

ЕЛЕКТРОНІКА, РАДІОТЕХНІКА ТА ЗАСОБИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

УДК 627.372

Ю.Ю. Войтенко

ДОСЛІДЖЕННЯ ТАЙМ-АУТУ ПОВТОРНОЇ ПЕРЕДАЧІ ТРАНСПОРТНОГО З'ЄДНАННЯ В МЕРЕЖАХ, ЩО САМООРГАНІЗУЮТЬСЯ

This article describes a key aspect of providing the reliability of the network transport layer TCP/IP based networks, such as a retransmission timeout. We are improving the efficiency of the transport mechanisms by adapting the retransmission timeouts of the transport protocol to the conditions of operation of self-organizing radio networks. The basis for the proposed new method for determining the retransmission timeout of packets is to calculate the timeout for each route individually, rather than the cumulative timeout packet-receipts. This allows for a self-organizing networks to calculate such a number of timeouts, how many routes found up to the final destination. It is proved that such an approach can significantly reduce the waiting time in the case of packet loss and retransmit, and thus increase the overall throughput of the transport connection.

Вступ

Втрати даних є неминучими в будь-яких мережах зв'язку, особливо в безпроводових. У пакетних радіомережах, що самоорганізуються, (Ad Hoc/MANET) ці втрати можуть бути зумовлені не тільки проблемами радіоканалу, але й особливостями топології таких мереж (як, наприклад, втрати зв'язності абонентів), а також іншими проблемами. Для забезпечення надійності поряд із механізмом зворотного зв'язку "дані-підтвердження" використовується тайм-аут повторної передачі даних. У системах зв'язку, що базуються на моделі TCP/IP, тайм-аут повторної передачі (retransmission timeout – *RTO*) відіграє ключову роль для прийняття рішення про втрату сегмента даних або порушення зв'язку. Подібні тайм-аути використовують усі мережеві протоколи транспортного рівня, що гарантують надійне з'єднання. Цей механізм, вочевидь, є незамінним.

Протокол керування передачею (Transmission Control Protocol (TCP)) як основний транспортний протокол мереж TCP/IP покликаний забезпечити надійність і гарантувати доставку даних від джерела до отримувача [1]. Протокол TCP широко розповсюджений, реалізований і використовується в усіх комп'ютерних системах зв'язку, а також у системах безпроводового зв'язку, що підтримують протокол Інтернету (Internet Protocol (IP)). До того ж всі сучасні безпроводові системи зв'язку послідовно реалізують концепцію "all-IP", у т.ч. пакетні радіомережі типу Ad Hoc/MANET. Отже, проблема забезпечення надійності з'єднання TCP актуальна й для таких мереж.

Постановка задачі

Мета статті – розглянути підхід до обчислення тайм-ауту повторної передачі протоколу TCP в умовах застосування цього протоколу в пакетних радіомережах, що самоорганізуються, а також основні проблеми, що вирішує транспортний рівень таких мереж.

Задачі транспортного рівня

Розглянемо більш детально основні функції транспортного рівня на прикладі протоколу TCP. TCP реалізується на кінцевих пристроях (хостах). У TCP вбудовано спеціальний механізм, що гарантує пересилання даних без помилок, пропусків і в тій самій послідовності, у якій вони були відправлені. Програми, наприклад пересилання файлів, передають дані в протокол TCP, який додає до них заголовок і формує елемент, що називається сегментом. Наявність TCP на кожному кінці з'єднання дає для доставки даних локальному програмному забезпеченню такі можливості, як точність, збереження послідовності, повнота, виключення дублювання.

Базовий механізм для реалізації цих можливостей починає використовуватися з самого початку обміну даними. Передавальна система TCP нумерує кожен сегмент, встановлює початковий тайм-аут повторної передачі, пересилає сегмент.

Прийомна система TCP у свою чергу повідомляє своєму партнеру, скільки даних було передано правильно через висилання пакетів-підтверджень. Якщо підтвердження успішного

пересилання сегмента не буде отримане за заданий проміжок часу, TCP проводить повторне пересилання цього сегмента. Така стратегія може також призвести до дублювання вже доставлених на прийомну систему сегментів, тому прийомна система TCP має розмішувати отримані сегменти в правильному порядку й виключити дублювання. TCP передає дані в програмне забезпечення вищого рівня у правильному порядку та без пропусків, розмішуючи дані в прийомному буфері строго згідно з їх порядковими номерами та висилає відповідні квитанції (пакети-підтвердження). Протокол TCP підтримує повнодуплексне з'єднання, тобто передавальна та прийомна сторони можуть обмінюватися даними в рамках однієї сесії.

Тайм-аут повторної передачі у проводових мережах

Як було сказано, для забезпечення надійності з'єднання протокол TCP після відправки чергового сегмента даних встановлює тайм-аут повторної передачі. Якщо після заданого часу очікування передавальна сторона не отримає пакет-підтвердження з відповідним номером підтвердження, сегмент буде передано повторно. Значення тайм-ауту, тобто того часу, який треба чекати на відповідь, розраховується на основі простих статистичних відомостей, таких як час відправки даних і час отримання підтвердження. Для правильного обчислення значення тайм-ауту враховують ще один важливий фактор – зміну часу циклу (round-trip time – RTT) через непостійність умов функціонування мереж, в першу чергу навантаження та доступної полоси пропускання. В останніх реалізаціях протоколу TCP прийнято розраховувати так званий “згладжений час циклу” (smoothed round-trip time – $SRTT$) за формулою

$$SRTT = (1 - \alpha) \cdot SRTT_{old} + (\alpha \cdot RTT_{last}), \quad (1)$$

де $0 < \alpha < 1$. Збільшення α призводить до більшого впливу поточного часу циклу на згладжене середнє значення. Як правило, α вибирається рівним $1/8$, тому (1) можна переписати у вигляді

$$SRTT = \frac{7}{8} \cdot SRTT_{old} + \frac{1}{8} \cdot RTT_{last}. \quad (2)$$

В документі RFC 1122 [2] з урахуванням формули (2) рекомендується таке значення тайм-ауту:

$$RTO = SRTT + (2 \cdot SDEV), \quad (3)$$

де $SDEV$ – згладжене відхилення, для обчислення якого спочатку знаходиться абсолютне значення поточного відхилення

$$DEV = |RTT_{last} - SRTT_{old}|, \quad (4)$$

а потім, за допомогою (4), останнє значення:

$$SDEV = \frac{3}{4} \cdot SDEV_{old} + \frac{1}{4} \cdot DEV. \quad (5)$$

Транспортний рівень у безпроводових мережах Ad Hoc/MANET

У мережах, що самоорганізуються задача доставки повідомлень ускладнюється непостійністю топології. Побудований маршрут від відправника до отримувача може в будь-який час стати недоступним, при цьому транспортний рівень (у разі використання неадаптованого протоколу TCP) після тайм-ауту повторної передачі помилково буде “вважати”, що мережа перевантажена, й перейде у стан керування навантаженням, що притаманне виключно мережам з фіксованою інфраструктурою, так як у мережі Інтернет.

Існує велика кількість праць про спеціальні адаптації протоколу TCP до самоорганізовуваних радіомереж, наприклад [3], [4]. Більшість із них присвячено адаптації транспортного рівня до радіотракту з урахуванням таких проблем, як значно більше значення ймовірності бітової помилки, енергозбереження при повторних пересиланнях, частота оновлення таблиць маршрутизації для підтримання зв'язності абонентів залежно від стану радіоканалу тощо (при цьому інформація від нижчих рівнів (фізичного, каналного й мережевого) приймається лише частково). Наприклад, у [4] пропонується проміжковий рівень для “безшовної” адаптації класичної версії протоколу TCP для мережі Інтернет до мобільних радіомереж, що самоорганізуються, що в свою чергу буде трактувати по-іншому факт втрати пакета за маршрутом або відсутність пакета-підтвердження.

З урахуванням зазначеного можна вважати, що основною проблемою, з якою має справу транспортний рівень мобільних радіомереж, що самоорганізуються, – більш висока ймовірність втрати пакета, ніж у мережах з фіксованою інфраструктурою, що зумовлена частою

зміною топології мережі, станом радіоканалу й різномірністю доступних мережевих ресурсів.

Можна поставити такі основні вимоги до проектування транспортного протоколу мереж Ad Hoc/MANET: пакетно-орієнтований механізм підтвердження, явний механізм зворотного зв'язку й керування маршрутами, адаптивне обчислення тайм-аутів повторної передачі, зменшення службового трафіка (загальна кількість пакетів-підтверджень, пакетів синхронізації).

Тайм-аут повторної передачі в мережах Ad Hoc/MANET

У мобільних радіомережах, що самоорганізуються, пакети з великою ймовірністю будуть приходити в неправильному порядку та з великим розкидом затримок між ними. До того ж в разі виходу з ладу маршруту необхідно мати час на пошук альтернативного шляху. В поточних реалізаціях протоколу TCP (RENO, RENO-2, VEGAS) значення тайм-ауту не враховує цих ефектів, притаманних лише пакетним радіомережам зі змінною топологією.

Будемо вважати, що транспортний протокол мобільних радіомереж, що самоорганізуються, має такі властивості:

можлива доставка груп пакетів по визначених маршрутах;

тайм-аут повторної передачі обчислюється окремо для кожного маршруту, а не сумарно для всієї сесії;

підтвердження пересилаються за тим же маршрутом, що й дані.

З урахуванням цих допущень порівняємо продуктивності протоколу TCP й адаптованого транспортного протоколу радіомереж, що самоорганізуються, ATCP.

Таблиця 1. Параметри маршрутів

Номер маршруту	Число вузлів ретрансляції	RTT , мс
1	3	4
2	4	7
3	5	12

Наприклад, припустимо такий сценарій передачі даних у мережах Ad Hoc/MANET: передаються 10 пакетів однакового розміру, доступні 3 маршрути з джерела до точки призначення, 3 пакети губляться (по одному на кожному маршруті). Пакети передаються по черзі

різними маршрутами. Пакети, позначені (*), були умовно втрачені і передані повторно найкоротшим маршрутом. Число вузлів ретрансляції, початковий час циклу для кожного з маршрутів наведені в табл. 1.

У табл. 2 і 3 подано параметри транспортних протоколів TCP і ATCP відповідно. Вихідні значення параметрів для розрахунку тайм-ауту $SDEV = 1500$ мс. Решта значень розраховуються відповідно до формул (1)–(5). Також вважатимемо, що початкове значення RTT для пакетів даних приблизно в 30 разів більше наведеного в табл. 1, тому що максимальний сегмент пакета даних становить 1200 байт, а пакета-підтвердження – 40 (беремо до уваги тільки заголовки IPv4/TCP).

Таблиця 2. Параметри таймера протоколу TCP

Пакет	$SRTT_{old}$, мс	RTT_{last} , мс	$SRTT_{new}$, мс	$SDEV$, мс	DEV , мс	T , мс
1	0	120	15	1155	120	2325
2	15	210	39,3	915	195	1869,3
3*	39,3	360	79,4	766,4	320,6	1612,2
4	79,4	120	84,5	584,9	40,5	1254,4
5*	84,5	210	100,2	470,1	125,4	1040,3
6	100,2	360	132,6	417,5	259,7	967,6
7*	132,6	120	131,1	316,3	12,6	763,6
8	131,1	210	140,9	256,9	78,9	654,8
9	140,9	360	168,3	247,4	219,0	663,2
10	168,3	120	162,2	197,6	48,3	557,6

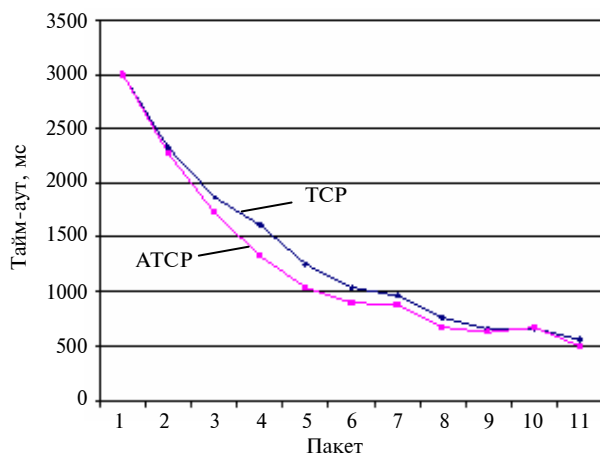
Таблиця 3. Параметри таймера протоколу ATCP

Пакет	$SRTT_{old}$, мс	RTT_{last} , мс	$SRTT_{new}$, мс	$SDEV$, мс	DEV , мс	T , мс
1	4	120	18,5	1126	4	2270,5
2	7	210	32,3	846,2	7	1724,8
3*	12	360	55,5	637,6	12	1330,8
4	18,5	120	31,1	503,6	101,5	1038,4
5*	32,3	210	54,5	422,1	177,6	898,8
6	55,5	360	93,5	392,7	304,5	879,0
7*	31,1	120	42,2	316,7	88,8	675,7
8	54,5	210	74,0	276,4	155,4	626,8
9	93,5	360	126,8	273,9	266,4	674,7
10	42,2	120	52,0	224,8	77,7	501,7

У табл. 4 наведені сумарний час доставки 10 пакетів з урахуванням втрат пакетів № 3, 5, 7 і теоретична пропускна здатність протоколів.

Таблиця 4. Порівняльний аналіз протоколів

Протокол	Час доставки, мс	Пропускна здатність, кб/с
TCP	6296,3	2,3823
ATCP	5785,5	2,5926



Залежність значення тайм-ауту повторної передачі від кількості переданих пакетів

На рисунку наведено залежність значення тайм-ауту повторної передачі транспортного протоколу від числа переданих пакетів. Як було зазначено, пакети 3, 5 і 7 були умовно втрачені і передані повторно по маршруту 1 ($RTT = 4$ мс).

Таким чином, як видно з графіка і табл. 4, протокол ATCP має пропускну здатність приб-

лизно на 8 % меншу, ніж протокол TCP без адаптації тайм-ауту повторної передачі до умов мереж Ad Hoc/MANET.

Висновки

У статті розглянуто механізми забезпечення надійності з'єднання на транспортному рівні для мереж TCP/IP. Ключовим механізмом забезпечення надійності таких мереж є тайм-аут повторної передачі пакетів даних. У результаті детального розгляду механізмів розрахунку тайм-ауту для проводових мереж був запропонований ряд удосконалень транспортного протоколу для радіомереж, що самоорганізуються. Відповідно до прикладу, який моделює передачу даних у радіомережах по різних маршрутах і з випадковими втратами даних, можна зробити висновок, що продуктивність вдосконаленого протоколу TCP, умовно названого ATCP, приблизно на 8 % вища, ніж у звичайного TCP, за рахунок адаптації тайм-ауту повторної передачі до кожного окремого маршруту в межах однієї транспортної сесії.

Таким чином, одним із перспективних напрямів вдосконалення транспортного рівня радіомереж, що самоорганізуються, є врахування параметрів мережевого і каналного рівнів при адаптованому обчисленні значення тайм-ауту повторної передачі.

1. *RFC 1122. Requirements to Internet Hosts* / Ed.R. Braden. – IETF, 1989. – 116 p.
2. *Scalability Issues in Ad-Hoc Networks: Metrical Routing vs. Table-Driven Routing* Wireless Personal Communications / Y. Ben-Asher, Sh. Feldman, M. Feldman, P. Gurfil. – 2010. – N 52. – P. 423–447.
3. *Gong M.X., Midkiff S.F., Mao S. A Cross-layer Approach to Channel Assignment in Wireless Ad Hoc Networks* //

Mobile Network Applications. – 2007. – N 12. – P. 43–56.

4. *ATP: A Reliable Transport Protocol for Ad-hoc Networks* / K. Sundaresan, V. Anantharaman, H.-Yu. Hsieh, R. Sivakumar // *MobiHoc'03*, June 1–3, 2003, Annapolis, Maryland, USA. – Maryland, 2003. – P. 64–75.
5. *RFC 793. Transmission Control Protocol*. – IETF, 1981. – 85 p.

Рекомендована Радою
Інституту телекомунікаційних систем
НТУУ "КПІ"

Надійшла до редакції
18 липня 2011 року