

Лекція 3. Передача мови ІР-мережею

Доц.,к.т.н. Григоренко О.Г.

Основні питання

- Показники якості при передаванні мови та засоби їх забезпечення.
- Принципи кодування мови
- Кодеки IP-телефонії, стандартизовані ITU-T
- Порівняння кодеків

Якість передачі мовної інформації по ІР-мережі

- ІР-телефонія є однією з областей передачі даних,
- де всі процеси передачі інформації повинні відбуватися в режимі **реального часу** і
- де особливо важлива **динаміка передачі сигналу**, яка забезпечується сучасними методами кодування і передачі інформації;
- в результаті збільшується пропускна здатність каналів в порівнянні з традиційними телефонними мережами

Показники якості при передаванні мови та засоби їх забезпечення

- Показники, що впливають на якість IP-телефонії:
 - ❑ характеристики IP-мережі
 - ❑ характеристики шлюзу
- Якості IP-мережі характеризують:
 - ✓ максимальна пропускна здатність - максимальна кількість даних, яку вона передає;
 - ✓ затримка - проміжок часу, необхідний для передачі пакета через мережу;
 - ✓ джиттер - затримка між двома послідовними пакетами;
 - ✓ втрата пакета - пакети або дані, втрачені при передачі через мережу.

Показники якості при передаванні мови та засоби їх забезпечення

- Якості шлюзу характеризують:
 - ✓ необхідна смуга частот пропускання;
 - ✓ затримка - час, необхідний сигнальному процесору DSP для кодування і декодування мовного сигналу;
 - ✓ обсяг буфера джиттера для збереження пакетів даних до тих пір, поки всі пакети не будуть отримані; потім можна буде передати частину мовної інформації в необхідній послідовності і таким чином мінімізувати джиттер;
 - ✓ можливість втрати пакетів - втрата пакетів при стисненні і / або передачі в обладнанні IP-телефонії;
 - ✓ наявність функції придушення луни, що виникає при передачі мови мережею

Показники якості при передаванні мови та засоби їх забезпечення

- У мережах IP для передачі голосу використовується протокол дейтаграм користувача UDP (User Datagram Protocol), а не TCP .
- Застосування протоколу UDP в технології VoIP обумовлено тим, що у пристрою відправника пакетів немає необхідності перед відправкою наступних пакетів чекати підтвердження від пристрою одержувача. Дані VoIP відправляються тим же способом, який використовується при відправленні аудіо- або відео в мережі Інтернет.
- Втрата невеликої кількості голосових пакетів вважається прийнятною і може бути компенсована за допомогою механізму кодування / декодування, а також різних методів інтерполяції мови, тобто за допомогою заповнення відсутніх звуків за допомогою DSP-технології, яка аналізує форму звукового коливання і

Затримка і заходи щодо зменшення її впливу

- Організація ІТУ-Т займалася дослідженням проблем, пов'язаних із затримками при передачі голосу мережею
- В результаті був розроблений стандарт ІТУ-Т G.114, який рекомендує, щоб затримка при передачі голосу в одному напрямку не перевищувала **150 мілісекунд**.
- Також стандарт рекомендує розглядати затримку від **150 до 400 мілісекунд** як прийнятну, якщо співрозмовники розуміють наявність затримки і готові з нею змиритися.

Затримка і заходи щодо зменшення її впливу

- У тому випадку, коли затримка сягає 400 мілісекунд і більше, вона стає помітною.
- Для порівняння можна навести спілкування через супутник, коли затримка при передачі по супутниковому зв'язку в одному напрямку становить приблизно 170 мілісекунд; при цьому не враховується затримка, що виникає в пристроях, розташованих на землі.
- Стандарт також встановлює, що при передачі голосу затримка більш ніж 400 мілісекунд є неприйнятною

Затримка і заходи щодо зменшення її впливу

- Можливі випадки, коли при передачі мови по IP-мережі виникають набагато більші, ніж в ТМЗК, затримки, які, до того ж, змінюються випадковим чином.
- Цей факт є проблемою і сам по собі, але крім того, ускладнює проблему **луни**.
- **Затримка** (або час запізнювання) визначається як проміжок часу, що витрачається на те, щоб голосовий сигнал пройшов відстань від мовця до слухача.

Причини затримки при передачі мови від джерела до приймача

1. Затримка накопичення (іноді називається алгоритмічною затримкою): ця затримка обумовлена необхідністю збору кадру мовних відліків, яка виконується в мовному кодері. Величина затримки визначається типом мовного кодера і змінюється від невеликих величин (0,125 мкс) до одиниць мілісекунд.
2. Затримка обробки: процес кодування і збору закодованих відліків в пакети для передачі через пакетну мережу створює певні затримки. Затримка кодування або обробки залежить від швидкості роботи процесора і виду алгоритму обробки.

Причини затримки при передачі мови від джерела до приймача

3. Мережева затримка: затримка обумовлена
- ✓ фізичним середовищем і
 - ✓ протоколами, застосовуваними для передачі мовних даних, а також
 - ✓ буферами, використовуваними для видалення джиттера пакетів на прийомному кінці

Джерела затримки при передачі мови IP-мережею



Затримка при передачі голосу

- Важливо відзначити той факт, що затримки в мережах з комутацією пакетів впливають не тільки на якість передачі мовного трафіку в реальному часі.
- Дані затримки в певних ситуаціях можуть порушити правильність функціонування телефонної сигналізації в цифрових трактах типу E1 / T1 на стику голосових шлюзів з обладнанням комутованих телефонних мереж

Явище джиттера, заходи зменшення його впливу

- Коли мова або дані розбиваються на пакети для передачі через IP-мережу, пакети часто прибувають в пункт призначення в різний час і в різній послідовності.
- Це створює розкид часу доставки пакетів - джиттер.
- Джиттер призводить до специфічних порушень передачі мови, які сприймаються як тріск і клацання.

Три форми джиттера:

1. Джиттер, залежний від даних (Data Dependent Jitter - DDJ) - відбувається в разі обмеженої смуги пропускання або при порушеннях в мережевих компонентах.
2. Спотворення робочого циклу (Duty Cycle Distortion - DCD) - обумовлено затримкою поширення між передачею від низу до верху і зверху вниз.
3. Випадковий джиттер (Random Jitter - RJ) - є результатом теплового шуму

Необхідність застосування буфера

- Величини виникаючих затримок і їх ймовірності важливі для організації процедури обробки і вибору параметрів обробки.
- Зрозуміло, що тимчасова структура мовного пакетного потоку змінюється.
- Виникає необхідність застосування буфера для фільтрації перетворення пакетної мови, обтяженої нестационарними затримками в каналі і можливими перестановками пакетів, в безперервний природний мовний сигнал в масштабі реального часу.
- Параметри буфера визначаються компромісом між величиною запізнювання телефонного сигналу в режимі дуплексного зв'язку і відсотком втрачених пакетів.
- Втрата пакетів є іншим серйозним негативним явищем в IP-телефонії.

Причини появи джиттера

1. Вплив мережі
2. Вплив операційної системи
3. Вплив джиттер-буфера
4. Вплив кодека і кількості переданих в пакеті кадрів

Причини появи джиттера

1. Вплив мережі.

- Час проходження пакета через мережу є нестійким і погано передбачуваним .
- Якщо навантаження мережі відносно мале, маршрутизатори і комутатори можуть обробляти пакети практично миттєво, а лінії зв'язку бувають доступні майже завжди.
- Якщо завантаження мережі відносно велике, пакети можуть досить довго чекати обслуговування в чергах.
- Чим більше маршрутизаторів, комутаторів і ліній в маршруті, яким проходить пакет, тим більше час його запізнення і тим більше варіація цього часу, тобто джиттер.

Причини появи джиттера

2. Вплив операційної системи.

- Більшість додатків IP-телефонії (особливо клієнтських) являють собою звичайні програми, які виконуються в середовищі будь-якої операційної системи, наприклад, Windows або Linux.
- Ці програми звертаються до периферійних пристроїв (до плат обробки мовних сигналів, спеціалізованих плат систем сигналізації) через інтерфейс прикладних програм для взаємодії з драйверами цих пристроїв, а доступ до IP-мережі здійснюють через Socket-інтерфейс

Вплив операційної системи

- Більшість операційних систем не можуть контролювати розподіл часу центрального процесора між різними процесами з точністю, що перевищує кілька десятків мілісекунд, і не можуть обробляти за такий же час більше одного переривання від зовнішніх пристроїв.
- Це призводить до того, що затримка в просуванні даних між мережевим інтерфейсом і зовнішнім пристроєм мовного виведення становить, незалежно від використовуваного алгоритму кодування мови, величину такого ж порядку або навіть більше.

Вплив операційної системи

- Тобто вибір операційної системи є фактором, що впливає на загальну величину затримки.
- Щоб мінімізувати вплив операційної системи, деякі виробники шлюзів і IP-телефонів застосовують так звані ОС реального часу (VxWorks, pSOS, QNX Neutrino і т. п.), які використовують більш складні механізми поділу часу процесора, що діють таким чином, щоб забезпечувати більш швидку реакцію на переривання і більш ефективний обмін потоками даних між процесами

Вплив операційної системи

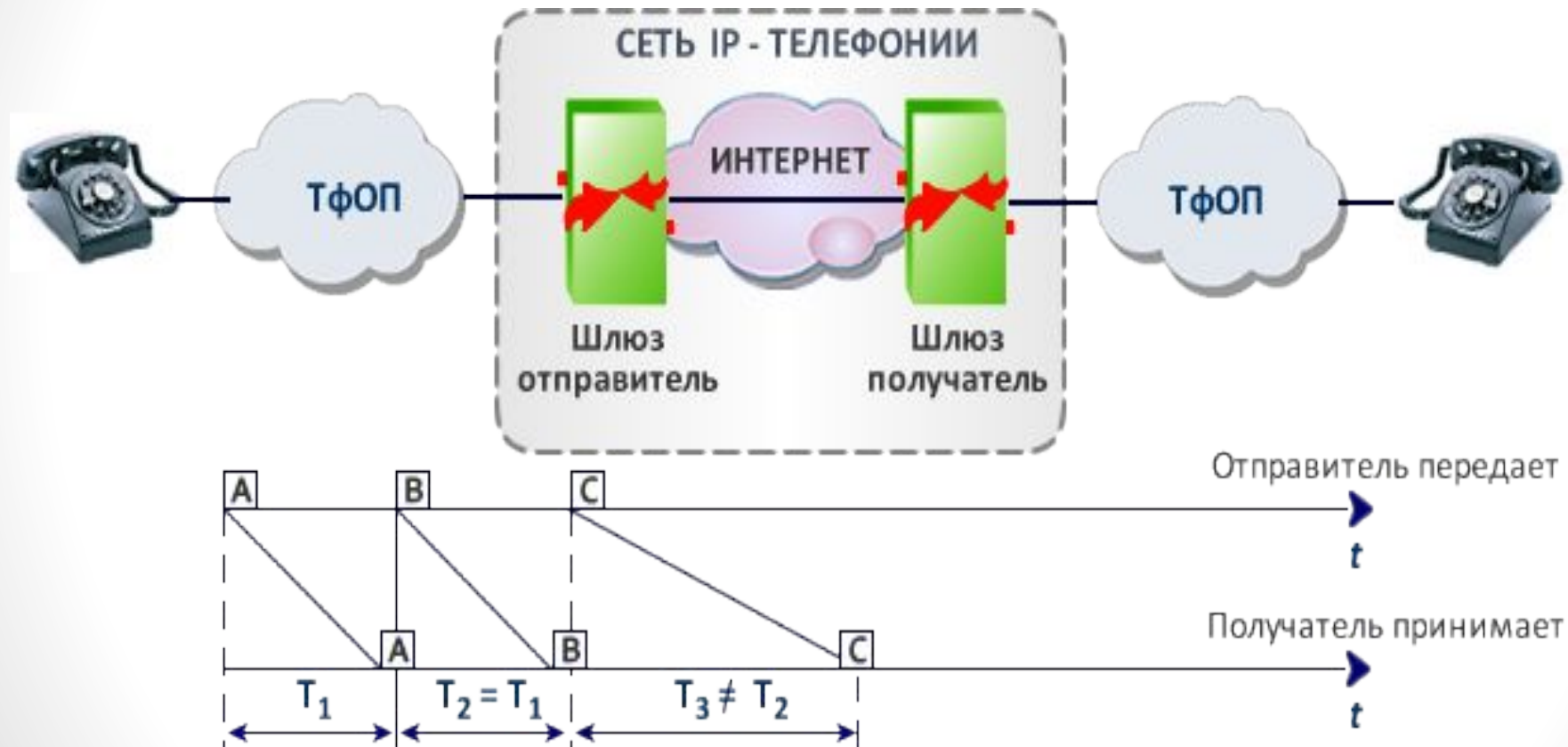
- Інший, більш плідний підхід - перекласти всі функції, які необхідно виконувати в жорстких часових рамках (обмін даними між мовними кодеками і мережевим інтерфейсом, підтримку RTP і т. п.), на **окремий швидкодіючий спеціалізований процесор**.
- При цьому пересилання мовних даних здійснюється через виділений мережевий інтерфейс периферійного пристрою, а операційна система робочої станції підтримує тільки алгоритми управління з'єднаннями і протоколи сигналізації, для виконання яких жорстких часових рамок не потрібно.
- Цей підхід реалізований в платах для додатків IP-телефонії, вироблених фірмами Dialogic, Audiocodes, Natural Microsystems.

Причини появи джиттера

3. Вплив джиттер-буфера.

- Проблема джиттера досить істотна в пакетно-орієнтованих мережах.
- Відправник мовних пакетів передає їх через фіксовані проміжки часу (наприклад, через кожні 20 мс), але при проходженні через мережу затримки пакетів виявляються неоднаковими, так що вони прибувають в пункт призначення через різні проміжки часу.
- Затримка проходження пакетів по мережі T_i може бути представлена як сума постійної складової T (час поширення плюс середня тривалість затримки в чергах) і змінної величини j , що є результатом джиттера: $T_i = T \pm j$.

Різниця інтервалів між моментами прибуття пакетів



Вплив джиттер-буфера

- Для того щоб компенсувати вплив джиттера, в терміналах використовується так званий **джиттер-буфер**.
- Цей буфер зберігає в пам'яті пакети, які прийшли, протягом часу, що визначається його об'ємом.
- Пакети, які прибувають занадто пізно, коли буфер заповнений, відкидаються.
- Інтервали між пакетами відновлюються на основі значень часових міток RTP-пакетів.
- У функції джиттер-буфера зазвичай входить і відновлення вихідної черговості проходження пакетів, якщо при транспортуванні мережею вони виявилися "переплутані".

Вплив джиттер-буфера

- Занадто короткий буфер буде призводити до занадто частих втрат пакетів, які запізнилися, а надто довгий - до неприйнятно великої додаткової затримки.
- Зазвичай передбачається динамічне підстроювання довжини буфера протягом всього часу існування з'єднання.
- Для вибору найкращої довжини використовуються евристичні алгоритми.

Причини появи джиттера

4. Вплив кодека і кількості переданих в пакеті кадрів.
 - Більшість сучасних ефективних алгоритмів кодування / декодування мовлення орієнтована на передачу інформації кадрами, а не послідовністю кодів окремих відліків.
 - Тому протягом часу, що визначається довжиною кадру кодека, повинна накопичуватися певної довжини послідовність цифрових представлень відліків.
 - Крім того, деяким кодекам необхідний попередній аналіз більшої кількості мовної інформації, ніж повинно міститися в кадрі.
 - Цей час накопичення і попереднього аналізу входить до загального бюджету тривалості затримки пакета.

Вплив кодека і кількості переданих в пакеті кадрів

- На перший погляд здається, що чим менше довжина кадру, тим менше повинна бути затримка.
- Однак через значний обсяг службової інформації, переданої в RTP / UDP / IP-пакетах, передача маленьких порцій даних дуже неефективна, так що при застосуванні кодеків з малою довжиною кадру доводиться упаковувати декілька кадрів в один пакет.
- Крім того, кодеки з більшою довжиною кадру більш ефективні, оскільки можуть "спостерігати" сигнал протягом більшого часу і, отже, можуть більш ефективно моделювати цей сигнал.

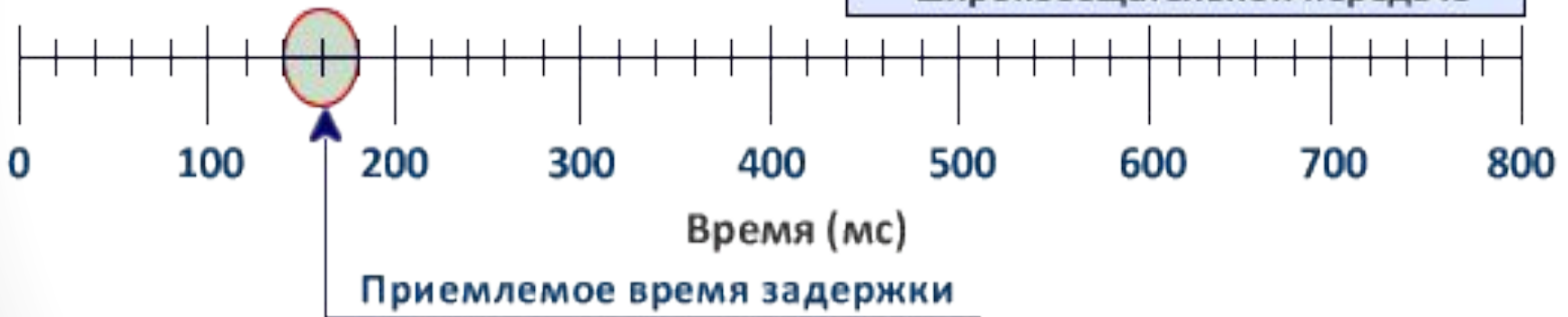
Якість передачі мови

- ITU-T в рекомендації G.114 визначив вимоги до якості передачі мови.
- Якість вважається хорошою, якщо **наскрізна затримка при передачі сигналу в одну сторону не перевищує 150 мс**
- Сучасне обладнання IP-телефонії при включенні двох пристроїв-шлюзу безпосередньо вносить затримку близько 60-70 мс.
- Таким чином, залишається ще близько 90 мс на мережеву затримку при передачі IP-пакета від відправника до пункту призначення, що говорить про можливість забезпечити при сучасному рівні технології передачу мови з досить гарною якістю

Затримка при передачі мови

Задержка при передаче через спутник

Задержка при факсимильной и
широковещательной передаче



Часові затримки

- Часові затримки є проблемою виключно ІР-телефонії.
- Тому на рис. наведені окремі характеристики супутникової передачі, для якої потрібно приблизно 170 мс для того, щоб сигнал досяг супутника і повернувся назад до Землі (без урахування витрат часу на обробку сигналу).
- Таким чином, повний час затримки перевищує 250-300 мс. Згідно з рекомендацією G.114, така затримка виходить за межі діапазону, прийнятного для передачі мови.
- Проте, щодня значна кількість розмов ведеться по супутникових лініях зв'язку.
- Отже, прийнятна якість мови визначається також і вимогами користувачів, які змушені погодитися з обставинами

Відлуння, пристрої обмеження його впливу

- Феномен луни викликає труднощі при розмові і у мовника, і у слухача.
- Мовник чує з певною затримкою свій власний голос.
- Якщо сигнал відбивається двічі, то слухає двічі чує мовника (другий раз - з ослабленням і затримкою).

Відлуння, пристрої обмеження його впливу

- У телефонних мережах існують два види луни:
 - ❑ Відлуння мовника. Коли абонент говорить по телефону і чує власний голос, таке явище називається луною мовника.
 - ❑ Відлуння слухача. Коли абонент чує голос співрозмовника двічі, то така ситуація називається луною слухача.

Відлуння, пристрої обмеження його впливу

- В тій чи іншій мірі відлуння присутнє завжди.
- Однак серйозною проблемою воно стає тільки на високому рівні гучності.
- Відлуння також є проблемою в тому випадку, коли інтервал між моментом, коли абонент говорить, і моментом появи відбитого сигналу стає досить великим. При цьому, абоненту, що слухає мову співрозмовника, відлуння заважає розумінню розмови - мова співрозмовника звучить в трубці двічі.
- Відлуння може мати електричну і акустичну природу
- Відбиття часто виявляються при взаємодії ТМЗК і IP-мережі.

Відлуння, пристрої обмеження його впливу

- З метою економії кабелю в ТМЗК для підключення абонентських терміналів з давніх пір використовуються двохпроводові лінії, за якими мовні сигнали передаються в обох напрямках.
- Більш того, у багатьох телефонних мережах передача сигналів обох напрямків по двох проводах застосовується і в сполучних лініях між електромеханічними АТС (хоча тепер для організації зв'язку між АТС все частіше використовується роздільна передача сигналів різних напрямків, тобто чотирипроводова схема їх передачі).

Відлуння, пристрої обмеження його впливу

- Для поділу сигналів різних напрямків в терміналах абонентів (телефонних апаратах) і на АТС застосовуються прості мостові схеми - дифсистеми.
- Робота цих мостових схем ґрунтується на узгодженні імпедансів в плечах моста, одним з плечей якого є двухпроводова абонентська лінія.
- Так як абонентські лінії можуть дуже сильно відрізнятися за своїми параметрами (довжина, діаметр жил кабелю і т. п.), то досягти точного узгодження (тим більше в усій смузі переданих частот) неможливо.

Відлуння, пристрої обмеження його впливу

- Тому адміністрація зв'язку змушена орієнтуватися на деяку середню величину імпедансу для всіх абонентських ліній своєї національної мережі.
- Це призводить до того, що сигнали прямого і зворотного напрямку в більшості випадків не розділяються повністю, і в дифсистемі зберігається часткове відбиття сигналів

Відлуння, пристрої обмеження його впливу

- Якщо затримка поширення сигналу в мережі невелика (що зазвичай і буває в місцевих мережах), такий відбитий сигнал просто непомітний і не викликає неприємних відчуттів.
- Якщо затримка сягає величини 15-20 мс, виникає ефект "величезного порожнього приміщення".
- При подальшому збільшенні затримки суб'єктивна оцінка якості розмови різко погіршується, аж до повної неможливості продовжувати бесіду.

Відлуння, пристрої обмеження його впливу

- В рамках ТМЗК проблема такого відлуння відома з тих пір, коли телефонна мережа стала настільки протяжною, що затримки поширення сигналів перестали бути невідчутними.
- Були розроблені методи боротьби з відлунням - від мінімізації затримок шляхом відповідного планування мережі до застосування лунозагороджувачів і лунокомпенсаторів.
- Затримки, властиві процесам передачі мови IP-мережею, такі, що не залишають вибору і роблять механізми, що обмежують ефект луни, обов'язковими в будь-якому обладнанні IP-телефонії

Відлуння, пристрої обмеження його впливу

- Акустичне відлуння виникає при користуванні терміналами гучномовного зв'язку незалежно від того, яка технологія використовується в них для передачі інформації.
- Акустичне відлуння може бути значної тривалості, а особливо неприємним буває зміна його характеристик при зміні, наприклад, взаємного розташування терміналу і мовника чи навіть появі інших людей в приміщенні. Ці обставини роблять побудову пристроїв ефективного придушення акустичного відлуння дуже непростим завданням.

Відлуння, пристрої обмеження його впливу

- Існують два типи пристроїв, призначених для обмеження шкідливих ефектів луни: лунозагороджувачі і лунокомпенсатори.
- Лунозагороджувачі з'явилися на початку 70-х років. Принцип їх роботи простий і складається у відключенні каналу передачі, коли в каналі прийому присутній мовний сигнал.
- Така техніка широко використовується в дешевих телефонних апаратах з гучномовним зв'язком (speakerphones), проте простота не забезпечує нормальної якості зв'язку - перебити мовника стає неможливим, тобто зв'язок, по суті, стає полудуплексним

Відлуння, пристрої обмеження його впливу

- Лунокомпенсатор - це більш складний пристрій, який моделює луна-сигнал для подальшого його віднімання з прийнятого сигналу.
- Відлуння моделюється як зважена сума затриманих копій вхідного сигналу або, іншими словами, як згортка вхідного сигналу з оціненої імпульсною характеристикою каналу.
- Оцінка імпульсної характеристики відбувається в той момент, коли говорить тільки віддалений кореспондент, для чого використовується детектор одночасної мовної активності.
- Після віднімання синтезованою копією луна-сигналу з сигналу зворотного напрямку отриманий сигнал піддається нелінійній обробці для збільшення ступеня придушення луни (придушення дуже слабких сигналів).

Відлуння, пристрої обмеження його впливу

- Оскільки луна моделюється тільки як лінійний феномен, будь-які нелінійні процеси на шляху його виникнення призводять до погіршення роботи лунокомпенсатора.
- Використання більш складних алгоритмів дозволяє придушувати відлуння, що представляє собою не тільки затриманий, але і зрушений за частотою сигнал, якщо ще використовуються в ТМЗК застарілі частотні системи передачі.

Лунокомпенсатор

- Лунокомпенсатор повинен зберігати амплітуди луна-сигналів, затриманих на час від нуля до тривалості найтривалішого луна-сигналу, що придушується.
- Це означає, що лунокомпенсатори, розраховані на придушення більш тривалих луна-сигналів, вимагають для своєї реалізації більшого обсягу пам'яті і більшої продуктивності процесора.
- Таким чином, вигідно розміщувати лунокомпенсатори "максимально наближеними", в сенсі затримки, до джерела відлуння.

Лунокомпенсатор

- Таким чином, лунокомпенсатори є невід'ємною частиною шлюзів IP-телефонії.
- Алгоритми луна-компенсації реалізуються зазвичай на базі тих же цифрових сигнальних процесорів, що і мовні кодеки, і забезпечують придушення луна-сигналів тривалістю до 32-64 мс.
- До лунокомпенсаторів терміналів гучномовного зв'язку пред'являються значно суворіші вимоги

Принципи кодування мови

- При переході від аналогових до цифрових мереж зв'язку виникла необхідність перетворити аналоговий електричний сигнал в цифровий формат на передавальній стороні, тобто закодувати, і потім після прийому перевести назад в аналогову форму, тобто декодувати.
- Мета будь-якої схеми кодування - отримати таку цифрову послідовність, яка вимагає мінімальної швидкості передачі і з якої декодер може відновити вихідний мовний сигнал з мінімальними спотвореннями.

Принципи кодування мови

- При перетворенні мовного сигналу в цифрову форму так чи інакше мають місце два процеси –
 - ❑ **дискретизація** (sampling), тобто формування дискретних в часі відліків амплітуди сигналу, і
 - ❑ **квантування**, тобто дискретизація отриманих відліків по амплітуді (кодування безперервної величини - амплітуди - числом з кінцевої точністю).
- Ці дві функції виконуються аналого-цифровими перетворювачами (АЦП), які розміщуються в сучасних АТС на платі абонентських комплектів, а в разі передачі мови по IP-мережі - в терміналі користувача (комп'ютері або IP-телефоні).

Принципи кодування мови

- Так звана теорема відліків свідчить, що аналоговий сигнал може бути успішно відновлений з послідовності вибірок з частотою, яка перевищує як мінімум удвічі максимальну частоту, присутню в спектрі сигналу, що передається.
- У телефонних мережах смуга частот мовного сигналу обмежена діапазоном 0,3-3,4 кГц, що не впливає на розбірливість мови і дозволяє впізнавати співрозмовника за голосом.
- З цієї причини частота дискретизації при аналого-цифровому перетворенні обрана рівною 8 кГц, причому така частота використовується в усіх телефонних мережах на нашій планеті

Принципи кодування мови

- При квантуванні безперервна величина відображається на множину дискретних значень, що, природно, призводить до втрат інформації.
- Для того щоб забезпечити в такій схемі достатній динамічний діапазон (здатність передавати без спотворень як сильні, так і слабкі сигнали), дискретна амплітуда сигналу кодується 12/13-розрядним двійковим числом за лінійним законом.

Принципи кодування мови

- Процес аналого-цифрового перетворення отримав стосовно систем зв'язку назву імпульсно-кової модуляції (ІКМ).
- Щоб знизити необхідну швидкість передачі бітів, застосовують нелінійний (логарифмічний) закон квантування, тобто квантуванню піддається не амплітуда сигналу, а її логарифм.
- В даному випадку відбувається процес "стиснення" динамічного діапазону сигналу, а при відновленні сигналу - зворотний процес.
- Застосовуються два основні різновиди ІКМ:
 - з кодуванням по m -закону;
 - з кодуванням по A -закону.

Принципи кодування мови

- В результаті стиснення сигнал з амплітудою, яка кодується 12-13 бітами, описується всього вісьмома бітами.
- Різновиди ІКМ розрізняються деталями процесу стиснення (m-закон кодування краще використовувати при малій амплітуді сигналу і при малому відношенні сигнал / шум).
- Історично склалося так, що в Північній Америці використовується кодування по m-закону, а в Європі - по A-закону.
- Тому при міжнародному зв'язку в багатьох випадках потрібно перетворення m-кодування в A-кодування, відповідальність за яке несе країна, де використовується m-закон кодування.
- В обох випадках кожен відлік кодується 8 бітами, або одним байтом, який можна вважати звуковим

Принципи кодування мови

- Для передачі послідовності таких фрагментів необхідна пропускна здатність каналу, рівна 64 кбіт / с. Це визначається простими арифметичними діями: $4\,000\text{ Гц} * 2 = 8\,000\text{ відліків / с}$; $8\,000\text{ відліків / с} * 8\text{ бітів} = 64\text{ кбіт / с}$, що є базовою швидкістю для цифрової телефонії.
- Оскільки ІКМ була першою стандартною технологією, що отримала широке застосування в цифрових системах передачі, пропускна здатність каналу, рівна 64 кбіт / с, стала всесвітнім стандартом для цифрових мереж всіх видів, причому стандартом, який забезпечує передачу мови з дуже гарною якістю.
- Відповідні процедури кодування та декодування стандартизовані ІТУ-Т в рекомендації G.711

Принципи кодування мови

- Підкреслимо, що така висока якість передачі мовного сигналу (приймається за еталон при оцінці якості інших схем кодування) досягнута в системах ІКМ за рахунок явно надлишкової, при сучасному рівні технології, швидкості передачі інформації.
- Щоб зменшити притаманну ІКМ надмірність і знизити вимоги до смуги пропускання, послідовність чисел, отримана в результаті перетворення мовного аналогового сигналу в цифрову форму, піддається математичним перетворенням, що дозволяє зменшити необхідну швидкість передачі.
- Ці перетворення цифрового потоку $64 \text{ кбіт} / \text{с}$ в потік меншої швидкості називають "стисненням" (розглядаючи ІКМ як якусь проміжну форму подання для подальшої обробки інформації).

Принципи кодування мови

- Існує багато підходів до "стиснення" мовної інформації, всі їх можна розділити на три категорії:
 1. кодування форми сигналу (waveform coding),
 2. кодування вихідної інформації (source coding) і
 3. гібридне кодування, що представляє собою поєднання двох попередніх підходів.

Принципи кодування мови

- Найбільший інтерес представляють складні алгоритми, що дозволяють знизити вимоги до смуги пропускання.
- У них здійснюється кодування форми сигналу та використовується та обставина, що між випадковими значеннями кількох наступних посліпль відліків існує деяка залежність.
- Простіше кажучи, значення сусідніх відліків зазвичай мало відрізняються одне від іншого.
- Це дозволяє з досить високою точністю передбачити значення будь-якого відліку на основі значень декількох попередніх до нього відліків.

Принципи кодування мови

- При побудові алгоритмів кодування така закономірність використовується двома способами.
1. Є можливість змінювати параметри квантування в залежності від характеру сигналу.
 2. Існує підхід, званий диференціальним кодуванням, або лінійним передбаченням. Замість того щоб кодувати вхідний сигнал безпосередньо, кодуються різниці між вхідним сигналом і "передбаченою" величиною, обчисленою на основі декількох попередніх значень сигналу.

Принципи кодування мови

- Найпростішою реалізацією останнього підходу є так звана дельта-модуляція (ДМ), алгоритм якої передбачає кодування різниці між сусідніми відліками сигналу тільки одним інформаційним бітом, забезпечуючи передачу, по суті, тільки знаку різниці.
- Найбільш досконалим алгоритмом є алгоритм адаптивної диференціальної імпульсно-кодової модуляції (АДІКМ), який передбачає формування сигналу помилки передбачення та його подальше адаптивне квантування.
- Подібні методи кодування часто використовуються в сучасних пристроях кодування мови.

Вимоги до алгоритмів кодування сигналу

1. Використання смуги пропускання каналу
2. Придушення періодів мовчання
3. Генератор комфортного шуму
4. Розмір кадру
5. Чутливість до втрат кадру

Вимоги до алгоритмів кодування сигналу

1. Використання смуги пропускання каналу.
 - Швидкість передачі, яку передбачають вузькосмугові кодеки, лежить в межах 1.2-64 кбіт / с.
 - Природно, що від цього параметра прямо залежить якість відтворюваної мови.
 - Існує багато підходів до проблеми визначення якості.
 - Так, наприклад, для прослуховування експертам пред'являються різні звукові фрагменти - мова, музика, мова на тлі різного шуму і т. п.
 - Спотворення оцінюють шляхом опитування різних груп людей за п'ятибальною шкалою одиницями суб'єктивної оцінки MOS (Mean Opinion Score).

Вимоги до алгоритмів кодування сигналу

- Оцінки інтерпретують наступним чином:

- ✓ 4-5 - висока якість; аналогічно якості передачі мови в ISDN, або ще вище;
- ✓ 3,5-4 - якість ТМЗК (toll quality); аналогічно якості мови, переданої за допомогою кодека АДІКМ при швидкості 32 кбіт / с. Така якість зазвичай забезпечується в більшості телефонних розмов. Мобільні мережі забезпечують якість трохи нижче toll quality;
- ✓ 3-3,5 - якість мови як і раніше задовільна, однак її погіршення явно помітно на слух;
- ✓ 2,5-3 - мова розбірлива, проте вимагає концентрації уваги для розуміння. Така якість зазвичай забезпечується в системах зв'язку спеціального застосування (наприклад, в збройних силах).

Вимоги до алгоритмів кодування сигналу

- В рамках існуючих технологій якість ТМЗК (toll quality) неможливо забезпечити при швидкостях менше 5 кбіт / с.

Вимоги до алгоритмів кодування сигналу

2. Придушення періодів мовчання.

- При діалозі один його учасник говорить в середньому тільки 35 відсотків часу.
- Таким чином, якщо застосувати алгоритми, які дозволяють зменшити обсяг інформації, що передається в періоди мовчання, то можна значно звузити необхідну смугу пропускання.
- У двосторонній розмові такі заходи дозволяють досягти скорочення обсягу інформації, що передається, до 50%, а в децентралізованих багатоадресних конференціях (за рахунок більшої кількості носіїв) - ще більше.
- Немає ніякого сенсу організовувати багатоадресні конференції з числом учасників більше 5-6, не пригнічуючи періоди мовчання.

Вимоги до алгоритмів кодування сигналу

3. Генератор комфортного шуму (Comfort Noise Generator - CNG) служить для генерації фонового шуму.
 - У момент, коли в мові активного учасника бесіди починається період мовчання, термінали слухачів можуть просто відключити відтворення звуку. Однак це було б нерозумно. Якщо в трубці виникає "гробова тиша", тобто фоновий шум (шум вулиці і т. п.), який було чути під час розмови, раптово зникає, то слухачу здається, що з'єднання з якихось причин порушилося, і він зазвичай починає запитувати, чи чує його співрозмовник
 - Генератор CNG дозволяє уникнути таких неприємних ефектів.

Вимоги до алгоритмів кодування сигналу

4. Розмір кадру.

- Більшість вузькосмугових кодеків обробляє мовну інформацію блоками, званими кадрами (frames), і їм необхідно здійснювати попередній аналіз відліків, що прямують безпосередньо за відліками в блоці, який вони в даний момент кодують.
- Розмір кадру важливий, так як мінімальна теоретично досяжна затримка передачі інформації (алгоритмічна затримка) визначається сумою цього параметра і довжиною буфера попереднього аналізу.

Розмір кадру

- З іншого боку, кодеки з більшою довжиною кадру більш ефективні, так як тут діє загальний принцип:
 - чим довше спостерігається явище (мовний сигнал), тим краще воно відображається на обсязі додаткової службової інформації, яка додається до кадру.

Вимоги до алгоритмів кодування сигналу

5. Чутливість до втрат кадрів

- Втрати пакетів є невід'ємним атрибутом IP-мереж.
- Але втрати пакетів і втрати кадрів не обов'язково безпосередньо пов'язані між собою, так як існують підходи, наприклад, застосування кодів з виправленням помилок ("forward error correction"), що дозволяють зменшити число втрачених кадрів при заданому числі втрачених пакетів. Необхідна для цього додаткова службова інформація розподіляється між кількома пакетами, так що при втраті деякого числа пакетів кадри можуть бути відновлені.
- Кодери типу G.723.1 розроблені так, що вони функціонують без істотного погіршення якості в умовах некорельованих втрат до 3% кадрів, однак при перевищенні цього порога якість погіршується катастрофічно.

Кодеки IP-телефонії

- Найбільшого поширення набули кодеки наступних типів:

- ☐ Кодек G.711 - один з перших цифрових кодеків мовних сигналів, який є мінімально необхідним. Це означає, що будь-який пристрій VoIP має підтримувати цей тип кодування.
- ☐ Кодек G.723.1 є базовим для додатків IP-телефонії. Рекомендація G.723.1 затверджена ITU-T в листопаді 1995 р
- Кодек G.723.1 передбачає дві швидкості передачі: 6.3 кбіт / с і 5.3 кбіт / с. Режим роботи може змінюватися динамічно від кадру до кадру.
- Для цих кодеків оцінка MOS (Mean Opinion Score) становить 3,9 в режимі 6.3 кбіт / с і 3,7 в режимі 5.3 кбіт / с.

Кодеки IP-телефонії

- ❑ Кодек G.726 забезпечує кодування цифрового потоку зі швидкістю 40, 32, 24 або 16 кбіт / с, гарантуючи оцінки MOS на рівні 4,3 (32 кбіт / с), що приймається за еталон рівня якості телефонного зв'язку (toll quality). Однак в додатках IP-телефонії цей кодек практично не використовується, так як він не забезпечує достатньої стійкості до втрат інформації
- ❑ Кодек G.728 спеціально розроблявся для обладнання ущільнення телефонних каналів, при цьому було необхідно забезпечити можливо малу величину затримки (менше 5 мс), щоб виключити необхідність застосування лунокомпенсаторів.

Кодеки IP-телефонії

- ❑ Кодек G.729 дуже популярний в додатках передачі мови мережами Frame Relay.
- Кодек використовує кадр тривалістю 10 мс і забезпечує швидкість передачі 8 кбіт / с.
- Однак для кодера необхідний попередній аналіз сигналу тривалістю 5 мс.
- Існують два різновиди кодека:
 - ✓ G.729;
 - ✓ Спрощений варіант G.729A.
- Кількісними характеристиками погіршення якості мови є одиниці QDU (Quantization Distortion Units): 1 QDU відповідає погіршення якості при оцифруванні з використанням стандартної процедури ІКМ

Кодеки IP-телефонії

Кодек	Метод компресії	Скорість кодування	Складність реалізації	Якість	Затримка
G.726	ADPCM	32/24/16 кбіт/с	Низька (8 MIPS)	Хороше (32 К), погане (16 К)	Одразу низька (0,125 мс)
G.729	CS-ACELP	8 кбіт/с	Висока (30 MIPS)	Хороше	Низька (10 мс)
G.729A	SA-ACELP	8 кбіт/с	Умеренная (20 MIPS)	Середнє	Низька (10 мс)
G.723.1	MP-MLQ	6.4/5.3 кбіт/с	Умеренная (16 MIPS)	Хороше (6,4), середнє (5,3)	Висока (37 мс)
G.728	LD-CELP	16 кбіт/с	Одразу висока (40 MIPS)	Хороше	Одразу низька (3-5 мс)

Одиниці погіршення якості мови

Метод компресии	QDU
ADPCM 32 кбит/с	3,5
ADPCM 24 кбит/с	7
LD-CELP 16 кбит/с	3,5
CS-CELP 8 кбит/с	3,5

Кодеки IP-телефонії

- Додаткова обробка мови завжди веде до подальшої втрати якості.
- Згідно з рекомендаціями MSE-T, для міжнародних викликів величина QDU не повинна перевищувати 14, причому передача розмови з міжнародних магістральних каналів погіршує якість мови, як правило, на 4 QDU.
- При передачі розмови по національним мережам має губитися не більше 5 QDU.
- Тому для якісної передачі мови процедуру компресії / декомпресії бажано застосовувати в мережі тільки один раз.
- У деяких країнах це є обов'язковою вимогою регулюючих органів по відношенню до корпоративних мереж, підключеним до мереж загального користування

Кодеки IP-телефонії

- Сучасна апаратура IP-телефонії застосовує різні кодеки, як стандартні, так і нестандартні.
- Конкурентами є кодеки GSM (13,5 кбіт / с) і кодеки МСЕ-Т серії G, використання яких передбачається стандартом H.323 для зв'язку по IP-мережі

Значення MOS (Mean Opinion Score) для різних стандартів кодерів

Кодек	Швидкість передачі, кбіт/с	MOS	Розмір кадру, мс
G.711 PCM	64	4,3	0,125
G.726 Multi-rate ADPCM	16-40	2-4,3	0,125
G.723 MP-MLQ ACELP	5.3; 6.3	3,7; 3,8	30
G.728 LD-CELP	16	4,1	0,625
G.729 CS-ACELP	8	4,0	10
G.729A CA-ACELP	8	3,4	10
GSM RPE-LPC	13	3,9	30

Оцінка якості інформації, що сприймається

- У каналах Інтернету важливими для IP-телефонії такі налаштування:
 - ✓ дійсна пропускна здатність, яка визначається найбільш "вузьким місцем" у віртуальному каналі в даний момент часу;
 - ✓ трафік, який також є функцією часу;
 - ✓ часова затримка пакетів, яка визначається трафіком, числом маршрутизаторів, реальними фізичними властивостями каналів передачі, що утворюють в даний момент часу віртуальний канал, затримками на обробку сигналів, що виникають в мовних кодеках та інших пристроях шлюзів;

Оцінка якості інформації, що сприймається

- ✓ втрата пакетів, обумовлена наявністю "вузьких місць", чергами;
- ✓ перестановка пакетів, які прийшли різними шляхами.