

УДК 621.391

С.О. Соколов, С.В. Осієвський, М.В. Нечипоренко

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ОЦІНКА ЯКОСТІ ПЕРЕДАЧІ МОВИ В МЕРЕЖІ IP

*У статті проведено аналіз існуючих підходів до оцінки якості обслуговування при передачі мови в мережах IP. Визначені недоліки моделі MOS в мережах IP та акцентовано увагу на особливостях Є-моделі, що використовується в пакетних мережах. Наведено аналіз факторів, що впливають на якість передачі мови в мережах IP.*

**Ключові слова:** Є-модель, суб'єктивне тестування, об'єктивне тестування, R-фактор.

## Вступ

**Постановка проблеми.** Постійне зростання уваги до IP – телефонії призвело до появи ряду методів щодо вимірювання якості передачі голосу, а саме якості звуку, на яку впливає спосіб кодування, втрата пакетів і якість розмови, на якій позначається затримка.

В даний час найбільше розповсюдження знайшли два методи вимірювання якості мови: суб'єктивне тестування та машинне тестування. Суб'єктивне тестування характеризується залученням слухачів, що оцінюють здатність різних кодуємих систем відтворювати важкі фрази. Як приклад можна привести методи ACR (Absolute Category Rating – показник абсолютної категорії) або MOS (Mean Opinion Score – середня експертна оцінка). Для машинного тестування характерним є наявність електронної системи, що пропускає цифровий мовний файл через пристрій кодування/стисування, після чого проводиться математичне порівняння вихідного сигналу з вхідним. Як приклади можна привести ITU методи P.861: PSQM, що рекомендуються (Perceptual Speech Quality Measurement) і G.107 E Model, або R Factor (коефіцієнт R, об'єктивна міра якості передачі в телефонних мережах на основі електронної моделі) [1 – 3].

Суб'єктивні оцінки, на жаль, не можуть бути точно співвіднесені з мережними характеристиками, які використовуються при проектуванні і експлуатації мереж. Не можуть бути вони точно зіп'явлені і з процесами, що реалізуються в термінальному обладнанні (тобто поза мережею). В даному випадку мова йде про алгоритми стиснення, схемах кодування, механізмах захисту інформації, відновлення даних і так далі. Але слід зазначити, що суб'єктивні оцінки використовувалися протягом багатьох років як єдиний підхід до оцінки якості в телефонних мережах і певною мірою зберігають своє значення на сьогоднішній день. Машинне тестування (об'єктивний підхід) дозволяє описати показники якості при передачі мови в пакетній формі (Рекомендація MCE G.107) [1, 2].

У статті розглянуто обидва підходи, але основна увага приділяється аналізу Рекомендації G.107.

## Основна частина

При використанні підходу суб'єктивної оцінки якості обслуговування при передачі мови первинним критерієм якості аудіо і відеоінформації є сприйняття якості послуги користувачем. Найбільш широко використовується методика суб'єктивної оцінки якості описана в Рекомендації MCE P.800 (початкова редакція відноситься до 1993 р.) і відома як методика MOS (Mean Opinion Score). Відповідно до неї якість мови, що отримується при проходженні сигналу від джерела звукового сигналу до отримувача через систему зв'язку, оцінюється як середнє арифметичне від всіх оцінок, що виставляються експертами після прослуховування тестованого тракту передачі.

Експертні оцінки визначаються відповідно до наступної п'ятибальної шкали: 5 – відмінно, 4 – добре, 3 – прийнятно, 2 – погано, 1 – непринятно. Оцінки 3,5 балу і вище відповідають стандартній і високій телефонній якості, 3,0 – 3,5 – прийнятній якості, 2,5 – 3,0 – синтезованому звуку. Для передачі мови з хорошою якістю доцільно орієнтуватися на значення MOS не нижче 3,5 балів.

В основу об'єктивного підходу покладена так звана Є-модель, яка відкрила новий напрям в оцінці якості послуг, що пов'язаний з вимірюванням характеристик терміналів і мереж. Після створення Є-моделі було проведено значну кількість випробувань, в яких змінювався рівень дії спотворюючих мережних факторів. Дані цих тестів були використані в Є-моделі для обчислення об'єктивних оцінок. Результатом обчислень відповідно до Є-моделі являється число, що отримало назву R-фактор ("коефіцієнт рейтингу"). Значення R-фактора однозначно співставляються з оцінками MOS.

Відповідно до Є-моделі R-фактор визначається в діапазоні значень від 0 до 120, де 120 відповідає найвищому рівню якості [3, 4]. При розрахунку R-фактора враховуються 20 параметрів, в числі яких: одна-направлена затримка; коефіцієнт втрати пакетів; втрати даних із-за переповнювання буфера джиттера; спотворення, що вносяться при перетворенні аналогового сигналу в цифровий і подальшому стисненні (обробка сигналу в кодах); вплив луна і ін.

Все це говорить про те, що Є-модель і R-фактор можуть бути використані для об'єктивної оцінки якості передачі мови в технології VoIP. Обчислення R-фактора актуальне для випадку, коли спотворення сигналу в каналі не враховуються, а беруться до уваги спотворення, які мають місце при перетворенні реальної мови в електричний сигнал (і навпаки). Теоретичне (досяжне) значення R-фактора зменшується від 120 до 93,2, що відповідає оцінці MOS, рівній 4,4. Тобто при використанні Є-моделі оцінка 4,4 в системі MOS являється максимально можливою оцінкою якості мови в мережі без спотворень. Величина R-фактора змінюється від 0 до 93,2, що відповідає зміні оцінок MOS від 1 до 4,4. Значення R-фактора визначається по наступній формулі:

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_e + A, \quad (1)$$

де  $R_0 = 93,2$  – початкове значення R-фактора;  $I_s$  – спотворення, що вносяться кодеками і шумами в канал;  $I_d$  – спотворення за рахунок сумарної кризної затримки в мережі;  $I_e$  – спотворення, що вносяться обладнанням, включаючи втрати пакетів;  $A$  – фактор переваги. Наприклад, мобільні користувачі можуть погоджуватися з низьким рівнем якості, отримуючи додаткові зручності. В більшості випадків розрахунку R-фактора параметр  $A$  приймається рівним нулю.

Кожна із складових виразу 1, в тій чи іншій мірі впливає на якість мови в пакетних мережах. Так при розрахунку  $I_s$  – значення R-фактора зменшується, що викликано спотвореннями, спровокованими в кодеку при пакетизації мовного сигналу. Слід зазначити, що якість передачі мови в мережах з комутацією пакетів в останні роки була значно покращено за рахунок створення ефективних кодеків, які забезпечують хорошу розбірливість мовного сигналу на приймальному кінці. До складу цих методів входять: методи ефективного кодування мови (рекомендації MCE-T серії G.7xx); механізми придушення пауз (механізм кодування мови при переривистій передачі, відомий як Voice Activity Detection, VAD); механізми ехоподавлення (рекомендація MCE G.164) і ехокомпенсації (рекомендації MCE G.165 і G.168); механізми маскування помилок (packet loss concealment), що забезпечують компенсацію пропусків в мовному потоці, викликаних втратою окремих пакетів.

З точки зору дослідження характеристик мовних кодеків слід зазначити, що на сьогоднішній день існує досить великий набір ефективних кодеків з різними характеристиками.

У табл. 1 [3, 4] наведено характеристики кодеків, що відповідають стандартам MCE-T. Історично перший тип кодека, відомий як G.711 (версії G.711a і G.711u, швидкість вихідного сигналу 64 кбіт/с), перетворює аналоговий сигнал в цифровий з високою якістю без застосування операції стиснення.

Проте, при для його нормальної роботи необхідно забезпечити значну пропускну здатність каналу зв'язку в порівнянні з кодеками, в яких здійснюється стиснення інформації. Дана проблема на сьогоднішній день вирішується за рахунок використання цифрових сигнальних процесорів (DSP), на базі яких можна побудувати ефективні кодеки із низькими вимогами до пропускну здатності тракту зв'язку.

Таблиця 1  
Характеристики кодеків, що відповідають стандартам MCE-T

Кодек	Тип кодека	Швидкість кодування	Затримка при кодуванні
G.711	ИКМ	64 Кбіт/с	0,75 мс
G.726	АДИКМ	32 Кбіт/с	1 мс
G.728	LD – CELP	16 Кбіт/с	от 3 до 5 мс
G.729	CS – ACELP	8 Кбіт/с	10 мс
G.726 a	CS – ACELP	8 Кбіт/с	10 мс
G.723.1	MP – MLQ	6,3 Кбіт/с	30 мс
G.723.1	ACELP	5,3 Кбіт/с	30 мс

З метою збільшення пропускну здатності каналу зв'язку було розроблено ряд низько швидкісних кодеків, що мають менші вимоги до пропускну здатності, а отже дозволяють організувати на ідентичному каналі зв'язку більшу кількість з'єднань. Хоча така перевага є досить сумнівною, оскільки зменшується розбірливість мови, зростають затримки і якість мови стає чутливішою до втрати пакетів.

Крім вищесказаного слід зазначити, що затримка доставки пакету визначається часом перенесення пакету від джерела до одержувача. Час затримки змінюється залежно від трафіку в мережі і доступних мережних ресурсів, зокрема, пропускну здатності, під час доставки. Мова, з погляду інформаційного ресурсу, є досить чутливим видом трафіку, оскільки при перевищенні допустимого значення затримки пакету він відкидається. В результаті чого, при великій кількості втрачених пакетів якість мови погіршується, що і відображене в приведеній вище формулі для R-фактора, де вплив затримки врахований через складову  $I_d$ .

В результаті досліджень якості мовного сигналу ще в 60-х роках минулого сторіччя було встановлено, що людина починає відчувати затримки мовного сигналу, що перевищують 150 мс, і відчуває помітний дискомфорт, якщо затримка перевищує 250 мс. Пізніше, за підтримки MCE, були проведені дослідження впливу мережної затримки на якість телефонної розмови. Ці результати знайшли віддзеркалення в Рекомендації MCE G.114, відповідно до якої поріг затримки при передачі мови рекомендується, рівний 150 мс.

При затримці 300 мс розмова розпадається на фрагменти, які неможливо зв'язати в зливу мову.

Розглянемо, які чинники визначають сумарну величину затримки доставки пакету. Крізна затримка доставки пакету  $D_d$  визначається як сума чотирьох складових:

$$D_d = D_p + D_{nk} + D_{nn} + D_{bd}, \quad (2)$$

де  $D_p$  – затримка розповсюдження: час проходження електричного сигналу в металевому або волоконно-оптичному кабелі або в бездротовому середовищі.

Цей час залежить від фізичної відстані між точкою входу і точкою виходу з мережі;  $D_m$  – затримка пакетизації: час, який необхідно витратити в кодеку для перетворення аналогового сигналу в цифровий і формування пакету. Як видно з табл. 1, чим нижче швидкість сигналу на виході кодека, тим вища затримка при кодуванні;  $D_{nn}$  – затримка перенесення пакету: час проходження пакету через всі пристрої мережі, розташовані вздовж шляху передачі пакету, включаючи маршрутизатори, шлюзи, мережні екрани, обробники трафіку і так далі. Для деяких пристроїв, наприклад, синхронних мультіплексорів, ця величина постійна, для інших, таких, як маршрутизатори, затримка перенесення змінюється відповідно до навантаження в мережі;  $D_{bd}$  – затримка на приймальній стороні в буфері джиттера: буфер джиттера використовується для зменшення варіацій між моментами надходження пакетів на вході приймального пристрою. Буфер може накопичувати від однієї до декількох датаграм. Так, наприклад, типовий буфер джиттера накопичує дві датаграми і затримка  $D_{bd}$  складає від 20 до 30 мс залежно від типу кодека.

Зрозуміло, що затримка перенесення – випадкова величина яка залежить від умов функціонування мережі в певний момент часу.

Варіація затримки доставки пакету (джиттер). Термін "джиттер" (варіація затримки) використовується для опису випадкових змін між моментами надходження послідовних пакетів мови в приймач. Коли моменти прибуття мовних пакетів в пункт призначення стають нерегулярними, це веде до спотворення звукового сигналу і при великих значеннях джиттера, що перевищують декілька десятків мс, мова стає нерозбірливою.

Втрати пакетів визначаються як відсоток пакетів, не доставлених до місця призначення. У мережі є ряд причин втрати пакетів основною з яких є перевантаження мережі коли черги в комутаторах і маршрутизаторах швидко зростають. Якщо перевантаження зберігається протягом тривалого часу, відбувається переповнення буферів, і пакети втрачаються. Втрати мовних пакетів не повинні перевищувати 1% в середньому на достатньо великому часовому інтервалі. При великих значеннях коефіцієнта втрат у відновленій на приймальній стороні мові виникають розриви.

## Висновки

Рекомендацією МСЕ Р.800 визначено метод, заснований на суб'єктивних оцінках групи експертів. На жаль цей метод не може враховувати вплив імовірно-часових характеристик мереж на якість передачі мови в пакетних мережах.

Метод обчислення R-фактора, заснований на E-моделі, що враховує великий набір факторів, які відображають вплив кінцевих пристроїв і транспортного середовища на якість обслуговування.

Між суб'єктивними оцінками, заснованими на моделі MOS, і R-фактором існує однозначний зв'язок, що забезпечує відповідне співставлення отриманих результатів.

## Список літератури

1. Финнеран Михаил. Вопросы качественной передачи голоса по IP-сетям: джиттер, задержка и эхо / Михаил Финнеран // Электронные компоненты. – М.: Электроника, 2009. – № 1. – С. 59-62.
2. Альваро Ретана Принципы проектирования корпоративных IP-сетей / Альваро Ретана, Дон Слайс, Расс Уайт– С.-П.: Вильямс, 2002. – 368 с.
3. Основы передачи голосовых данных по сетям IP / Джонатан Дэвидсон, Джеймс Питерс, Манож Бхатия, Сатиш Калидинди, Судипто Мукхерджи. – С.-П.: Вильямс, 2007. – 400 с.
4. Vutukury S. Multipath Routing Mechanisms for Traffic Engineering and Quality of Service in the Internet, PhD thesis, University of California, Santa Cruz, 2001.

Надійшла до редколегії 15.12.2010

Рецензент: д-р ф.-м. наук, проф. С.В. Смеляков, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ ЯЗЫКА В СЕТИ IP

С.А. Соколов, С.В. Осиевский, М.В. Нечипоренко

*В статье проведен анализ существующих подходов к оценке качества обслуживания при передаче языка в сетях IP. Определены недостатки модели MOS в сетях IP и акцентировано внимание на особенностях E-модели, что используется в пакетных сетях. Приведен анализ факторов, которые влияют на качество передачи языка в сетях IP.*

**Ключевые слова:** E-модель, субъективное тестирование, объективное тестирование, R-фактор.

## AN ESTIMATION OF QUALITY OF PASSING TO SPEECH IS IN A NETWORK OF IP

S.A. Sokolov, S.V. Osievskiy, M.V. Nechiporenko

*In the article the analysis of the existent going is conducted near the estimation of quality of service at the transmission of language in the networks of IR. The lacks of model of MOS are certain in the networks of IP and attention on the features of E-model is accented, that is utilized in package networks. The analysis of factors which influence on quality of transmission of language in the networks of IP is resulted.*

**Keywords:** E-model, subjective testing, objective testing, R-factor.