

АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ Е-HEALTH СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ Е-МОДЕЛІ

Мельнікова Л.І., Лінник О.В.

Кафедра інфокомунікаційної інженерії ім. В.В. Поповського,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
Україна
Кафедра механічної та біомедичної інженерії,
НТУ «Дніпровська політехніка»,
Україна

E-mail: liubov.melnikova@nure.ua,
linnyk.ol.o@nmu.one

Abstract

This paper presents an analysis of voice communication quality in e-Health systems using the ITU-T E-model as a predictive framework. The study simulates VoIP scenarios under varying network conditions—delay, jitter, packet loss—and evaluates the performance of key codecs (G.711, G.729, etc.) using MATLAB. The R-factor and Mean Opinion Score (MOS) are calculated to assess perceived quality. Graphical models illustrate acceptable parameter ranges for maintaining $R \geq 70$ across different burst conditions. Results indicate that delay and packet loss are the most influential factors in voice quality degradation. G.711 provides the highest MOS but requires significant bandwidth, while G.729 offers stable performance under constrained conditions. The E-model proves effective for estimating voice quality without subjective testing, making it particularly valuable for e-Health applications where reliable communication is critical. Recommendations are provided for codec selection and network configuration to ensure robust voice transmission in medical environments.

Системи e-Health, що базуються на технологіях VoIP (Voice over IP), відіграють ключову роль у забезпеченні дистанційної медичної допомоги, телемедицини та інших цифрових сервісів охорони здоров'я [1]. Якість голосового зв'язку в таких системах є критично важливою, оскільки вона безпосередньо впливає на точність комунікації між медичними працівниками та пацієнтами [2].

Основними параметрами, що визначають якість VoIP у e-Health середовищі, є затримка, джитер, втрати пакетів та вибір кодека [3,4,5].

Для об'єктивної оцінки якості голосових комунікацій в e-Health системах використовується Е-модель — аналітичний інструмент, рекомендований ITU-T (G.107), який дозволяє прогнозувати сприйняття якості зв'язку користувачем [6]. Особливу увагу слід приділяти безпроводовим мережам, які часто використовуються в e-Health інфраструктурі, адже вони мають змінну пропускну здатність і схильні до перешкод. Це вимагає застосування адаптивних кодеків, механізмів компенсації джитеру та управління QoS [7,8].

Актуальність дослідження полягає в необхідності забезпечення стабільної та високоякісної голосової комунікації в умовах медичних сервісів, де кожна секунда та чіткість передачі мають вирішальне значення.

Метою дослідження є проведення аналізу параметрів голосового зв'язку в e-Health системах з використанням Е-моделі для оцінки якості комунікацій у різних умовах мережевого середовища.

Для досягнення цієї мети треба вирішити такі задачі:

1. Ознайомитися з принципами роботи Е-моделі та її ключовими параметрами, що впливають на якість голосового зв'язку в медичних системах.
2. Провести моделювання VoIP-з'єднань у контексті e-Health з урахуванням типових мережевих характеристик.
3. Визначити вплив окремих параметрів (затримка, джитер, втрати пакетів) на якість голосової комунікації.

4. Порівняти результати моделювання з суб'єктивними оцінками користувачів (MOS) для верифікації моделі.

Е-модель — це інструмент прогнозування якості голосового зв'язку, який обчислює рейтинг якості R, що далі трансформується в Mean Opinion Score (MOS).

Як параметр якості передачі виступає так званий R-фактор, що змінюється в межах [0; 100] і відображає задоволеність користувача якістю сервісу, що надається передачі голосу (1). Взаємозв'язок R-фактора, задоволеності користувачів та оцінки MOS приведена в табл.1.

Таблиця 1. Взаємозв'язок R-фактора, MOS і думки користувачів

R-фактор	Думка користувача	Оцінка MOS
100-90	Добре	5,0 – 4,3
90-80	Задовільно	4,3 – 4,0
80-70	Деякі користувачі незадоволені	4,0 – 3,6
70-60	Багато користувачів незадоволені	3,6 – 3,1
60-50	Майже всі користувачі незадоволені	3,1 – 2,6
50-0	Не рекомендується	2,6 – 1,0

Основні компоненти моделі [2] :

$$R = Ro - Is - Id - Ie - eff + A, \quad (1)$$

де Ro — базовий рейтинг якості (ідеальні умови),

Is — вплив шуму,

Id — вплив затримки,

$Ie - eff$ — вплив імперфекцій кодека,

A — фактор переваги (адаптація користувача).

В принципі Ro представляє основне співвідношення сигнал/шум, включаючи такі джерела шуму, як шум ланцюга і шум приміщення. Коефіцієнт Is представляє комбінацію з усіх знижень якості, які діють на мовний сигнал більш-менш одночасно. Коефіцієнт Id являє зниження якості, що викликається затримкою, а коефіцієнт зниження ефективності обладнання $Ie-eff$ представляє зниження якості, що викликається кодеками з низькою бітової швидкістю. Цей коефіцієнт також включає зниження якості через втрату пакетів з довільним розподілом. Коефіцієнт виграшу A дозволяє компенсувати коефіцієнти зниження якості в тих випадках, коли існують інші переваги доступу до користувача.

За допомогою засобів програмного пакета MATLAB на основі Е-моделі була розроблена програма оцінки якості передачі голосової інформації.

Проведено моделювання VoIP-з'єднань у середовищі з контрольованими параметрами:

1. Затримка: 50–300 мс;
2. Джитер: 10–50 мс;
3. Втрати пакетів: 0–5%;
4. Кодеки: G.711, G.729, G.726, G.728, G.723.1.

Для кожного сценарію обчислено R-рейтинг та MOS-значення.

За допомогою даних, отриманих при моделюванні, можна висунути загальні вимоги до мережі передачі для організації IP-телефонії з заданою якістю $R \geq 70$ при різних значеннях коефіцієнту сплеску $BurstR$ при використанні всіх основних кодеків. Для зручності уявимо рішення даної задачі графічно (рис. 1). Заштрихована область являє собою множину допустимих рішень.

Порівняно результати з суб'єктивними оцінками користувачів у тестовому середовищі. Затримка понад 150 мс суттєво знижує R-рейтинг (до 70), що відповідає $MOS \approx 3.5$. Джитер понад 30 мс без компенсації призводить до зниження якості на 0.5–1 бал. Втрати пакетів понад 2% критично впливають на сприйняття, особливо для кодеків з низькою стійкістю до втрат. Кодек G.711 забезпечує найвищу якість ($MOS > 4.3$), але має високу вимогу до пропускну здатності. Кодек G.729 демонструє стабільну якість при втраті до 1%, але MOS не перевищує 3.9.

Е-модель дозволяє ефективно прогнозувати якість VoIP-зв'язку без необхідності суб'єктивного тестування. Вона враховує як технічні параметри, так і психологічні аспекти сприйняття. Проте модель не враховує адаптивні механізми сучасних протоколів, таких як jitter buffer або FEC, що

може призводити до відхилень у реальних умовах. Для точнішої оцінки доцільно поєднувати Е-модель з емпіричними даними та адаптивними механізмами.

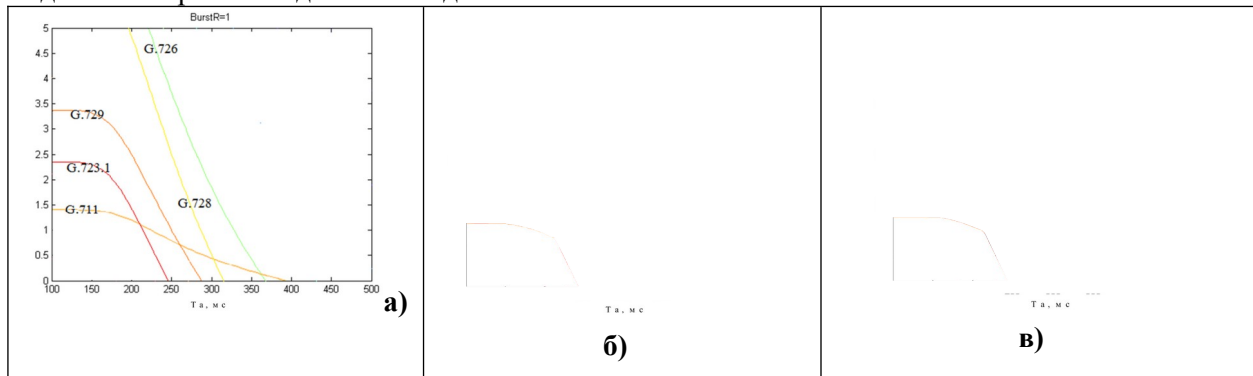


Рис.1. Діапазон допустимих значень T_a и P_{pl} для $R \geq 70$ при різних значеннях коефіцієнту сплеску BurstR: а) при BurstR = 1; б) при BurstR = 1.5; в) при BurstR = 2

У роботі проведено аналіз параметрів, що впливають на якість голосового зв'язку в e-Health системах, з використанням Е-моделі. На основі моделювання в середовищі MATLAB визначено критичні пороги затримки, джитеру та втрат пакетів для забезпечення прийнятного рівня якості ($R \geq 70$). Показано, що найбільший вплив на якість мають затримка понад 150 мс та втрати пакетів понад 2%, особливо при використанні кодеків з низькою стійкістю до втрат.

Література

1. Waitzberg R., Pfundstein I.D., Maresso A., Rechel B., Ginneken E., Quentin W. Analysis of health system characteristics needed before performance assessment // Bull World Health Organ. 2024. Vol. 102(7). P. 547-549.
2. Sanchez-Iborra R., Santa J., F. Skarmeta A., Revisiting VoIP QoE Assessment Methods: Are They Suitable for VoLTE? // Network Protocols and Algorithms. 2025. Vol. 8, No. 2. P. 39–57.
3. Alava D., Cedeño J. A., Cedeño M. A. Evaluation of Quality of Service in VoIP Traffic Using the E Model // Advances in Research in Technologies, Information, Innovation and Sustainability (ARTIIS 2021), Springer. 2021. P. 25–36.
4. Daengsi T., Wuttidittachotti P. QoE Modeling for Voice over IP: Simplified E-model Enhancement Utilizing the Subjective MOS Prediction Model // arXiv preprint. 2023.
5. Hersent O., Gurle D., Petit J.-P. IP Telephony: Packet-based Multimedia Communications Systems // Addison-Wesley Professional. 1999.
6. ITU-T. Recommendation G.107: The E-model: a computational model for use in transmission planning. Geneva: International Telecommunication Union. 2015. 41 p.
7. Мельнікова Л.І., Лінник О.В., Кривошапка М.В., Барсук В.О. Застосування евристичної процедури багатокритеріальної оптимізації до вибору варіанта мовного кодеку в IP-мережі // Проблеми телекомунікацій. 2020. Vol. 1, No. 26. P. 23–32.
8. Felipe C., González A. L., Torres R. J. An Assessment of Voice Quality and QoS in Real VoIP Calls Using Multiple Voice Codecs [Електронний ресурс] // Proc. IIIS Spring Conf. 2024. Режим доступу: <https://www.iiis.org/CDs2024/CD2024Spring/papers/ZA399RL.pdf>