

## ОЦІНКА ЯКОСТІ ІР-ТЕЛЕФОНІЇ

## ESTIMATION QUALITY IP-TELEPHONY

**Анотація.** Досліджені показники якості ІР-телефонії та запропоновані методи їх поліпшення для випадків застосування як корпоративних мереж, так і мережі Інтернет.

**Summary.** The analysis of figure of merits IP-telephony is executed and the measures on their optimization for cases of usage corporative of networks and Internet networks are offered.

Основною з проблем ІР-телефонії є наближення якості послуг до телефонного сервісу [1]. Якість обслуговування (Quality of Service – QoS) – властивість мережі забезпечити кращу якість (сервіс) для певного виду трафіка з різними пріоритетами і допустимими часовими затримками [2].

Служба QoS дає можливість використовувати для керування мережею два важливих механізми – керування в умовах перевантаження і запобігання перевантажень. Перший з них дозволяє кінцевій станції відразу знижувати швидкість передавання даних, коли в мережі починається втрата пакетів. Прикладом цього є запобігання перевантажень у мережі із застосуванням механізму випадкового видалення пакетів (Random Early Detection, RED). При заповненні черг вище визначеної межі цей механізм змушує маршрутизатор вибирати з черги за випадковим законом деякі пакети і "втрачати" їх, що і дозволяє уникнути переповнення черги.

Механізм пропорційного випадкового виділення пакетів WRED (Weighted RED) є більш досконалою "версією" RED. Він передбачає, що вибір пакетів, які повинні "втратитися", буде відбуватися з урахуванням їхнього пріоритету згідно з IP TOS. Серед пристроїв, що підтримують механізми RED і WRED, можна назвати маршрутизатори серій 7000 і 12000 фірми Cisco [3].

Зазначена вище проблема якості ІР-телефонії має багато складових [4], деякі з них ще далекі від вирішення. У зв'язку з цим, метою статті є дослідження параметрів якості ІР-телефонії в залежності від типу кодування, мовного навантаження у пакеті, ефективного використання смуги пропускання мережі та вироблення рекомендацій щодо створення автоматизованої системи контролю, яка буде гарантувати задану якість послуг зв'язку на всіх ділянках мережі.

**1. Дослідження показників якості зв'язку ІР-телефонії.** Якість передавання мови по мережі передавання даних значною мірою залежить від маршруту, яким проходять пакети від відправника до отримувача інформації. В роботі [1] проводився розрахунок параметра, що є найбільш критичним з точки зору якості переданої по ІР-мережі мови – часу затримки голосових пакетів при проходженні шляху від джерела до отримувача інформації. Що відбувається в реальних мережах, визначено шляхом проведення наступних досліджень.

**1.1. Вимірювання параметрів якості зв'язку в залежності від типу кодування.** Для здійснення виклику із однієї точки мережі в іншу необхідно установити таку конфігурацію голосових портів, яка б забезпечила надійне передавання сигналів між телефонним пристроєм і маршрутизатором. Потрібно також задати конфігурацію маршрутизатора, яка дозволила б установити логічне голосове з'єднання з адресованою точкою виклику. Адресовані точки виклику забезпечують логічне відповідність між голосовими портами, а також дають можливість реалізувати таблицю викликів і визначити необхідні маршрути. Голосові порти і точки виклику є ключовими елементами конфігурації, оскільки вони задають точки входу в мережу і реалізують транспортну службу для голосових потоків.

Для кожної адресної точки виклику зазначається метод кодування, що використовується при обробленні мови у шлюзі. Для прикладу операційна система Cisco IOS дозволяє за допомогою команди *codec {параметр}* використовувати у маршрутизаторі AS-5300 до 10 методів кодування, частину з яких наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Параметри команди *codec*

Параметр	Опис	Швидкість, біт/с
G711alaw	Стандарт G.711, а	64000
G711ulaw	Стандарт G.711, μ	64000
G723r53	Стандарт G.723	5300
G723r63	Стандарт G.723	6300
G728	Стандарт G.728	16000
G729r8	Стандарт G.729	8000

Проведені [1] розрахунки свідчать про те, що чим більша швидкість кодування, тим менші затримки виникають при передаванні мовних пакетів по мережі. Однак при цьому слід врахувати, що смуга пропускання використовується більш інтенсивно. Так, при використанні кодека G.729 (16 Кбіт/с) середній час затримки пакетів у мережі становить 74 мс, G.723r53 (5,3 Кбіт/с) – 92 мс, G.729r8 – 81 мс. Час затримки, отриманий внаслідок розрахунків [1] (табл. 2), перевищує час затримки при вимірюванні, оскільки розрахунок проводився для близького до максимального значення завантаження мережі (одночасно відбувається 100 телефонних розмов).

Таблиця 2 – Час затримки при передаванні мови по мережі IP, мс

Компресія і кодування мови	30
Передача по ЛКМ (на виході)	5
Доступ до мережі	18
Затримка на передавання по мережі	3,2
Вихід із мережі	18
Передача по ЛКМ (на виході)	5
Компенсуючий буфер	20
Декомпресія	20
Всього	119,2
<i>Отримана величина затримки відповідає вимогам стандарту ITU-T G.114, який рекомендує щоб затримка при передаванні голосу по мережі IP в одному напрямку не перевищувала 150 мс.</i>	

Втрати пакетів менше залежать від обраного типу кодека. При цьому втрати значної кількості пакетів зустрічаються рідко, переважають втрати 1...4 пакетів, що відображено на рис. 1.

Слід також відмітити вплив втрат пакетів на якість відтвореної мови, що залежить від використаного кодека. Якщо втрачений пакет, що містить в собі N-мовних відліків кодека G.711, тоді на приймальному кінці буде відмічений пропуск звукового фрагмента тривалістю  $125 \times N$  мкс. При використанні більш удосконаленого кодека, втрата одного пакета може відобразитися на відтворенні декількох наступних, оскільки кодеку потрібний час для того щоб досягти синхронізації – втрата кадру тривалістю 20 мс може призвести до відчутного ефекту тривалістю 150 мс і більше [4].

1.2. Залежність якості зв'язку від величини мовного навантаження у пакеті. Зміна параметра величини корисного навантаження впливає на наступні характеристики:

- визначає кількість вибірок, що припадають на один пакет;
- змінює ширину смуги пропускання, час затримки і кількість пакетів за секунду;
- практичність використання залежить від загальної затримки в мережі;
- збільшення параметра веде до зменшення смуги пропускання і збільшує затримку;
- зменшення параметра веде до збільшення смуги пропускання і зменшує затримку.

Характерно, що збільшення розміру пакета за рахунок корисного навантаження веде до зменшення кількості пакетів, що передаються по мережі. Така залежність не покращує якість переданої мови, а навпаки – погіршує її [2]. Втрата якості внаслідок збільшення розміру пакета найбільш суттєва при використанні низькошвидкісних каналів зв'язку (див. табл. 3), проте і для високошвидкісних каналів прослідковується зростання часу затримки і збільшення рівня втрат пакетів у мережі. При цьому слід врахувати, що пакет більшого розміру несе більше змістовної інформації і його втрата відповідає значному зниженню якості відтвореної на приймачі мови (рис. 2).

Таблиця 3 – Послідовна затримка

Тип кодування	Швидкість кодування, Кбіт/с	Затримка (мс) при 64 Кбіт/с	Затримка (мс) при 2048 Кбіт/с
G.729	8	6	0,18
G.723.1	5,3	3,74	0,12
G.728	16	12	0,38

### 1.3. Дослідження впливу служби ресстрації голосової активності (VAD)

Для ефективнішого використання наявної смуги пропускання користуються стиском даних при передаванні мови по пакетних мережах, при цьому якість переданої інформації змінюється в залежності від обраного способу кодування. Однак якщо розглянути структуру телефонної розмови,

то виявиться, що в розмові є паузи, які виникають при очікуванні відповіді.

Найдоцільнішим і природним для систем IP-телефонії є вживання кодеків зі змінною швидкістю кодування мовного сигналу. В основі кодека мови зі змінною швидкістю лежить класифікатор вхідного сигналу, що визначає ступінь його інформативності і, таким чином, задаючий метод кодування і швидкість передавання мовних даних. Найпростішим класифікатором мовного сигналу є Voice Activity Detector (VAD), який виділяє у вхідному мовному сигналі активну мову і паузи. При цьому, фрагменти сигналу, що класифікуються як активна мова, кодуються будь-яким з відомих алгоритмів (як правило, на базі методу Code Excited Linear Prediction – CELP) з типовою швидкістю 4...8 Кбіт/с. Фрагменти, класифіковані як паузи, кодуються і передаються з дуже низькою швидкістю (порядку 0,1...0,2 Кбіт/с), або не передаються взагалі. Схеми більш ефективних класифікаторів вхідного сигналу детальніше здійснюють класифікацію фрагментів, що відповідають активній мові. Це дозволяє оптимізувати вибір стратегії кодування (швидкості передаваних даних), виділяючи для особливо відповідальних за якість мови ділянок мовного сигналу більше число біт (відповідно велику швидкість), для менш відповідальних - менше біт (меншу швидкість). За такої побудови кодерів можуть бути досягнуті низькі середні швидкості (2...4 Кбіт/с) за високої якості мови, що синтезується.

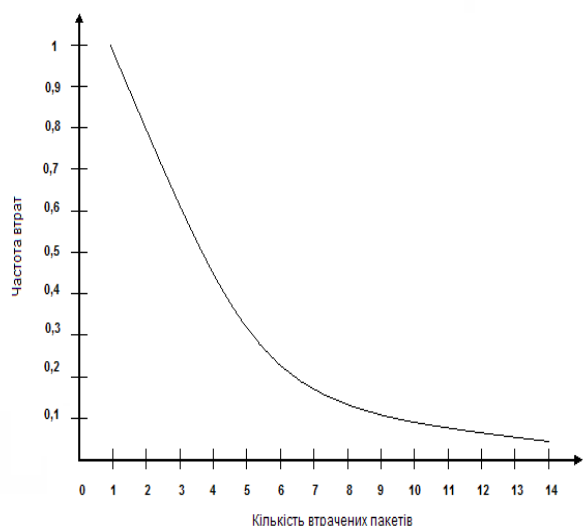


Рисунок 1 – Гістограма втрат пакетів

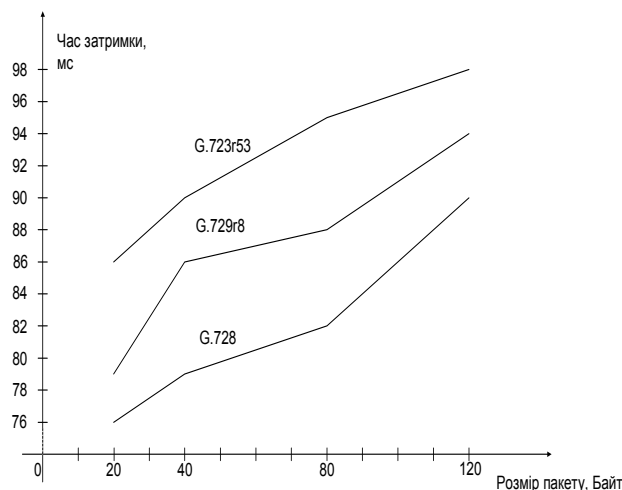


Рисунок 2 – Залежність часу затримки від розміру пакета

Тут наведені результати вимірювань показників якості IP-телефонії, які проводились на базі мережі компанії “Загальні мережі”, яка є провайдером IP-телефонії і надає послуги телефонного зв’язку міжміського і міжнародного значення.

З цією метою для голосового порту маршрутизатора Cisco AS-5300 використовується технологія VAD, що досліджує мову для визначення її потужності, зміни потужності, частоти і зміни частоти. В періоди мовчання механізм розсилки посилає повідомлення “початок періоду мовчання”, протягом якого передавач передає слухачу лише комфортний шум. Протягом періоду мовчання передавач не посилає приймачу пусті пакети чи фрейми, внаслідок чого залишається більше місця для передавання заповнених пакетів.

Для прикладу в операційній системі Cisco IOS служба VAD активізується командою *voice vad-time {milliseconds}*. За допомогою даної команди задається період очікування в мілісекундах перед виявленням паузи і початком подавлення передачі голосових пакетів. Діапазон можливих значень 250...65536 байт. При завданні цього параметра необхідно бути обережним, оскільки використання VAD може призвести до склеювання незалежних слів і фраз.

Ефективність використання служби VAD має наглядний вигляд при завданні високого значення параметра *milliseconds* (*voice vad-time 15000*), (рис. 3). Проведені вимірювання показують, що при відсутності служби реєстрації голосової активності під час телефонних переговорів між абонентами відслідковуються моменти, коли система фіксує одночасну розмову від двох абонентів, що малоймовірно, і відповідно здійснює передачу пакетів в обох напрямках. Така ситуація призводить до неефективного використання наявної смуги пропускання (особливо при використанні кодерів із

високою швидкістю кодування) та погіршення якості зв'язку внаслідок збільшення величини затримки в розподіленій мережі. Середня кількість переданих пакетів, що припадають на кожні 100 секунд розмови показана на рис. 3.

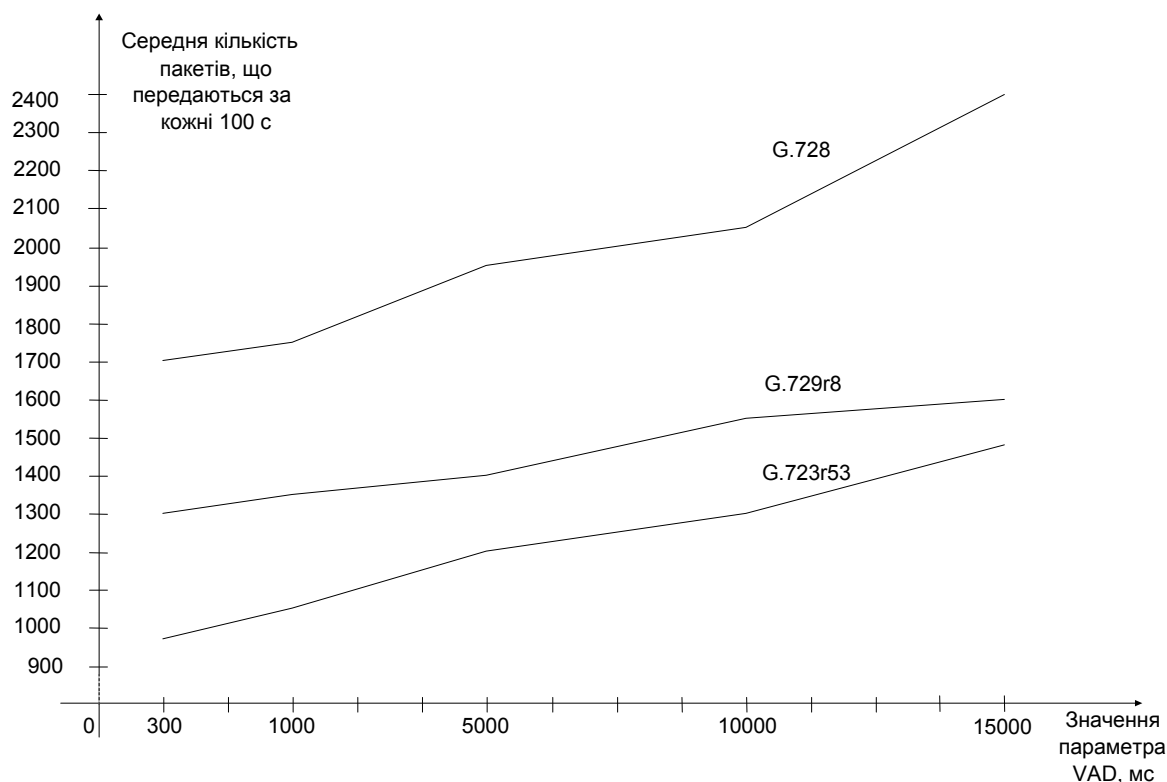


Рисунок 3 – Ефективність використання технології виявлення і подавлення пауз

До основних переваг служби VAD відносять:

1. Використання смуги пропускання протягом довгого часу скорочується на 30...40% (найбільше це справджується при використанні високошвидкісних магістралей).
2. Реальна економія залежить від типу додатка і характеру потоку даних. Наприклад, при неперервному відтворенні музики економія є нульовою.

З метою забезпечення високої якості IP-телефонії проаналізовані причини, що негативно впливають на якість мови, переданої по IP-мережі, проведено їх оцінку і запропоновані методи їх усунення. За результатами проведених досліджень можна зробити наступні висновки.

1. Покращення якості IP-телефонії можна досягти за рахунок вибору оптимального розміру пакета. Збільшення розміру пакета призводить до зростання часу затримки пакетів (рис. 2). Оптимальним можна вважати пакет розміром 20...120 байт.

2. Параметри мережі, через яку проходять голосові пакети, мають важливий вплив на якість IP-телефонії. В корпоративних мережах затримка розповсюдження стабільна, а при використанні в якості IP мережі Інтернет якість переданої мови може значно погіршитись. При виявленні "слабкого" місця в мережі необхідно змінити маршрут проходження пакетів, доки даний вузол не зможе забезпечити безперешкодного проходження пакетів.

3. Доцільно використовувати інтерполяцію мови або технологію виявлення пауз (рис. 3).

4. Завдяки ефективному використанню пропускну здатності каналу можна забезпечити передачу лише заповнених голосових пакетів і вплинути на покращення якості зв'язку.

### Література

1. Тимченко О.В., Колодій Р.С. Комплексна оцінка затримок при конфігуруванні пакетної мережі з підтримкою телефонії // Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України. – Вип.18. – К., 2002. – С.167-180.
2. Передача голосовых данных по сетям Cisco Frame Relay, ATM и IP: Пер. с англ. – М.: Изд. дом "Вильямс", 2002.
3. www.cisco.com – Web-вузол корпорації Cisco Systems, Inc.
4. Гольдштейн Б.С., Пинчук А.В., Суховицкий А.Л. IP-телефония. – М.: Радио и связь, 2001. – 336 с.