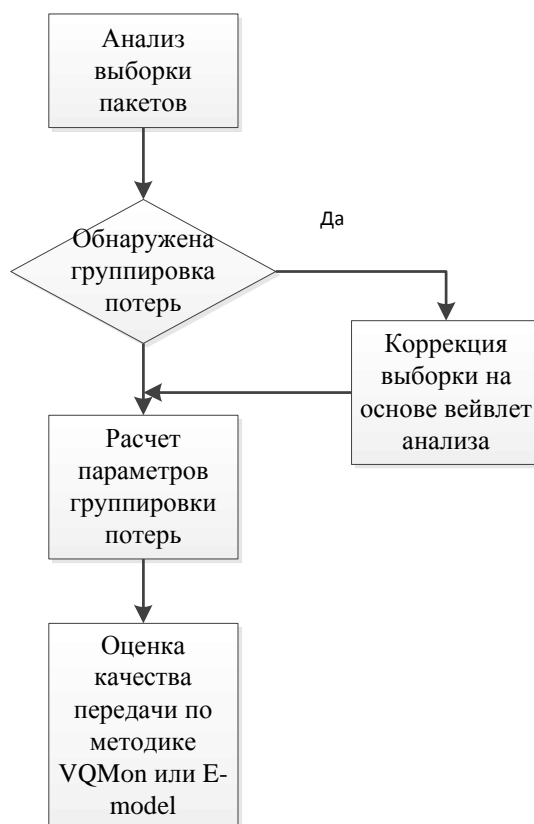


Рис. 2. Порядок оценки качества передачи речи по методу VQMW

В процессе функционирования алгоритма выполняется анализ выборки сетевой статистики для обнаружения группировки потерь. После обнаружения группировки производится анализ характеристик группировки на уровне заголовков протокола переноса, стека RTP/RTCP. Полученная выборка корректируется на основе анализа параметров группировки потерь на уровне контента путем использования вейвлет-преобразования. Более подробно порядок операций метода VQMW поясняется ниже (рис. 3).

Предварительная обработка выполняется с учетом того, что формирование оценки может быть произведено только после накопления достаточной сетевой статистики. При этом необходимо обеспечить формирование актуальных оценок в режиме реального времени. Учитывая, что оценка эффективных потерь ведется двумя методами (путем сбора статистики RTP/RTCP и вейвлет-анализом) целесообразным является использование базы формирования оценок качества на основе речевых активностей. Это означает, что выполняется предварительное накопление статистики в течение длительности речевой активности, по окончании которой определяются параметры качества. В случае, если выборка недостаточна для формирования оценки или система не поддерживает режим VAD, размер выборки для формирования оценки определяется стандартными методами на основе доверительного интервала.

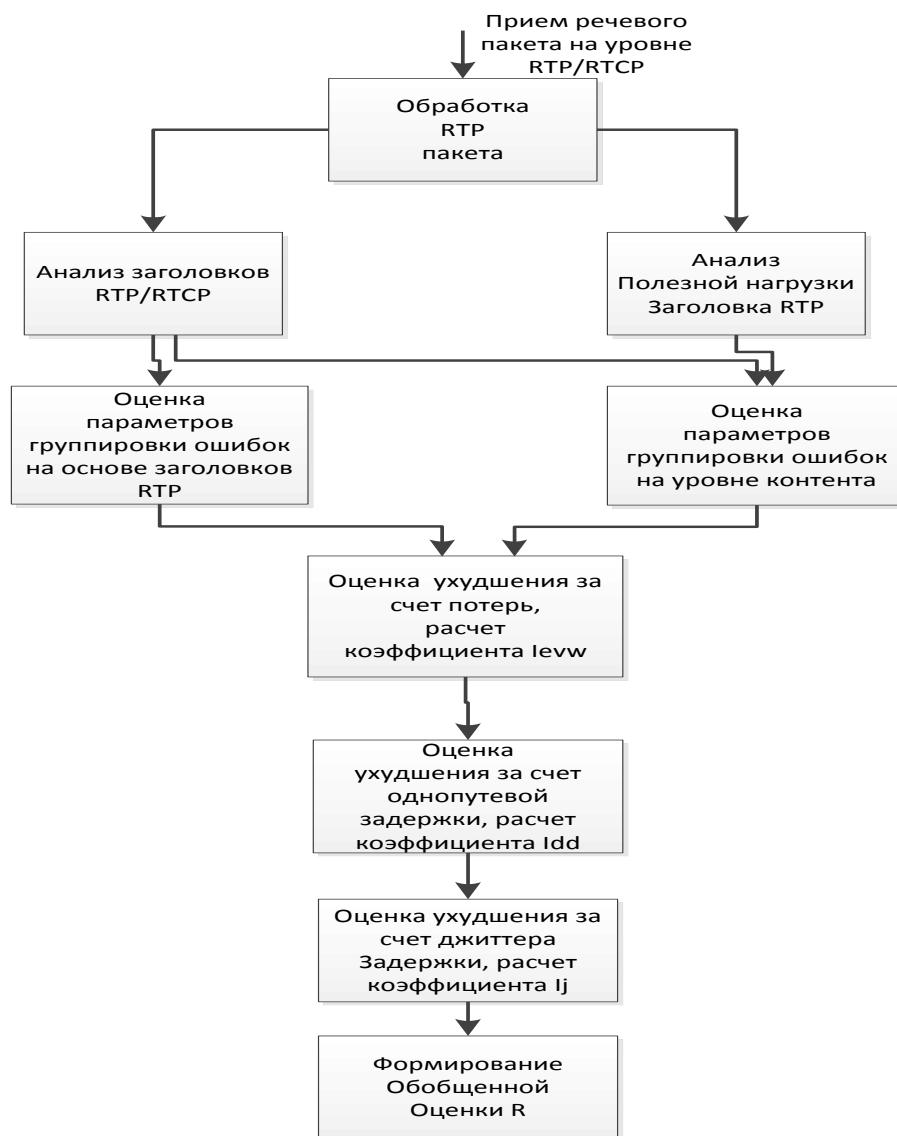


Рис. 3. Обобщенная схема операций метода VqMW

В процессе обработки поступающих RTP пакетов формируются массивы:

- оценки задержек речевых пакетов T_{ki} ;
- последовательные номера речевых пакетов SEQ_{ki} ;
- передаваемая полезная нагрузка в речевых пакетах PT_{ki} .

Последующий анализ заголовков пакетов уровня протоколов RTP/RTCP базируется на стандарте G.107 ITU [2] и его расширении VqMon [4]. Как было показано выше, главным преимуществом данного подхода является возможность получения результатов оценки качества в реальном масштабе времени.

Для оценки эффективности передачи речевого трафика необходимо выполнить отображение сетевых параметров (задержек, потерь, джиттера) на оценку качества передачи речи. Для этого в методе VqMW используется оценка типа ACR [1] в виде обобщенного коэффициента R.

III. Формирование обобщенной оценки качества в методе VqMW

С целью оценки ухудшения за счет потерь речевых пакетов в алгоритме VqMW нами предлагается использовать идеологию формирования обобщенной оценки качества R на основе E-model и VQMon с модифицированной оценкой эффективного уровня группирования потерь на основе использования аппарата вейвлет-анализа.

Рассмотрим предлагаемую последовательность определения параметров качества. В соответствии с [2] оценка показателя качества R :

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_{e-eff} + A, \quad (2)$$

где R_0 – коэффициент, связанный со значением отношения сигнал/шум, учитывающий влияние шумов, возникающих при передаче: таких как шумы оборудования, шумы в помещении; I_s – влияние искажений в АЦП/ЦАП при квантовании; I_d – коэффициент, учитывающий влияние задержек и наличие эхо-сигнала; I_{e-eff} – коэффициент, учитывающий искажение, вносимое в процессе кодирования, а также влияние потерь речевых пакетов

Для определения параметров модели групповых потерь в методе VqMW реализована предложенная в [4] расширенная методика на основе марковской модели с четырьмя состояниями.

При этом основными преимуществами методики являются:

- учет искажений, возникающих в течение интервала групповых потерь (burst) речевых сегментов;
- моделирование потерь на основе Марковского процесса с четырьмя состояниями;
- учет факторов временного расположения интервала групповых потерь (burst) и интервала между групповыми потерями (gap);
- учет параметров устойчивости к потерям для каждого типа речевых кодеков.

В работе предложено использовать модель групповых потерь для основных характеристик процесса потерь на основе собранной сетевой статистики. В процессе анализа статистики потерь речевых пакетов определяются два типа временных интервалов - интервалы групповых потерь (burst) и интервалы между групповыми потерями (gap).

Расчет коэффициента I_{e-eff} проводится отдельно в течение периода групповых потерь I_{eb} и отдельно в течение периода между группами потерь I_{eg} :

$$\begin{aligned} I_{eg} &= I_{eg}(LOSS_{eff}) + I_e(CODEC), \\ I_{eb} &= I_{eb}(LOSS_{eff}) + I_e(CODEC), \end{aligned} \quad (3)$$

где $I_{eg}(LOSS_{eff}), I_{eb}(LOSS_{eff})$ - коэффициент ухудшения за счет эффективного уровня потерь в периоды gap и burst; $I_e(CODEC)$ - ухудшение за счет кодирования.

Влияние джиттер-буфера и PLC учитывается коэффициентом $I_e(LOSS_{eff})$.

Таким образом, в процессе расчета формируются две оценки качества передачи речи: на основе E-model и на основе VQMon. При этом расчет коэффициентов I_e , учитывающих влияние группировки потерь, базируется на статистике, полученной с помощью вейвлет-анализа речевого фрагмента. Рассмотрим подробнее анализ группировки потерь в предлагаемом методе VqMW.

IV. Анализ группировки потерь в методе VqMW

Правильный выбор модели группировки потерь речевых пакетов и соответственно ее параметризация обеспечивают адекватную оценку ухудшения за счет потерь речевых пакетов. В методе VqMW впервые для параметризации модели групповых потерь используется вейвлет-анализ речевого контента.

Поясним основные особенности расчета параметров групповых потерь. В соответствии с RFC3611 [7] группой ошибок (burst) считается интервал выборки, который начинается с потери пакета и не содержит более чем $gmin$ успешно принятых подряд и не отброшенных в джиттер-буфере пакетов.

В процессе анализа выборки алгоритм может находиться в следующих состояниях (рис. 4):

- группа потерь обнаружена (BURST ON);
- вне группы потерь (BURST OFF);
- успешно принятые пакеты в течение интервала группировки потерь (GOOD BURST).

Переменные, используемые при расчете параметров модели потерь речевых пакетов (рис. 4):

- pkt – число пакетов, полученных в течение интервала анализа;
- $gmin$ – число успешно полученных пакетов в промежутке между потерями, используется для детектирования перехода в режим гар, обычно $gmin = 16$;
- коэффициенты c_i используются для расчета интенсивностей переходов между состояниями модели.

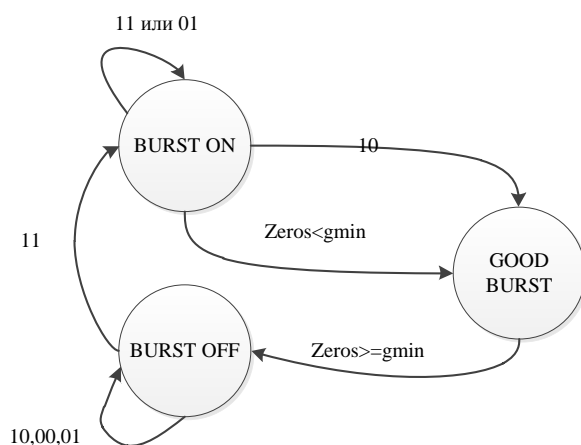


Рис. 4. Схема переходов между состояниями при анализе параметров групповых потерь

После обнаружения группировки потерь необходимо выполнить параметризацию выбранной модели потерь. Для оценки параметров Марковской модели потерь используются коэффициенты c_{ij} , определяемые на первом этапе параметризации модели, затем выполняется расчет вероятностей перехода между состояниями и коэффициентов ухудшения за счет групповых потерь. Для коррекции параметров группировки потерь с использованием вейвлет-анализа речевого контента был выбран подход, изложенный в [6].

Процесс коррекции выборки заключается в анализе длительности интервалов, в течение которых отсутствуют данные для декодирования в речевых декодерах. Эти интервалы могут возникать как вследствие сетевых потерь, так и в результате отбрасывания в джиттер-буфере (рис. 5).

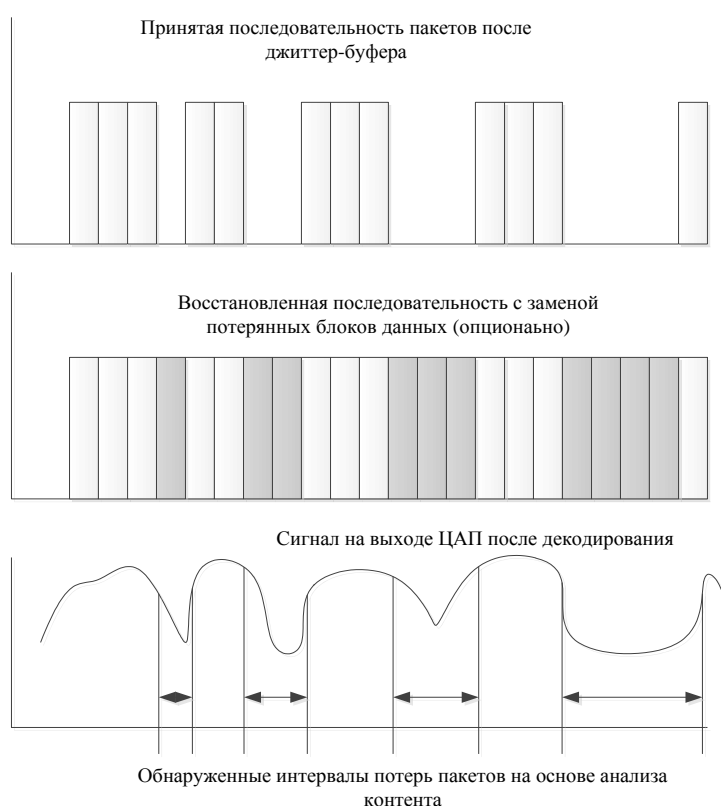


Рис. 5. Обработка выборки принятых речевых пакетов

Процедура компенсации потерянных речевых пакетов во многом аппаратно-зависима и определяется конфигурацией, типом версии ПО и другими факторами в зависимости от типа используемого оборудования VoIP. В общем случае, если в терминале или шлюзе используется компенсация потерь речевых пакетов (Packet Loss Concealment, PLC), то модулем компенсации потерь на стороне приема в интервалах потерянных речевых пакетов формируется белый шум, данные последнего принятого интервала или восстановление на основе экстраполяции данных потерянного речевого пакета. Разработанный в рамках методики VQMW алгоритм вейвлет-анализа позволяет обнаружить интервалы потерянных пакетов вне зависимости от использования PLC и режимов работы джиттер-буфера (рис. 6).

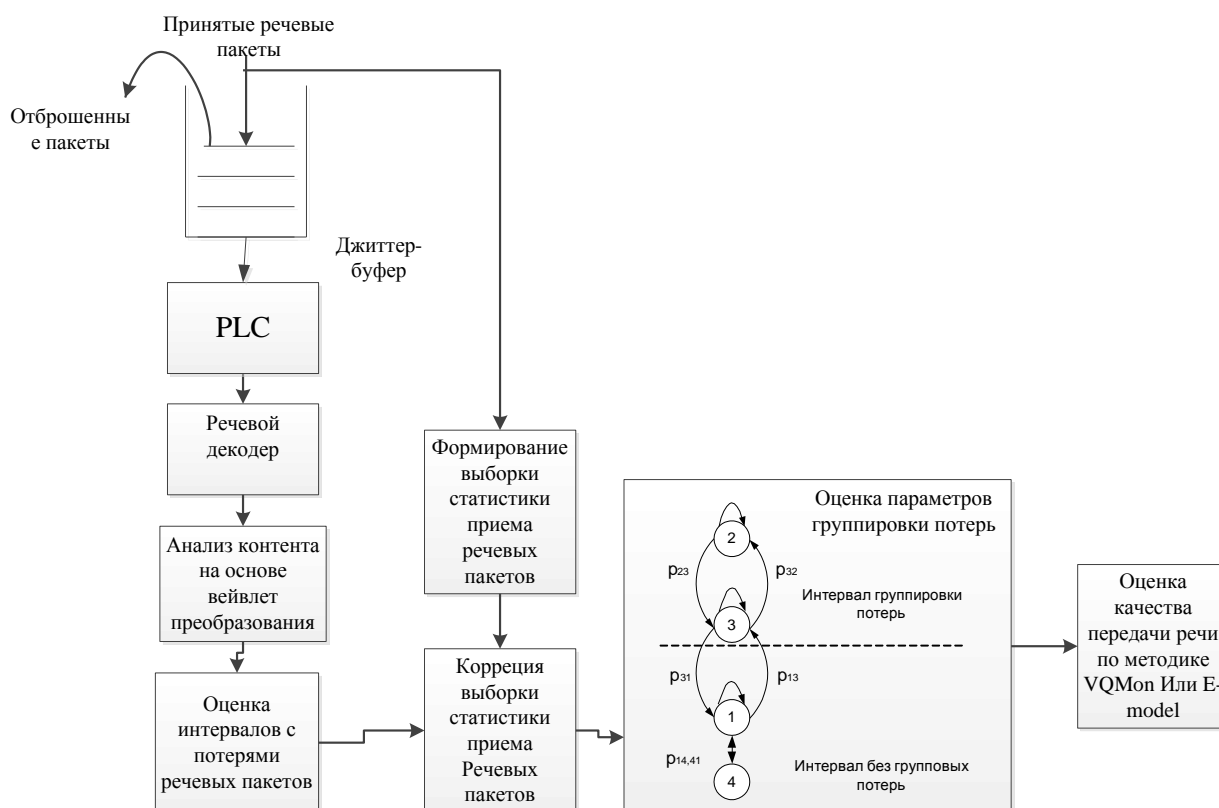


Рис. 6. Этапы формирования оценки качества передачи речевого трафика

Ниже приведено описание алгоритма обнаружения потерь речевых пакетов на основе вейвлет-анализа [6].

В рамках методике VQMW предполагается уменьшить погрешность оценки реального уровня потерь в случае отключения механизма подавления пауз речи (VAD). В этом случае групповые потери могут приходиться на интервалы, в которых существуют паузы речи собеседников, и эти потери не влияют на обобщенное качество речи. Для этого в VQMW дополнительно предлагается ввести обнаружение активностей на основе анализа контента с помощью вейвлет-преобразований.

Алгоритм состоит из следующих этапов:

1. Удаление постоянной составляющей.
2. Очистка сигнала от шума с помощью вейвлета Мейера.
3. Разбиение сигнала на участки по размеру окна анализа.
4. Вычисление энергии каждого участка сигнала.
5. Вычисление порога обнаружения потерянных сегментов.
6. Определение местоположения потерянных сегментов.

Перед началом анализа принятого сигнала необходимо удалить постоянную составляющую, влияющую на точность измерения, которая определяется как

$$x_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x'(i), \quad (4)$$

где $x'(i)$ – значение сигнала в точке i , а N – количество отсчетов сигнала.

Затем из каждого элемента сигнала вычитается постоянная составляющая и результат записывается в следующем виде:

$$x''(i) = x'(i) - x_{cp}, \quad i = 1 \dots N. \quad (5)$$

Далее с помощью вейвлет анализа определяется значение остаточного шума. В общем случае процедура фильтрации сигнала включает три шага: вычисление вейвлет-декомпозиции сигнала, пороговая обработка детализирующих коэффициентов, вычисление вейвлет-реконструкции.

Пусть $x(i)$ исходный сигнал. Тогда сигнал, принятый на приемной стороне можно описать как $x'(i) = x(i) + e(i)$, где $e(i)$ – аддитивный шум (шум канала связи). Чтобы учесть влияние речевого сигнала на процесс обнаружения потерянных сегментов, необходимо выделить шумовую составляющую – остаточный шум, определяемый выражением

$$e'(i) = x'(i) - x''(i), \quad (6)$$

где $x''(i)$ – принятый сигнал после вейвлет-обработки.

Результат анализа данных зависит от выбора базиса. На практике с целью такого выбора пользуются критерием минимума энтропии. Чем меньше значение энтропии коэффициентов разложения суммируемых по номерам коэффициентов и уровням их размещения, тем ближе к оптимальному для исследуемых данных базис анализа

$$H = \exp \left(- \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n (d_{j,k})^2 \log d_{j,k}^2 \right), \quad (7)$$

где d – коэффициенты разложения, j – текущий уровень разложения, k – номер коэффициента, m – конечный уровень разложения, n – количество коэффициентов

В результате анализа речевых сигналов было установлено, что оптимальным в большинстве случаев является вейвлет Мейера [6].

V. Оценка эффективности методики VQMW при воздействии групповых потерь

Для оценки эффективности предложенной методики был использован макет сети, включающий систему эмуляции сетевых параметров на основе netemCLG [8]. В качестве сравнительной методики для анализа была выбрана E-model, оценка характеристик которой проводилась с помощью пакета Trafficyser. Основной целью было исследование работоспособности предложенного алгоритма в условиях воздействия управляемых групповых потерь речевых пакетов.

Задача оценки качества передачи речи усложняется в условиях нестационарности основных сетевых характеристик и случайном характере возникновения и локализации групп потерь речевых пакетов.

В этом случае необходимо выбрать период формирования оценки качества и учитывать динамику изменения оценки на интервале наблюдения.

Пример динамики изменения оценки обобщенного качества R и локализация групп потерь, полученные при использовании пакета Trafficyser, приведены на рис. 7.



Рис. 7. Динамика изменения параметра R при воздействии групповых потерь

Таким образом, анализ эффективности алгоритма оценки качества должен базироваться не только на адекватности обобщенной оценки, формируемой алгоритмом, а также на:

- вероятности обнаружения групповых потерь речевых пакетов;
- точности локализации групп потерь;
- времени обнаружения группы потерь.

Исследование алгоритма VQMW было проведено в различных условиях, в том числе при воздействии джиттера сетевых задержек. Для исследования было выбрано оборудование IP-VATC IPECS-LIK50 производства LG-Ericsson и VoIP шлюзы ATA-186 производства Cisco. Были исследованы параметры качества передачи для основных кодеков VoIP при воздействии потерь речевых пакетов. На рис. 8 приведено сравнение обобщенных оценок качества речи, полученных с помощью алгоритмов VQMV и E-model.

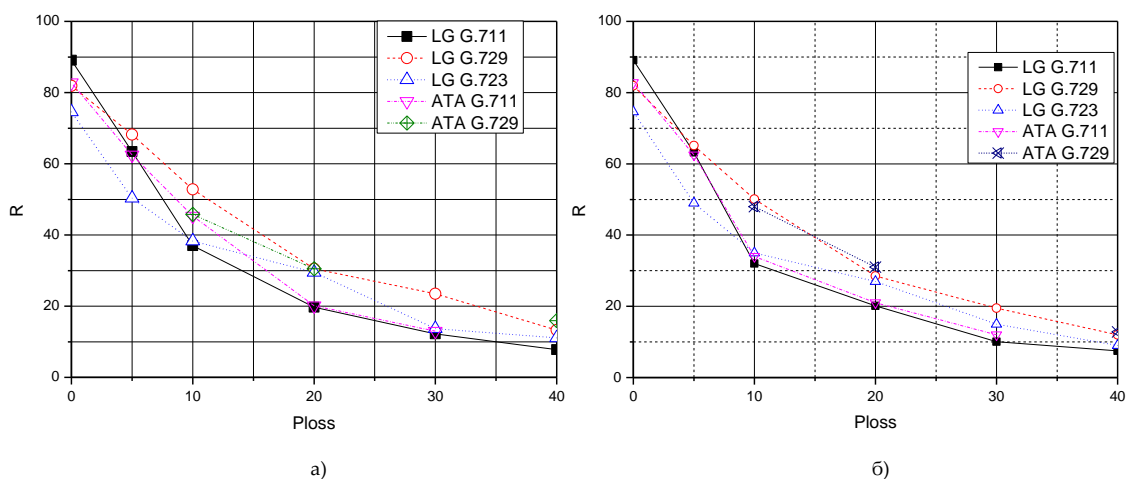


Рис. 8. Зависимость обобщенного качества R от уровня групповых потерь при оценке методом E-model (а) и VqMon (б)

Отдельно было проведено исследование влияния джиттера однопутевых задержек на параметры оценки качества при различном уровне группирования потерь (рис. 9).

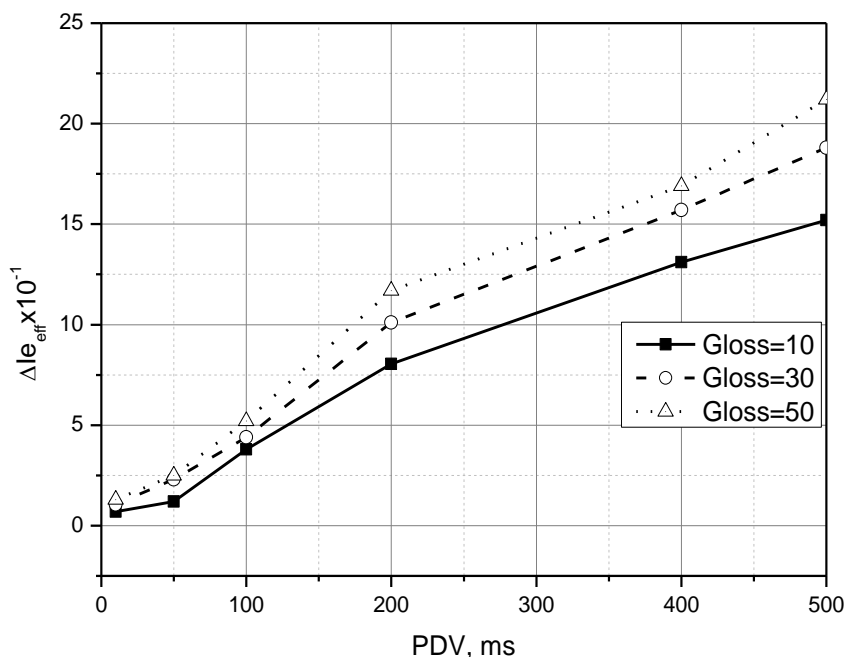


Рис. 9. Оценка эффективности алгоритма VqMW при воздействии джиттера однопутевых задержек в условиях группировки потерь

Полученные результаты показывают, что усредненные оценки при воздействии группировки потерь речевых пакетов предлагаемого и опорного алгоритмов, практически совпадают, что объясняется совпадением исходных статистических данных при оценке на уровне протокола переноса. При этом наблюдаемое незначительное расхождение оценок алгоритмов VqMW и E-model связано с возникающими при декодировании дополнительными потерями пакетов, которые VqMW детектирует с помощью вейвлет-преобразования контента.

Существенно меняется картина при анализе воздействия джиттера сетевых задержек и группировке (рис. 9). В этом случае, дополнительные группы потерь формируются после прохождения джиттер-буфера устройства и не обнаруживаются анализом на уровне протокола переноса. При этом модель оценки ухудшения за счет джиттера в алгоритме E-model не позволяет оценить эффективный уровень групповых потерь и, следовательно, реальное качество передачи речевого трафика.

Как показывает эксперимент, реализация вейвлет-обработки на уровне контента в алгоритме VqMW позволяет дополнить анализ ухудшения качества на основе модели джиттер-буфера и получить более точную оценку качества передачи по сравнению с известными алгоритмами уровня протокола переноса.

Выводы

В результате анализа и экспериментального исследования предложенного алгоритма получены следующие теоретические и практические результаты.

1. Разработан алгоритм оценки качества передачи речи в IP сетях на основе анализа сетевых характеристик на уровне протокола переноса (RTP) и уровне контента (речевого сигнала). В отличие от существующих алгоритмов уровня протоколов пе-

реноса локализация и оценка параметров групп потерь дополняются анализом на основе вейвлет-преобразования речевого сигнала.

2. Показана возможность использования вейвлет-анализа на уровне контента для обнаружения группировок потерь речевых пакетов, формируемых на выходе алгоритма компенсации джиттера.

3. Параметризация модели группирования потерь выполнена согласно RFC 3611 и соответствует модели оценки группирования потерь расширенного протокола RTCP (RTCP-XR), что позволило адекватно оценить уровень и влияние группировок потерь на качество передачи речевого контента.

3. Подтверждена возможность использования модифицированного алгоритма VqMW в условиях возникновения групповых потерь. При сравнении с известным методом E-model наблюдается более точная оценка качества за счет алгоритма определения эффективного уровня групповых потерь.

4. Показано, что вследствие специфики алгоритма компенсации джиттера, при получении пакетов со значительной дисперсией сетевой задержки более эффективным является дополнение данных ухудшения на основе модели джиттер-буфера оценкой групповых потерь на уровне контента.

Список литературы:

1. Takahashi A., Yoshino H., Kitawaki N. Perceptual QoS assessment technologies for VoIP // Communications Magazine. – 2004. – Vol. 42, Issue 7. – P. 28-34.
2. ITU-T Rec. G.107. The E-Model, a computational model for use in transmission planning. – 2009. – 20 p.
3. Clark A. Extension to the E-Model to incorporate the effects of time varying packet loss and recency. - ETSI TIPHON committee, TS 101 329-5 Annex E, 2001. – P. 29-34.
4. ETSI TR 101 329-7 V2.1.1. Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON) Release 3. End to End Quality of Service in TIPHON Systems. Part 7: Design guide for elements of a TIPHON connection from an end-to-end speech transmission performance point of view. ETSI, 2002. – 72 p.
5. Jiang W., Schulzrinne H. Comparison and Optimization of Packet Loss Repair Methods on VoIP Perceived Quality under Bursty Loss // NOSSDAV. – 2002. – P. 73-81.
6. Бобрицкий С.М., Колтыков А.В. Метод оценки качества устной речи переданной в сетях с пакетной передачей // Сборник материалов VIII научн. – практ. конф. «Информационные технологии и безопасность в управлении»: Луганск, 2011. – С. 110-115.
7. Friedman T., Caceres R., Clark A. RTP Control Protocol Extended Reports (RTCP XR), RFC 3611, 2003. – 55 p.
8. Salsano S., Ludovici F., Ordine A. Definition of a general and intuitive loss model for packet networks and its implementation in the Netem module in the Linux kernel. Technical report. - University of Rome “Tor Vergata”, 2009. – 60 p.