

УДК 004.728.4 (045)

ОПТИМІЗАЦІЯ ЧАСУ ДОСТАВКИ ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ У РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ

І. А. Жуков, О. С. Нагорнюк

Національний авіаційний університет

zhukov@iit.nau.edu.ua

Описано теоретичні основи часу доставки масиву інформації для мереж комутації пакетів з постійними і комутуваними віртуальними каналами. Запропоновано алгоритми вибору оптимального часу доставки з урахуванням особливостей надання необхідної якості послуг. Розглянуто критерій оцінки ефективності оптимізації запропонованих алгоритмів. Для TCP/IP мереж наведено технологію реалізації методів rh-оптимізації в інтелектуальних мережах.

Theoretical bases of time delivery of an array of data for packet switched networks with permanent and switched virtual channels are described. Algorithms of an optimal choice of time delivery are offered in view of features of granting necessary quality of services. The criterion of a rating of efficiency of optimization of the suggested algorithms is considered. For TCP/IP networks the technology of realization rh-optimization methods in intellectual networks is described.

Вступ

Технологію комутації пакетів було спеціально розроблено для ефективної передачі комп'ютерного трафіка. Перші кроки на шляху створення комп'ютерних мереж на основі техніки комутації каналів показали, що цей вид комутації не дає змоги досягти високої пропускної здатності мережі. Тому з появою технології комутації пакетів фундаментальні і прикладні наукові дослідження велися в трьох напрямках: розробка теоретичних основ комутації пакетів у розподілених комп'ютерних системах [1; 2], дослідження оптимізації потоків у мережах і вибір оптимальних маршрутів у мережах з комутацією пакетів [3]; розробка сучасних апаратно-програмних методів технології комутації пакетів. При цьому комп'ютерні системи розглядалися як системи колективного використання ресурсів. Досліджували такі параметри, як час відповіді системи, її продуктивність, пропускна здатність ресурсів, показники їх використання, створювали протоколи маршрутизації пакетів, комутації кадрів, окремі технології комутації пакетів у локальних і глобальних мережах [4].

У цілому всі дослідження були зумовлені необхідністю підвищення продуктивності і надійності систем, зменшення загальних витрат, а також розширення діапазону послуг [4].

Проте оптимізація часу доставки масивів даних у транспортних мережах з постійними комутаційними віртуальними каналами і дотепер недостатньо досліджена, через ускладненість технологій і методів. Тому необхідна розробка методів, спрямованих на інтелектуалізацію технологій передачі даних за рахунок внутрішніх можливостей транспортної системи, ступінь організації якої багато в чому визначає ефективність системи в цілому.

ті інтерактивних розподілених систем є час доставки масивів даних в асинхронних системах комутації пакетів. Проведені дослідження не мали відпо-відної теоретичної бази, яка давала б змогу адаптувати час доставки пакетів до параметрів заданої транспортної системи.

Постановка задачі

Оскільки транспортна система в загальному випадку слугує для передачі пакетів даних між взаємодіючими хостами в сеансовому режимі, то час доставки заданого інформаційного масиву є інтегративною властивістю. Причому при рівних умовах значення коефіцієнта, що характеризує час доставки даних, інваріантно відносно продуктивності каналів передачі.

При технологіях, що використовують для передачі даних з комутацією пакетів постійні чи комутативні віртуальні канали, на час сеансу обміну даних між хостом-джерелом та хостом-приймачем створюються канали передачі інформації, що складаються з комутаторів, які забезпечують доставляння пакетів у послідовності їх надходження від хоста-джерела. Основні властивості розглянутої транспортної системи:

- масив даних між взаємодіючими вузлами (хостами) передається окремими пакетами;
- передача масиву даних відбувається в сеансовому режимі, який організовується по запиту однієї зі сторін і закривається після завершення передачі всіх пакетів масиву даних;
- кількість комутаторів на шляху транспортування пакетів залишається постійною в межах даного сеансу, але може варіюватися від сеансу до сеансу;
- з погляду прийому пакетів даних хост-приймач працює аналогічно комутатору;
- початком сеансу зв'язку між взаємодіючими вузлами вважається сигнал від хоста-джерела про готовність до передачі першого пакету даних, кінцем — сигнал від останнього комутатора на да-

ному маршруті про завершення передачі останнього пакету початкового інформаційного масиву.

Розв’язання задачі

Продуктивність операції заповнення буфера будемо визначати у відносних одиницях часу-байт-тактах. Один байт-такт відповідає одній операції *PUSH* чи *POP*, тобто один байт-такт дорівнює часу прийому в буфер одного байта інформації. Якщо пакет містить $D+h$ байтів, то час передачі (прийому) цього пакета з (в) буфер дорівнює $D+h$ байт-тактів.

Основними параметрами транспортного середовища з комутацією пакетів є кількість комутаторів r і довжина заголовку h , від яких безпосередньо залежить час доставки масиву інформації. Величини r і h визначають можливість адаптації часу доставки масиву даних D до конкретних умов функціонування бізнес-додатків. Через це процес вибору необхідного часу доставки масиву даних обсягом D байтів виходячи із заданих значень r і h і з обмежень, існуючих як для цих величин, так і для деяких технічних характеристик транспортного середовища з комутацією пакетів, є rh -оптимізацією.

Лемма [5]. Нехай пакет даних, що містить D байтів корисної інформації і h_A байтів заголовку, повинен передаватися в транспортну систему для доставки $D+h_A$ байтів до приймача інформації. Тоді час доставки пакету даних від джерела A до приймача B , r комутаторів, кожен з яких вносить затримку пакета на $h_i \geq 0$, байт-тактів, що дорівнює $T_{A \rightarrow B}^D = D(r+1) + \sum_{i=1}^{r+1} h_i$, байт-тактів, де $h_1 = h_A$, в іншому випадку $h_i := h_1$.

Теорема [6]. Мінімальний час передачі D байтів корисної інформації і h байтів заголовку між хостом-джерелом і хостом-приймачем n па-

кетами через вибраний маршрут R з r комутаторами, кожен з яких вносить затримку пакета на $h_i \geq 0$ байт-тактів, дорівнює

$$T_n^D = D + 2\sqrt{Dr * \max\{h_i\}} - \max\{h_i\} + \sum_{i=1}^{r+1} h_i \quad \text{байт-тактам.}$$

Якщо $h_i = h_A \geq 1 \quad \forall i = \overline{1, r}$, то розмір заголовка передаючих пакетів на всьому маршруті R залишається постійною величиною. При цьому

$$\sum_{i=1}^{r+1} h_i = (r+1)h_A, \quad \max\{h_i\} = h_A,$$

$$T_n^D = \left(\frac{D}{n} + h_A\right)(r+n);$$

$$\min T_n^D = \left(\sqrt{h_A r} + \sqrt{D}\right)^2.$$

Аналогічний результат може бути одержаний і для загального випадку:

$$h_A = h;$$

$$T_n^D = \left(\sqrt{hr} + \sqrt{D}\right)^2.$$

Співвідношення величин h і r є визначальним параметром транспортної системи з комутацією пакетів. Адаптація цього співвідношення до конкретної системи комутації дає змогу досягнути необхідних значень характеристик ефективності продуктивності з погляду доставки масивів даних. Тому необхідно дослідити взаємозначальний характер співвідношення між кількістю комутаторів і обсягом заголовка пакетів, що передаються.

На рис. 1 показано графіки функцій $T_n^D = (D+h)(r+h)$ для випадків, коли $r > h$, $r < h$, $r = h$.

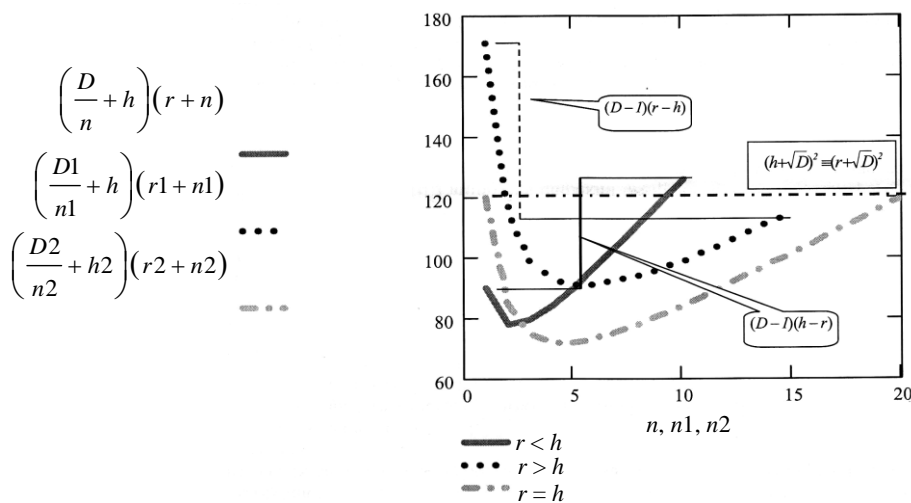


Рис. 1. Відношення $r, h, T_n^D(n)$

При оптимізації транспортної системи можуть бути використані властивості функціонала T_n^D , пов'язані з можливістю досягнення однакової продуктивності значень $r(h)$. Для цього необхідно визначити n_1 і n_2 , при яких $T_{n_1}^D = T_{n_2}^D$:

$$(n_2)_1 = \frac{Dr + hn_1^2 \pm (Dr - hn_1^2)}{2hn_1} = \frac{Dr}{hn_1}; \quad (n_2)_2 = n_1.$$

Таким чином, одержуємо:

$$T_{n_2}^D = T_{\frac{Dr}{hn_1}}^D$$

Коефіцієнт корисної передачі даних

Теоретично час доставки масиву інформації буде мінімальним, коли між джерелом і приймачем даних відсутні транзитні вузли і пакет не має заголовка. У цьому випадку час доставки даних об'ємом D байтів дорівнює D байтів-тактів. Якщо пакет даних містить заголовок, що складається з h байтів, то мінімальний час його доставки буде становити $D+h$ байтів-тактів. Таким чином, за відсутності транзитних вузлів коефіцієнт корисної передачі даних визначають як $\Xi_0 = \frac{D}{D+h}$.

Коли масив D даних транспортується до адреси за рахунок n пакетів, то

$$\Xi_n^h = \frac{D}{(D/n+h)n} = \frac{D}{D+nh}.$$

Для розглянутої системи комутації пакетів

$$\Xi_r^h = \frac{D}{T_n^D} = \frac{D}{(D/n+h)(r+n)}.$$

Дійсно, якщо припустити, що $\frac{D}{(D/n+h)(r+n)} = \frac{D}{D+nh}$, обчислити значення

величини r , при якому $\frac{D}{(D/n+h)(r+n)} = \frac{D}{D+nh}$,

то одержимо $\frac{D+nh}{(D/n+h)(r+n)} = 1$; $\frac{n}{r+n} = 1$, тобто r

$= 0$. Коли масив даних обсягом D байтів передається по транспортній системі за мінімальний час, то $\Xi^{n_0} = \frac{D}{(\sqrt{hr} + \sqrt{D})^2}$. Тому Ξ характеризує

ступінь втрат під час доставки даних через такі необхідні невиробничі затрати, як передача заголовка пакета і комутація самих пакетів. Оскільки rh -оптимізація включає вибір підходящих для

додатків значень n , то $\frac{(\sqrt{hr} + \sqrt{D})^2}{(D/n+h)(r+h)}$ буде найкращим критерієм для практичних оцінок ККПД (рис. 2).

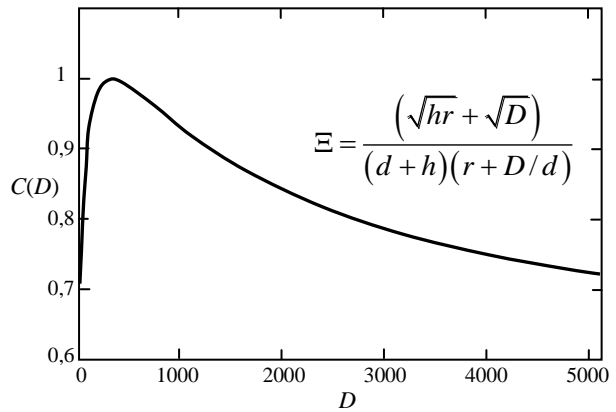


Рис. 2. Графік функції $\Xi(D)$

Це пов'язано з тим, що в формулі

$$\Xi_n^h = \frac{D}{(D/n+h)n} = \frac{D}{D+nh}$$

значення D є досяжними, так і у формулі $\frac{(\sqrt{hr} + \sqrt{D})^2}{(D/n+h)(r+n)}$ значення

виразу є теоретичним лімітом $(\sqrt{hr} + \sqrt{D})^2$ для мережі з комутацією пакетів. Е виразі $(D/n+h)(r+n)$ значення величини n , яке повинно забезпечувати $\Xi = 1$, визначається як

$n = \sqrt{\frac{Dr}{h}}$. На практиці ця рівність не завжди

виконується, оскільки в реальних системах виникає необхідність реалізувати заокруглення в наступних випадках:

- якщо значення n — дробове число, тоді воно заокруглюється до найближчого цілого.
- якщо D/n — це ціле число, тоді необхідно заокруглити значення n до найближчого цілого числа, при якому D/n стає цілим числом.
- формати пакетів у конкретних мережах можуть зумовлюватися заповненням полів даних до границь бінарних слів.

Технологія реалізації алгоритма rh -оптимізації

Оскільки розглянута транспортна підсистема реалізована на мережевому і каналному рівнях семирівневої моделі взаємодії відкритих систем, то кожний з рівнів повинен включати три компоненти (три алгоритми): комутацію, визначення шляху доставки пакетів даних і розрахунок оптимальних характеристик часу доставки інформаційних масивів. Через точку доступу до цих послуг наведені вище рівні будуть виконувати запити на rh -оптимізацію. Таким чином, послуги, компоненти і інтерфейси складають єдиний комплекс засобів, що забезпечують виконання одного з головних завдань інтелектуальних мереж, а

саме — підтримку якості обслуговування (*QoS*) у мережах з комутацією пакетів. Оскільки наразі час технологія *QoS* охоплює лише невелику кількість типів обслуговування, реалізація технології *rh*-оптимізації може стати істотним внеском в удосконалення області надання послуг в інтелектуальних системах і мережах комп'ютерів.

Для простоти викладу суті реалізації технології *rh*-оптимізації розглянемо інтелектуальне транспортне середовище, що підтримує сімейство протоколів *TCP/IP* [7]. Як відомо, встановлення *TCP*-з'єднань починається із запуску алгоритму триходового квіткування (рукоштовування).

Хост-джерело запиту формує *TCP*-пакет зі встановленим прапором *SYN* = 1 і прапором підтвердження *ACK* = 0. Поле послідовності пакетів (*Sequence Number*) містить початкове значення *X* (наприклад, *SEQ#* = 1000). У полі даних можуть бути записані аутентифікаційні параметри і інформація про узгодження *rh*-оптимізації між взаємодіючими вузлами. Сформований *TCP*-пакет з перерахованими даними передається мережевому рівню для *IP*-пакетизації. Особливе значення має те, що в *IP*-пакеті прапор часу життя пакетів (*Time to Live*) стає активним з погляду використання його значення в хості-приймачі. З цією метою в полі опцій *IP*-пакета вказується інформація про *rh*-оптимізацію. Це можливо, якщо в полі типу сервісу (*TOS*) *IP*-пакета встановлений прапор «міжмережвий контроль». *IP*-пакет, сформований відповідним чином, відправляється хосту-адресатові, який аналізує відповідно до стандартного протоколу всі його поля і прапори. Оскільки додатковий компонент мережевого рівня також має доступ до прапора «міжмережвий контроль», то аналізується поле опцій *IP*-пакета і знімаються свідчення поля *TTL*. Таким чином, хосту-адресатові стає відомо кількість транзитних комутаторів (маршрутизаторів) від хоста-джерела, що запитало з'єднання задля виконання алгоритму *rh*-оптимізації. Далі пакет передається транспортному рівню, де відображається запит на *rh*-оптимізацію. Потім хост-адресат формує *TCP*-пакет із значеннями полів *SYN* = 1, *ACK* = 1, *SEQ#* = *Y* (3000), *ACK#* = *X* + 1 + *Y* (1001). У полі даних записується додаткова інформація, зокрема код підтвердження *rh*-оптимізації. На мережевому рівні формується пакет і в полі *TOS* встановлюється прапор «міжмережвий контроль» із значенням 110.

Сформований пакет відправляється хосту, що запитав установалення з'єднання.

Хост-джерело, отримавши *IP*-пакет, знімає свідчення *TTL* і передає пакет транспортному рівню. Далі виконується третій етап узгодження *TCP*-з'єднань по стандартному протоколу, внаслідок чого взаємодіючим хостам стає відомо кількість транзитних комутаторів між ними, що дає змогу далі реалізувати *rh*-оптимізацію.

Висновки

Технологія *rh*-оптимізації дає можливість адаптувати час доставки інформаційних пакетів у корпоративних мережах комп'ютерів до реальних умов функціонування бізнес-додатків. Стає можливим створення інтелектуальної підмережі аналізу вимог до передачі мультимедійної інформації і прийняття оптимальних рішень за рахунок варіювання і розрахунку необхідних характеристик транспортної системи.

Ця концепція може бути узагальнена для ліквідації простоїв у будь-якому транспортному середовищі доставки ресурсів в сеансовому режимі. Запропонований алгоритм може бути використаний під час транспортування товарів, у технологічних процесах, хімічній промисловості, медицині, біології, біотехнологіях та ін.

ЛІТЕРАТУРА

1. Жуков І. А. Основи теорії мереж передачі та розподілу даних: навч. посіб. / І. А. Жуков, М. А. Віноградов, В. І. Дровозов, Н. Ф. Халімон. — К. : Книжкове вид-во НАУ, 2006. — 272 с.
2. Клейнрок Л. Обчислювальні мережі з чергами / Л. Клейнрок. — М. : Мир, 1979. — 400 с.
3. Девіс Д. Обчислювальні мережі і мережеві протоколи / Д. Девіс. — М. : Мир, 1979. — 563 с.
4. Бертсекас Д. Мережі передачі даних / Д. Бертсекас, Р. Галлагер. — М. : Мир, 1989. — 544 с.
5. Алишов Н. І. Адаптивний стековий алгоритм універсального доступу в розподілених системах і мережах комп'ютерів // УСиМ. — 2004. — № 2. — С. 59—72.
6. Алишов Н. І. Оптимізація комутації пакетів в розподілених системах // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. — 2004. — № 3. — С. 87—95.
7. Жуков І. А., Аль Шибані Салім, Аль-Сурикі Ібрагім. Оптимізація комп'ютерної мережі із забезпеченням *QoS* на основі числового критерія // Проблеми інформатизації і управління. — К. : НАУ, 2006. — Вип. 1(16). — С. 71—75.

Стаття надійшла до редакції 12.10.09.