

Модел на TCP източник с отчитане на дублираните потвърждения

Георги Христов

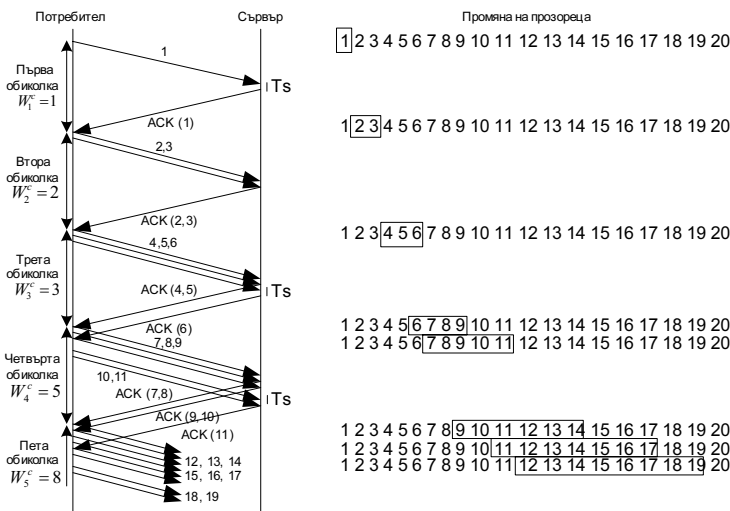
A model of a TCP source with detection of the duplicate acknowledgements and the timeout period: In current TCP/IP networks, TCP relies on packet drops as the indication of congestion. The TCP source detects dropped packets either from the receipt of three duplicate acknowledgements (ACKs) or after the timeout of a retransmit timer, and responds to a dropped packet by reducing the congestion window

Key words: TCP, TCP throughput, TCP window size, double acknowledgements:

ВЪВЕДЕНИЕ

Статията е акцентирана върху методите за избягване на претоварването при TCP, където размерът на прозореца за управление на претоварването W се увеличава с $1/W$ всеки път, когато се приеме потвърждение. В противен случай при констатиране на загубен пакет прозорецът намалява, като размерът на това намаляние зависи от това дали загубата на пакет е открита от дублирано потвърждение или от изтичане на времето за предаване.

Механизъм за избягване на претоварването в TCP се основава на термина „обиколка“. При пропадане на всички сегменти, когато е пълен прозорецът на претоварване, не се изпращат други докато не се получи потвърждение за един от изпратените сегменти. Тези приети потвърждения регистрират края на настоящата „обиколка“ и начало на нова. В такъв случай продължителността на обиколката е равна на отчетеното време за една пълна обиколка и се приема да бъде независима от размера на прозореца. [1,4,5]. Трябва да се приеме, че времето необходимо за изпращане на всички пакети в прозореца е по-малко от времето за една пълна обиколка [1,2,3].



Фиг.1 Изменение на прозореца

В началото на нова обиколка се изпраща група от W' нови пакета, където W' е новият размер на прозореца за управление на претоварването. Броят на потвърдените и приети от приемника сегменти се означава с b . Множество TCP приемници изпращат едно потвърждение за всеки два последователно приети

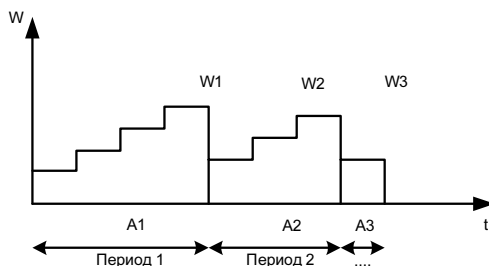
пакета, така че b обикновено е 2. Ако W на брой пакети са изпратени в първата обиколка и всички са приети коректно, тогава ще бъдат генерирани W/b потвърждения. При всяко потвърждение размерът на прозорецът нараства с $1/W$, а размерът на прозореца в началото на втората обиколка е $W=W+1/b$. По този начин в процеса на избягване на претоварването и в отсъствие на загуби, размерът на прозореца нараства линейно във времето с наклон $1/b$ пакета за времето на една пълна обиколка (фиг.1), [5].

МОДЕЛ ОТЧИТАЩ ЗАГУБИТЕ В TCP ТРАНСФЕРИТЕ ПОСРЕДСТВОМ ДУБЛИРАНЕ НА ПОТВЪРЖДЕНИЯТА

Допуска се, че отчитането на загуба е единствено по метода „трикратно резервирани“ потвърждения и че размерът на прозореца не е ограничен от прозореца за управление на потока в приемника. Разглежда се TCP поток, започващ във време $t=0$ и се приема, че предавателят постоянно генерира информация за изпращане. За всяко време $t>0$ се дефинира N_t , където N_t е броят на предадените пакети в интервала $[0, t]$, а $V_t=N_t/t$ е средната интензивност на предаване в този интервал (V_t е броят на предадените пакети за единица време, не отчита тяхното състояние – дали са приети или не). Поради тази причина V_t представя интензивността на предаване (V_{ex}) при дадена връзка за разлика от ефективната скорост (V_{uzk}). Може да се дефинира [5] средната интензивност на предаване за TCP с продължително във времето устойчиво състояние:

$$V = \lim_{t \rightarrow \infty} V_t = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{N_t}{t} \quad (1)$$

В това разглеждане се допуска, че при загуба на един пакет в дадена обиколка, всички останали пакети предавани през времето на тази обиколка са също изгубени. Въз основа на това се дефинира вероятността за загуба на пакет p , определена като вероятност за загуба на първия пакет от текущата обиколка или последния от предходната. Целта е да се установи зависимостта $V(p)$ – между средната интензивност на предаване при TCP сесия и вероятността за загуби p .

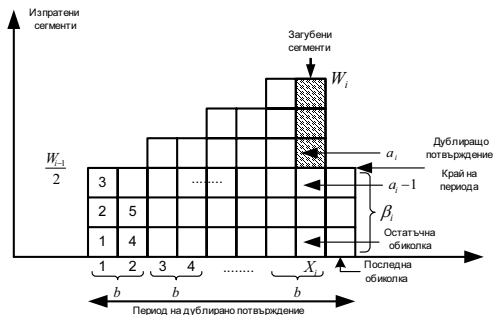


Фиг.2 Изменение размера на прозорецът при откриване на загуби чрез трикратно дублиращо потвърждение

Дефинира се период на „трикратно дублирано“ потвърждение, който е равен на периода между два сигнала за загуби, както е показано на фиг.2. За i период се дефинира броят на изпратените пакети Y_i , продължителността на този период A_i и размерът на прозореца в края на периода W_i . Като се отчита, че $\{W_i\}_i$ е Марковски възобновим процес [5,6] по отношение на $\{Y_i\}_i$ може да се изведе:

$$V = \frac{M[Y]}{M[A]} \quad (2)$$

За да се получи израза за V при TCP с продължително във времето устойчиво състояние е необходимо да се изведат математическите изрази за средните стойности на Y и A . С α_i се обозначава първият загубен пакет в период, а с X_i обиколката, през която се е появила загубата (фиг.3). След първия загубен пакет са изпратени повече от $W-1$ пакета, по време на допълнителната обиколка, преди да се появи индикацията за загуби (и настоящият период завършва).



Фиг. 3 Изпратени пакети за даден период

Следователно, общият брой на изпратени пакети е $Y_i = \alpha_i + W_i - 1$ за $X_i + 1$ обиколки. Тогава:

$$M[Y] = M[\alpha] + M[W] - 1, \quad (3)$$

където $M[\cdot]$ е математическо очакване.

$M[\alpha]$ се получава като се разглежда случайния процес $\{\alpha_i\}$, където α_i е броят на изпратените пакети по време на периода, включвайки и първият изгубен пакет. На базата на направените допускания, че загубите на пакети по време на обиколката са независими от загубите на всички пакети по време на останалите обиколки, $\{\alpha_i\}_i$ е последователност от независимо и еднакво разпределени случайни променливи [5]. На базата на разглеждания модел за загуби, вероятността $a_i=k$ е еквивалентна на вероятността, за $k-1$ успешно приети пакети преди появата на загуба:

$$P[\alpha = k] = (1 - p)^{k-1} p, \quad k=1,2,\dots \quad (4)$$

Следователно, математическото очакване на α се получава:

$$M[\alpha] = \sum_{k=1}^{\infty} (1-p)^{k-1} pk = \frac{1}{p} \quad (5)$$

От (3) и (5) се получава:

$$M[Y] = \frac{1-p}{p} + M[W] \quad (6)$$

За определяне на $M[W]$ и $M[A]$ се разглежда i период. С r_{ij} се отбелязва продължителността (времето за една пълна обиколка) на j обиколка на периода. Следователно, продължителността на периода е $A_i = \sum_{j=1}^{X_i+1} r_{ij}$. Времето за една пълна обиколка r_{ij} се приема за случайна променлива, която е независима от големината на прозореца на претоварване и поради тази причина е независима от броя на обиколките j . Следователно:

$$M[A] = (M[X] + 1)M[r], \quad (7)$$

където с $M[r]$ е обозначена усреднената стойност на времето за пълна обиколка.

От израза може да се определи поведението на W_i като функция от броя на обиколките, както е показано на фиг.3. С цел опростяване се приема, че $W_{i-1}/2$ и X_i/b са цели числа. За разлика от [5], големината на прозореца по време на i период се представя посредством израза [2]:

$$W_i = \frac{W_{i-1}}{2} + \frac{X_i}{b} - 1, \quad i=1,2,\dots \quad (8)$$

Предадените Y_i пакети през i период се изразяват със зависимостта:

$$Y_i = \frac{X_i}{2} \left(\frac{W_{i-1}}{2} + W_i \right) + \beta_i, \quad (9)$$

където β_i е броят на изпратените пакети през последната обиколка. $\{W_i\}_i$ е Марковски процес, за който равномерното разпределение може да бъде определено чрез изчисление, основано на изразите (8) и (9) и на функцията на разпределение $\{\alpha_i\}$, дадена с израз (4). Може да се изчисли и вероятностното разпределение на $\{X_i\}$. Едно опростено приблизително решение се получава като се приеме, че $\{X_i\}$ и $\{W_i\}$ са взаимно независими последователности на независими и еднакво разпределени случайни променливи [5]. Въз основа на това допускане и от изразите (8), (9) и (6) следва, че:

$$M[W] = \frac{2}{b} M[X] - 2 \quad (10)$$

$$\frac{1-p}{p} + M[W] = \frac{M[X]}{2} \left(\frac{M[X]}{2} + M[W] \right) + M[\beta] \quad (11)$$

Приема се, че броят на пакетите в последната обиколка β_i са еднакво разпределени между един и W_i , и следователно $M[\beta] = M[W]/2$. От изрази (10) и (11) се получава:

$$M[W] = \sqrt{\frac{8(1-p)}{3bp} + \frac{(3b-2)^2}{9b^2}} - \frac{3b-2}{3b} \quad (12)$$

т.е. $M[W] \approx \sqrt{\frac{8}{3bp}}$ за малки стойности на p . От изрази (10), (7) и (12) следва, че:

$$M[X] = \sqrt{\frac{2b(1-p)}{3p} + \frac{(3b-2)^2}{36}} + \frac{2+3b}{6} \quad (13)$$

$$M[A] = r \left(\sqrt{\frac{2b(1-p)}{3p} + \frac{(3b-2)^2}{36}} + \frac{8+3b}{6} \right) \quad (14)$$

Замествайки в (1) получените изрази се получава:

$$V(p) = \frac{\frac{1-p}{p} + M[W]}{M[A]} = \frac{\frac{1-p}{p} + \sqrt{\frac{8(1-p)}{3bp} + \frac{(3b-2)^2}{9b^2}} - \frac{3b-2}{3b}}{r \left(\sqrt{\frac{2b(1-p)}{3p} + \frac{(3b-2)^2}{36}} + \frac{3b+8}{6} \right)} \quad (15)$$

Представеният модел (15) характеризира поведението на TCP източник посредством зависимостта на неговата средна ефективна скорост на предаване от вероятността за поява на загуби. Този модел описва влиянието на загуби открити посредством дублирани потвърждения и не отчита влиянието при ограничаване големината на прозореца.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представеният стохастичен модел описва устойчивото състояние на TCP трансферите. Подходът за моделиране на управлението на претоварването е базиран на периоди, равни на времето за една пълна обиколка. Тази обиколка започва с предаването на сегменти и завършва, когато първото потвърждение бъде получено. Следователно, продължителността на кръга е равна на времето за една пълна обиколка. Това предполага продължителността на кръга да бъде независима от прозореца на претоварване. Модела включва загуби открити, чрез дублирани потвърждения. Теорията на стохастичните системи е използвана за определяне очакваните стойности на броя на предадените сегменти в един кръг и продължителността на кръга в периодите при възможни загуби p . От изследването на аналитичния TCP модел, се доказва, че средната скорост на предаване е обратнопропорционална на r и p , и правопропорционална на продължителността на отделните фази.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Cardwell N., Savage S., Anderson T., Modeling TCP latency, Proceedings of the IEEE Conference Computer and Communications Societies INFOCOM'00, vol. 3, Tel Aviv, Israel, pp. 1742 – 1751, 2000
- [2] Dunaytsev R. et. al., The PFTK-model revised, Computer Communications Review, ScienceDirect, vol. 29, 2006
- [3] Mathis M., Semske J., Mahdavi J., Ott T., The macroscopic behavior of the TCP congestion avoidance algorithm. Computer Communication Review, vol.27, no.3, pp. 67 – 82, 1997
- [4] Padhye J., Firoiu V., Towsley D., Kurose J.. Modelling TCP Reno performance: a simple model and its empirical validation. IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 8, no. 2, pp. 133 – 145, 2000.
- [5] Padhye J., Firoiu V., Towsley D., A stochastic model of TCP Reno congestion avoidance and control. Technical Report 99-02 University of Massachussets, pp. 99 – 102, 1999.
- [6] Rubino G., Sericola B., Sojourn times in Markov processes. Journal of Applied Probability, vol.26, no.6, pp. 744 – 756, 1989.

За контакти:

гл. ас. д-р Георги Христов, Катедра “Комуникационна техника и технологии”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 663, e-mail: ghrisov@ru.acad.bg

Докладът е рецензиран.