

ПРОБЛЕМЫ ОБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЦИФРОВЫХ КАНАЛОВ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ РЕЧИ, ОБРАЗОВАННЫХ В СИСТЕМАХ С НЕПРОЗРАЧНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Исторически для передачи речи использовались аналоговые каналы ТЧ, объективные методы измерения которых были разработаны и сформулированы в Приказе Министерства связи РФ № 43 «Об утверждении норм на электрические параметры каналов тональной частоты магистральной и внутризоновых первичных сетей». Они основывались на достаточно произвольном, однако подкрепленном огромным объемом опытных данных, предположении, что канал, обладающий определенными физическими параметрами в заданных пределах, вносит искажения в усредненный речевой сигнал, несущественные для его субъективного восприятия. После того, как компромисс между разбросом объективных параметров канала и субъективным восприятием качества речи был найден и сформулирован на уровне международных рекомендаций и российских ГОСТ, измерения качества действительно приобрели объективный характер, т.е. перестали зависеть от экспертов, осуществляющих испытания.

Когда в середине XX в. появились цифровые системы передачи, к известным искажениям речи добавились искажения, возникающие в процессах аналого-цифрового преобразования и, собственно, передачи в цифровом канале.

Искажения аналого-цифрового преобразования сводятся к искажению АЧХ за счет ограниченной частоты дискретизации и к аддитивным шумам квантования, являющимся следствием конечного числа уровней представления аналогового сигнала. Все помехи и искажения, действующие на сигнал в цифровом канале, приводят к искажениям формы двоичных импульсов и в конечном итоге характеризуются

единственным параметром — вероятностью ошибки. В результате проведенных работ Котельникова была рассчитана частота дискретизации, не приводящая к ограничению спектра канала ТЧ, рассчитан оптимальный закон квантования, обеспечивающий допустимое влияние на (субъективную!) оценку качества речи, и накоплена статистика влияния вероятности, ошибки на уровень акустического восприятия. Появились нормы на электрические параметры каналов ТЧ магистральной и внутризоновых первичных сетей, включающие в себя каналы ТЧ, образованные в цифровых системах передачи. После этого процесс измерения качества вновь стал объективным.

По мере совершенствования цифровых систем передачи и роста доли их удельной составляющей в общем объеме канало-километров ЕСС, а затем и ВСС России, стала актуальной задача объективного измерения показателей качества чисто цифровых каналов, не имеющих по краям аналоговых окончаний. Действительно, использовать для этих целей существующую методику, дооборудовав измерительные приборы аналого-цифровыми и цифро-аналоговыми преобразователями, неудобно и нелогично. Результатом многолетних научных исследований в этой области стали «Нормы на электрические параметры цифровых каналов и трактов магистральной и внутризоновых первичных сетей», утвержденные Приказом Министерства связи № 92, во многом соответствующие международным рекомендациям. Практически соблюдение устанавливаемых нормами параметров формы, отклонения дрожания фазы цифрового сигнала позволяет при стыковке разнородных участков передачи обеспечить вероятность ошибки,

не приводящую к заметным (на слух) искажениям речевого сигнала. Методика измерений, содержащаяся в нормах, позволила опять сделать этот процесс объективным.

К сожалению, эта методика, основанная на передаче по каналу псевдослучайной тестовой последовательности с последующим сравнением ее с принятой, неприменима, если цифровой канал обладает непрозрачными элементами, такими как переприем по ТЧ, аппаратура эхоподавления, статистического уплотнения или эффективного кодирования. Для таких каналов на сегодня не существует объективных методов измерения показателей качества. Определение возможных путей к решению этой проблемы и является предметом настоящей статьи.

Существующие методы анализа и оценки качества речи рассматривались в [1,2]. Стандартизированной методологией субъективной оценки качества передачи речи является Рек. МСЭ-Т Р.800 [3]. В ней описываются условия проведения тестовых испытаний, содержание речевых образцов, система оценок и методики анализа полученных данных. Испытания по данной методологии позволяют получить значение средней субъективной оценки MOS (Mean Opinion Score).

В силу субъективности метода для получения достоверных результатов оценки требуется проведение большого числа тестовых испытаний. Кроме того, сильное влияние на результаты оказывают условия проведения испытаний, язык, настроение, возрастная группа экспертов и другие факторы. Все это приводит к низкой повторяемости результатов и высокому разбросу оценок.

Поскольку тестовые испытания носят точечный во времени характер, данный метод не позволяет оценивать качество в течение некоторого промежутка времени. Между тем, возможность такой оценки особенно важна для сетей с изменяющимися во времени характеристиками качества передачи, например, для сетей IP-телефонии и сетей с использованием статистического уплотнения. К тому же метод не позволяет оценивать изменения параметров тракта передачи, лишь незначительно влияющих на качество передачи.

Другие субъективные измерения включают искажения качества (QDU — Quantization Distortion Units), которые определены в Рек. ITU-T G.113 [4] как искажения, вносимые одной парой кодеров по Рек. G.711 [5] для ИКМ на скорости 64 кбит/с. Для количественной характеристики ухудшения качества речи применяются единицы QDU. Величина 1 QDU соответствует ухудшению качества при цифровом преобразовании речи с использованием стандартной процедуры ИКМ. Дополнительная обработка речи ведет к дальнейшей потере ее качества. Согласно Рек. МСЭ-Т G.113, для международных вызовов величина QDU не должна превышать 14, причем передача разговора по международным магистральным каналам ухудшает качество речи, как правило, на 4 QDU.

Впрочем, несмотря на свои недостатки, субъективный метод оценки качества передачи речи находит применение благодаря тому, что не требует сложных и дорогостоящих технических средств, которые необходимы для получения объективных оценок, а также наиболее приближен к реальной конечной цели — удовлетворенности пользователя качеством речевой связи.

Объективные оценки качества передачи речи получают с помощью технических средств, обеспечивающих лучшую повторяемость результатов по сравнению с субъективными оценками. Однако объективные методы позволяют только предсказать ожидаемое качество речи, но не способны оценивать качество речи так, как это делает человек. Цель инструментального подхода к предсказанию качества речи — достичь высокой корреляции между предсказанными оценками качества и оценкой, полученной путем тестирования группой экспертов. Большинство инструментальных методов для оценки качества речи сравнивают речевой сигнал источника (неискаженный сигнал) и выходной сигнал системы передачи (искаженный сигнал). Как правило, технические подходы включают в себя несколько этапов:

— на первом этапе исключаются различия в сигналах, которые не существенны в моделируемом тесте, например, общая задержка и разница в уровнях (эти значения задаются или вычисляются заранее);

— на втором этапе оба сигнала преобразуются к внутреннему представлению с использованием психоакустических моделей восприятия звуков человеком. Вычисляется разброс между обоими сигналами, который затем используется для оценки значения качества.

В настоящее время существует несколько модификаций стандартизованного метода PSQM (Perceptual Speech Quality Measure — Измерение качества восприятия речи), которые рекомендованы для измерения качества узкополосных (300 — 3400 Гц) кодеров речи и описаны в Рек. МСЭ-Т P.861 [6] и P.862 [7]:

- PSQM+(МСЭ-Т P.861) — экспериментальная версия PSQM, созданная для оценки качества передачи речи в системах сотовой связи стандарта GSM;

- MNB — Measuring Normalized Blocks — Измерение нормализованными блоками (МСЭ-Т P.861);

- PESQ — Perceptual Evaluating of Speech Quality — Оценка восприятия качества речи (МСЭ-Т P.862);

- PAMS — Perceptual Analysis Measurement System (British Telecom) — Система измерения путем анализа восприятия.

Основным назначением данных методов является тестирование кодеков. С их помощью можно проследить изменения качественных показателей кодеков в зависимости от алгоритма, скорости, уровня сигнала на входе или ошибок в канале. Такое тестирование методов позволяет сократить время, затрачиваемое на настройку оборудования, и выбрать оптимальные параметры кодека, уровней сигнала, скорости передачи и др.

Кроме того, эти методы могут быть использованы для решения ряда других задач в процессе разработки, настройки и эксплуатации оборудования. Они позволяют проводить как краткосрочные измерения, так и длительные в течение нескольких дней. Данные методы могут применяться для сравнительных испытаний при выборе оборудования, решений и технологий для построения сети (например, сети подвижной связи); с их помощью может быть организован периодический контроль производительности и качественных показателей работы сети связи и локализация неисправностей.

Другим подходом является оценка качества речи на основе данных о параметрах передачи речи. Этот подход базируется на так называемой E-модели, описанной в Рек. МСЭ-Т G.107 [8].

Данная модель позволяет вычислить оценку качества речи в единицах фактора R на основании таких параметров передачи, как задержка передачи, потеря пакетов, тип кодека. Полученное значение фактора R , которое может лежать в диапазоне от 0 до 100, позволяет предсказать субъективную оценку и может быть сопоставлено с категориями качества речи и оценками MOS.

Для оценки качества передачи речи E-модель может быть представлена в следующем виде:

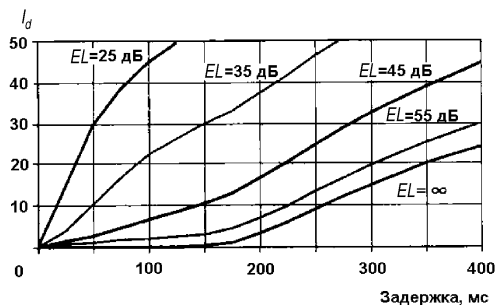
$$R = R_0 - I_s - I_d - I_e + A,$$

где R_0 — отношение сигнал-шум, включая шум схемы и шум в помещении; I_s — является комбинацией всех искажений, которым подвергается речевой сигнал; I_d — фактор задержки; I_e — фактор оборудования; A — вероятностный фактор, предусматривающий компенсацию факторов, ухудшающих качество в случае, если есть другие преимущества.

Фактор оборудования I_e описывает искажения речевого сигнала, вызванные применением низкоскоростных кодеков. Начальные значения фактора I_e для большинства кодеков определены при отсутствии потерь.

Фактор задержки I_d дает численное представление влияния сквозной задержки сигнала и ослабления отраженного эха на качество речи. Зависимость фактора I_d от сквозной задержки и коэффициента ослабления эха описывается сложным аналитическим выражением, приведенным в Рек. МСЭ-Т G.107. Графическое представление зависимости I_d от задержки при различном коэффициенте ослабления эха EL приведено на рисунке. При практическом применении метода часто не уточняют влияние эха, и проводят оценку качества для эталонного соединения с коэффициентом ослабления эха 55 дБ (Рек. МСЭ-Т G.107).

При передаче речевых сигналов по спутниковым линиям связи фактору задержки следует уделять особое внимание, поскольку имен-



Рисунок

но в этом случае задержки достигают своих наибольших значений. Наличие на таких линиях аппаратуры эхоподавления стало столь же обязательным, как и наличие самого спутника. Однако в процессе выявления и устранения паразитного эха эта аппаратура сама становится причиной ухудшения качества передаваемой речи. Возможность проведения объективной оценки качества передачи речи по спутниковому тракту с учетом влияния аппаратуры эхоподавления представляет большой интерес и может служить стимулом для

проведения работ по созданию специального прибора, способного объективно оценить качество речи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шелухин О. И., Лукьянцев Н.Ф. Цифровая обработка и передача речи. М.: Радио и связь. 2000.
2. Курилов О.С. Объективный анализ качества речи в IP-телефонии // Технологии и средства связи. 2002. №4.
3. Rec. P.800. Methods for subjective determination of transmission quality.
4. Rec. G.113. Снижение качества передачи.
5. Rec. G.711. Pulse code modulation (PCM) of voice frequencies.
6. Rec. P.861. Objective quality measurement of telephone-band (300-3400 Hz) speech codecs.
7. Rec. P.862. Perceptual evaluation of speech quality (PESQ), an objective method for end-to-end speech quality assessment of narrowband telephone networks and speech codecs.
8. Rec. G.107. The E-model, a computational model for use in transmission planning.

*Статья поступила в редакцию
4 марта 2003 г.*