

УДК 004.725.5(045)

Лазебний В.С., канд. техн. наук,
Марченко В.В.

ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ МУЛЬТИМЕДІЙНОГО ПОТОКУ ДАНИХ У ЛОКАЛЬНІЙ МЕРЕЖІ МАЛОГО ПІДПРИЄМСТВА

Національний авіаційний університет

Проаналізовано особливості формування сигнального потоку для передавання відеоінформації, організації відео конференцій, передавання голосової інформації засобами локальних мережі. Зроблено оцінку затримок надходження інформаційних пакетів у мережах з обмеженою пропускною здатністю комунікаційних каналів. Розглянуто можливості підвищення якості передавання мультимедійної інформації.

Передавання мультимедійної інформації у локальних мережах підприємств різних сфер діяльності набуває усе більшої актуальності. Це стосується у першу чергу таких сфер діяльності як телебачення, наукові дослідження, медицина, сучасні технології дистанційного навчання тощо. У зв'язку з активним розвитком інформаційних технологій з'явилися широкі технічні можливості для реалізації різних методів обробки й високоякісної передачі відеоінформації, звуку, організації голосового зв'язку.

Сучасні локальні інформаційні мережі малих підприємств можуть мати різну структуру й використовувати різні мережні технології.

Метою проведених досліджень було з'ясування характеристик складових мультимедійних потоків, визначення затримки часу, що виникає під час передавання сигналів через комунікаційні лінії різної пропускної здатності та оцінка можливості сучасних мережних технологій щодо забезпечення гарантованої якості передавання мультимедійної інформації у мережах малих підприємств.

Особливістю організації локальних мереж малих підприємств є використання найбільш поширеного й універсального мережного обладнання та застосування комунікацій загального призначення для з'єднання окремих сегментів локальної мережі. Такий підхід обумовлено прагненням мінімізації витрат на розгортання та експлуатацію мережі підприємства.

У сучасних мережах процес передавання потокової мультимедійної інформації (звуку та відео) може бути здійснено у два способи: одноадресне передавання даних (*Unicast*) й багатоадресне передавання (*Multicast*).

В одноадресному режимі сервер-відправник інформації формує для кожного клієнта окремий потік даних, а комп'ютер користувача періодично надсилає на сервер підтвердження про доставку інформаційних пакетів. За цих обставин необхідна продуктивність сервера й сигнальний потік, що надходить у мережу, будуть прямо пропорційні кількості клієнтів. Одноадресне передавання даних в основному використовують у системах "відео на замовлення" (*video-on-demand*), у відео- та телевиробництві для забезпечення роботи з відеоархівами тощо.

У режимі багатоадресного передавання даних сервер формує один потік даних, який можуть приймати різні групи клієнтів даної мережі. У цьому режимі продуктивність сервера й пропускна здатність каналу не залежать від кількості користувачів інформації. Багатоадресне передавання зручне для організації відео-конференцій. Однак, для забезпечення високої якості передачі даних у цьому режимі відсутнє підтвердження про доставку. З цієї ж причини доводиться здійснювати ручну настройку кожного маршрутизатора або комутатора вздовж усієї лінії зв'язку.

Слід зазначити, що звичайні маршрутизатори не забезпечують контролю переповнення буфера пам'яті або перевищення пропускної здатності каналу зв'язку й, отже, не забезпечують гарантованої якості передавання. Інша проблема полягає у тому, що під час передавання відеоінформації кожен інформаційний пакет має вчасно надійти до користувача для декодування й відображення без пауз. Затримки передавання пакетів за певних умов є неприйнятними.

Оскільки втрати частини інформаційних пакетів під час передавання звичайними засобами Інтернет вважають припустимими (якщо відносна частка втрачених пакетів не перевищує часток відсотка), можна зробити висновок, що ці засоби не забезпечують гарантованої доставки інформаційних пакетів у реальному часі й без втрат. У ситуаціях, коли інформаційний потік хоча б тимчасово перевищує пропускну здатність каналу, втрати інформації можуть бути значними, а якість передачі може різко знизитись. Неоднорідність структури мережі й характеристик окремих систем передавання й приймання пакетів даних призводять до мінливості затримок часу й інформаційних втрат. Цей недолік особливо характерний для багатоадресного передавання відео.

Для розв'язання зазначених проблем може бути використано два основних підходи.

Перший з них полягає у використанні системи забезпечення якості *QoS* (*Quality of Service*) за рахунок забезпечення усіх необхідних параметрів.

Другий підхід ґрунтується на використанні з боку приймача відсоданих системи, що має малу залежність від характеристик мережі. Цей підхід на нашу думку є більш прийнятним, оскільки не вимагає кардинальної зміни параметрів мережі.

Підвищення якості передавання відеоінформації в комп'ютерних мережах може бути досягнуто за рахунок двох складових:

- за рахунок удосконалення методів керування, обробки й передавання незалежно від характеру потокової інформації,

- за рахунок використання методів стиснення відеоінформації та звуку, що враховують їх особливості на різних рівнях компресії.

Керування параметрами процесу передавання відео можна здійснити трьома основними способами:

- варіюванням швидкості передавання;

- адаптивним кодуванням відеоінформації, характеристики якого визначаються швидкістю передавання;

- локальним прискоренням передавання на коротких інтервалах за рахунок підвищення ступеня стиснення.

Перший спосіб може бути реалізовано на рівні передавання інформації, другий ґрунтується на спеціальних методах стиснення відеоінформації, третій полягає у застосуванні методів керування передаванням й стисненням відео.

Під час передавання відео у реальному часі керування швидкістю слід здійснювати з боку відправника. У динамічному режимі передавання після адаптивного стиснення потік відеоданих зазнає обробки в блоці локального прискорення передачі й зазнає відповідних перетворень на рівнях *RTP/UDP/IP* протоколів, рис.1.

Транспортний протокол *RTP* (*Real-Time Transport Protocol*) забезпечує передавання даних між кінцевими вузлами мережі і є альтернативою протоколу *TCP*. *RTP* є надбудовою щодо протоколу *IP*. Хоча протокол *TCP* й гарантує доставку пакетів даних у заданій послідовності, трафік при цьому дуже нерівномірний (пакети можуть зазнавати різних затримок). Протокол *RTP* знижує затримки до рівня, який забезпечує успішне передавання потоків інтегрованих аудіо та відео й інших даних завдяки здатності розпізнавати вміст пакетів (наприклад, розрізняти відеодані, які сформовано за специфікаціями *MPEG* або *H.261*), а також завдяки здатності виявляти втрати даних. Протокол *RTP* забезпечує ідентифікацію типу й

номера пакета, встановлює в нього мітку синхронізації. На основі цієї інформації приймальний термінал синхронізує дані й здійснює їх послідовне й безперервне відтворення.

Коректне функціонування *RTP* можливе за наявності в абонентських терміналах механізмів буферизації прийнятої інформації.

Зазначимо особливості протоколу *UDP* (*User Datagram Protocol*) щодо згаданого вище *RTP*. *UDP* рекомендовано використовувати у мережах з негарантованою смугою пропускання з метою мінімізації затримок й забезпечення максимальної пропускної здатності комунікаційного каналу для передавання відеопотоків. Цей протокол реалізує згаданий вище механізм багатоадресного передавання (*IP*

Multicast) у режимі негарантованої доставки аудіо- та відеоінформації.

Однак протокол *UDP* не забезпечує контролю перевищення пропускної здатності каналу, тому такий контроль необхідно забезпечити на більш високих рівнях мережної моделі процесу передавання відео та аудіо інформації, рис.1. Такий контроль у зазначеній моделі забезпечує протокол *RTP*, який є надбудовою над *IP Multicast* й забезпечує необхідні умови для нормального відтворення отриманих потоків даних на абонентських терміналах.

Розглянемо тепер вплив затримки інформаційних пакетів на показники якості передавання звуку.



Рис. 1. Схема застосування набору протоколів *RTP/UDP/IP* для передавання мультимедійних даних

У разі використання *IP*-телефонії затримка створює незручність під час діалогу, призводить до перекриття звуків й виникнення відлуння. Через те, що луна є проблемою якості систем з пакетною комутацією мови, необхідно використовувати засоби керування відлунням та ефективні методи ослаблення відлуння.

Ускладнення діалогу й помітність перекриття поточної мови й відлуння виникають за умови, коли затримка передачі в одному напрямку перевищує 250 мс. Можна виділити три джерела затримки голосу у процесі пакетного передавання від точки до точки.

Перше, це - затримка накопичення (іноді називається алгоритмічною затрим-

кою). Таку затримку обумовлено необхідністю накопичення кадру мовних відліків, що здійснюються у звуковому кодері. Величина затримки залежить від типу звукового кодера й може мати значення від малих затримок (0,125 мкс) до кількох мілісекунд. Наприклад, стандартні звукові кодери мають такі тривалості кадрів:

- *G.729 CS-ACELP* (8 кбіт/с) - 10 мс;

- *G.723.1 -Multi Rate Coder* (5,3; 6,3 кбіт/с) - 30 мс.

Друге джерело затримки, це - затримка обробки, яку обумовлено процесом кодування й збору закодованих відліків у пакети для передавання у мережу. Ця затримка залежить від часу роботи процесора й типу алгоритму обробки. Для зменшення завантаження пакетної мережі доцільно застосовувати режим, за якого кілька кадрів звукового кодера об'єднано в один пакет. Наприклад, три кадри кодових слів *G.729*, що передають звуковий фрагмент тривалістю 30 мс, може бути об'єднано для зменшення розміру одного пакета.

Третє джерело, мережна затримка, обумовлено фізичним середовищем розповсюдження й протоколами, що їх використовують для передавання звукових даних, а також буферами, які застосовують для того, щоб позбутись джитера (розбіжностей часу доставки) пакетів на приймальному боці. Мережна затримка залежить від ємності мережі й процесів передавання пакетів у мережі.

Тривалість затримки під час передавання звукового сигналу можна розподілити на три рівні [2].

Перший рівень має тривалість затримки до 200 мс. Така затримка забезпечує відмінну якість зв'язку. Для порівняння, у телефонній мережі загального користування припустимі затримки до 150-200 мс.

Другий рівень має тривалість затримки до 400 мс, характеризується хорошою якістю зв'язку. Але, якщо порівнювати з якістю зв'язку телефонії загального користу-

вання, різниця буде відчутна. Якщо затримка постійно сягає верхньої межі 2-го рівня (400 мс), то не слід використовувати такий зв'язок для ведення ділових переговорів.

Третій рівень має тривалість затримки до 700 мс забезпечує прийнятну якість зв'язку для ведення неділових переговорів. Така якість зв'язку характерна також для передавання пакетів через супутникові канали зв'язку.

Якість *IP*-телефонії здебільшого може бути віднесено до 2-3 рівні. Зазначимо, що за умови використання комутованих ліній неможливо напевне сказати, який з провайдерів забезпечує другий рівень, тому що затримки в мережі Інтернет мінливі. Більш точно можна сказати про провайдерів *IP*-телефонії, що працюють через виділені канали. Вони забезпечують 1-2 рівні затримок. Насобхідно враховувати й затримки під час кодування/декодування голосового сигналу. Середні сумарні затримки під час використання *IP*-телефонії зазвичай знаходяться у межах 150-250 мс.

У мережі Інтернет затримки пакетів істотно змінюються у часі. Затримки можуть змінюватись швидко й у межах великого динамічного діапазону. Навіть протягом одного нетривалого сеансу зв'язку коливання часу передавання можуть складати від десятків до сотень мілісекунд, а іноді навіть перевищувати секунду.

Методи керування трафіком. Ефективність інформаційних мереж у значній мірі визначається часовими затримками під час передавання даних між користувачами. Мінімізацію затримок у мережах з однорідним трафіком може бути забезпечено на етапі проектування із застосуванням математичних моделей масового обслуговування з однорідним потоком заявок.

У наш час усе більше поширення набувають мультисервісні мережі, характерною рисою яких є неоднорідність трафіка. Неоднорідність трафіка полягає у передаванні через мережі пакетів декількох типів (відео- й аудіопакетів, тексто-

вих пакетів тощо), до яких висувають різні вимоги [3].

Ці вимоги можна сформулювати у вигляді обмежень щодо часу затримки. Може бути два типи обмежень:

- імовірнісні - припустима ймовірність γ_i^* перевищення затримки пакетів τ_i щодо заданого обмеження τ_i^* :

$$P(\tau_i > \tau_i^*) < \gamma_i^* \quad (i = \overline{1, n});$$

- обмеження середньої затримки τ_i припустимим часом τ_i^* : $\overline{\tau_i} < \tau_i^*$ ($i = \overline{1, n}$), де n - кількість типів пакетів у мережі.

Значені обмеження може бути забезпечено шляхом застосування спеціальних методів керування трафіком, що дозволяють ефективно розподілити пропускну здатність каналу зв'язку між пакетами різних типів, зокрема, за рахунок оптимального розподілу пріоритетів. У такому випадку актуальною є оцінка ефекту від застосування пріоритетів, наданих пакетам різного типу, для яких затримки у телекомунікаційній мережі є критичними. Для розв'язання цього завдання доцільно застосувати модель з неоднорідним потоком заявок [4], що дозволяє здійснити аналіз властивостей пріоритетних систем передавання даних й сформулювати рекомендації щодо проектування пріоритетних мереж.

Надання пріоритетів має сенс у випадку, якщо маршрутизатори або комутатори здатні розрізняти різні типи трафіка. Для вказівки пріоритету пакета можна використовувати спеціальний байт "тип сервісу" (*Type of Service - ToS*). Для розрахунків затримок скористаємось кодами пріоритетів, що передбачено у протоколі IPv4. Три перші біти (0-2) поля ToS дозволяють установити вісім рівнів пріоритету:

111 - керування мережею (*Network Control*);

110 - міжмережне керування (*Internetwork Control*);

101 - *CRITIC/ECP*;

100 - надзвичайно терміновий (*Flash Override*);

011 - терміновий (*Flash*);

010 - невідкладний (*Immediate*);

001 - пріоритетний (*Priority*);

000 - звичайний (*Routine*).

Для оцінювання ефективності пріоритетних методів керування трафіком у мультисервісних мережах скористаємось моделлю каналу зв'язку, що базується на моделі системи масового обслуговування з неоднорідним потоком пакетів n типів. Пакети надходять у канал зв'язку з інтенсивностями $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ (кількість пакетів за секунду).

Позначимо: V - пропускну здатність каналу зв'язку, L_i - середню довжину пакета i -го типу. У випадку, коли пакети одного класу мають однакову довжину, а потоки пакетів є однорідними, середню затримку пакета i -го типу із урахуванням їх пріоритетності може бути визначено за формулою

$$\tau_i = \frac{\sum_{j=1}^n \lambda_j L_j^2}{(V - \sum_{j=1}^{i-1} \lambda_j L_j)(V - \sum_{j=1}^i \lambda_j L_j)} + \frac{L_i}{V},$$

де ($i = \overline{1, n}$).

У табл. 1 наведено результати розрахунку часових затримок пакетів у каналі зв'язку із застосуванням чотирьох рівнів пріоритетів й двох способів призначення пріоритетів. Розглянуто канали зв'язку з двома пропусковими здатностями.

Затримки передавання пріоритетних інформаційних пакетів

$V_{КС}$ (Кбіт/с)			128	192			128	192
Код пріоритету	λ_i (с ⁻¹)	L (байт)	τ_i (мс)		λ_i (с ⁻¹)	L (байт)	τ_i (мс)	
011	20	100	60,7	27,3	2	1500	152,4	86,7
010	10	500	128,1	53,4	5	1000	179,8	77,9
001	5	1000	401,4	101,4	10	500	539,6	90,1
000	2	1500	3143,7	175,5	20	100	4072,9	127,4
Завантаженість каналу			0,9375	0,625			0,9375	0,625

Аналіз отриманих результатів дозволяє сформулювати такі висновки.

1. Для забезпечення мінімальної затримки пакетів у режимі передавання з пріоритетами необхідно надавати перевагу використанню коротких пакетів.

2. За умови, коли трафік близький до пропускної спроможності каналу зв'язку пакети з низьким пріоритетом мають практично неприпустиму затримку, що перевищують для звукових пакетів встановлені обмеження 150-300 мс.

3. Затримки пакетів з різними пріоритетами мають нелінійну залежність від ступеня завантаженості каналу зв'язку. Збільшення пропускної здатності каналу в 1,5 рази (з 128 до 192 кбіт/с) зменшило затримки для пакетів з високим пріоритетом більш ніж у два рази, а

для пакетів з низьким пріоритетом - більш ніж на порядок.

Список літератури

1. *Shulzrinne H., Casner S., Frederick R. and Jacobson V.* RTP: a transport protocol for realtime applications //RFC 1889. Internet Engineering Task Force. 1996.

2. *Росляков А.В., Самсонов М.Ю., Шибяева И.В.* IP-телефонія. – М.: Еко-Трендз, 2003, - 252с.

3. *Клейнрок Л.* Вычислительные системы с очередями. М.: Мир, 1979.

4. *Холл Э.* Приоритизации трафика в сетях IP // Сети и системы связи. 1988. №11(33).