

УДК 681.324:621.325

И.В. Ильина¹, В.В. Кирвас¹, А.А.Коваленко²

¹Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, Харьков

²Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

УЧЕТ ОШИБОК ПРЕДСКАЗАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОГО ТРАФИКА НА РАВНОМЕРНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПРОТОКОЛОМ TCP

Проведен анализ влияния ошибок предсказания фрактального телекоммуникационного трафика на эффективность протокола TCP, использующего такой механизм. Рассмотрены случаи существования двух и более соединений. Приведены графики зависимости эффективности протокола TCP от ошибки предсказания для этих случаев.

протокол TCP, трафик, фрактальность, масштабная инвариантность, сетевые протоколы, модель, телекоммуникационная сеть, плавающее окно, предсказание

Введение

Постановка задачи и анализ литературы. Многочисленные исследования трафика современных мультисервисных сетей передачи данных убеждают нас в наличии самоподобной природы или присутствия долговременной зависимости (ДВЗ) [1 – 3] в этих сетях. Особенности современного трафика также являются наличием последствия и масштабная инвариантность статистических характеристик [1, 4 – 7]. Такой характер трафика в больших масштабах времени может привести к неравномерности загрузки существующих каналов сетей передачи данных, которая характеризуется или перегрузкой или недостаточной используемостью выделенных каналов.

В то же время, наличие долговременной зависимости в трафике делает возможным исследование и применение принципиально новых методов управления информационными потоками в телекоммуникационной сети, позволяющих значительно повысить

эффективность работы существующих управляющих протоколов [8].

До сих пор несуществующие модели и реализации протокола TCP не учитывают многоуровневые, иерархические процессы, протекающие в современных телекоммуникационных сетях [9]. Особенностью ДВЗ является то, что плотности распределения вероятности случайных величин, которыми характеризуются трафиковый процесс, являются не гауссовскими, а степенными, для которых до настоящего времени полностью не решена задача точности и достоверности проведенных исследований [10, 11]. Таким образом, задача определения влияния ошибок предсказания трафика на эффективность функционирования протоколов управления сетью является **актуальной**.

Целью данной статьи является исследование влияния ошибки предсказания доступного размера полосы пропускания канала, являющегося узким местом маршрута, на эффективность транспортных протоколов и равномерность распределения ресурсов.

Результаты теоретических исследований

В данной статье производится анализ влияния ошибок предсказания на производительность протокола управления в сети, использующего механизм предсказания будущего трафика [12 – 14].

Пусть $\bar{X}_i^{(m)}(n+1)$ и $X_i^{(m)}(n+1)$ обозначают оценочное и действительное значения производительности, достигнутой соединением i , соответственно. Тогда ошибка предсказания равна

$$\tau_i(n) = \frac{\bar{X}_i^{(m)}(n+1) - X_i^{(m)}(n+1)}{X_i^{(m)}(n+1)}, \quad (1)$$

а индекс справедливого распределения вычислительного ресурса для N соединений равен

$$F(r) = \left(\frac{\sum_{i=1}^N X_i^{(m)}(n)}{N \left(\sum_{i=1}^N (X_i^{(m)}(n))^2 \right)^{1/2}} \right)^2. \quad (2)$$

Значение $F(r) = 1$ в случае, когда доступный размер полосы пропускания канала, являющегося узким местом, равномерно распределен между всеми N соединениями ($X_i^{(m)}(n) = C/N, \forall i$). Далее будет произведена оценка влияния $\tau_i(n)$ на $F(r)$ при различном числе соединений ($N = 2$ и $N > 2$).

1. Проведем исследования при достаточно тривиальном условии $N = 2$.

Пусть $\gamma = \max(|\tau_1(n)|, |\tau_2(n)|)$. Тогда, как показано на рис. 1, а, предсказанная оптимальная рабочая точка попадает внутрь квадрата с центром, имеющим координаты $(C/2, C/2)$, размером $C_\gamma \cdot C_\gamma$. Если размер буфера маршрутизатора для канала, являющегося узким местом, равен V , то, потеря пакетов происходит только тогда, когда рабочая точка находится за линией $f + B = C + V/T_p$ (рис. 1, а).

Пусть $L = V/T_p$. Для удобства анализа можно предположить, что предсказание делается независимо для каждого соединения и в неперекрывающиеся независимые интервалы времени. Тогда вероятность того, что предсказанная оптимальная точка попадает в любую точку в квадрате, будет постоянной внутри квадрата. Вероятность того, что предсказанная оптимальная точка окажется за линией $f + B = C$, равна

$$p = 0,5(1 - L/C_\gamma)^2 \quad \text{при } C_\gamma \geq L. \quad (3)$$

Как показано на рис. 1, б, размеры всех окон при использовании протокола TCP лежат в интервале между двумя пунктирными линиями $T_p \cdot C(1+\gamma)/2$ и $T_p \cdot C(1-\gamma)/2$. Кроме того, во временных интервалах R1, R3 и R8 происходит перегрузка и размер окна уменьшается вдвое. Тогда, долговременно достижимая производительность T_h может быть вычислена как

$$T_h = \lim_{M \rightarrow \infty} \frac{\sum_{n=1}^M W_i(n)}{M \times T_p} = \lim_{M \rightarrow \infty} \frac{M_c E(W_c) + M_d E(W_d) + M_u E(W_u)}{M \times T_p}, \quad (4)$$

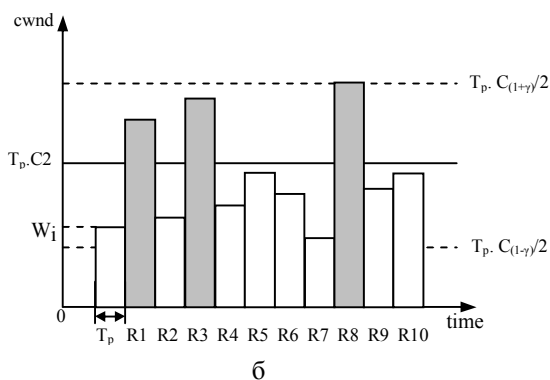
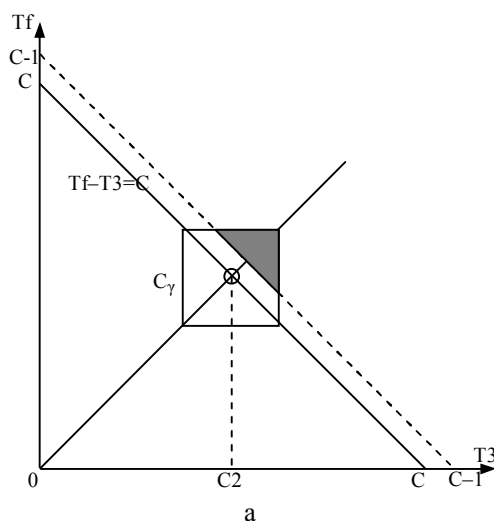


Рис.1. График фаз и временная диаграмма плавающего окна в случае, когда ошибка ограничена γ (W_i – начальный размер окна)

где с помощью M_c , M_d и M_u обозначено, соответственно, количество интервалов на которых происходит перегрузка, количество интервалов следующих непосредственно за интервалом, в который произошла перегрузка, и количество других интервалов, а $E(W_c)$, $E(W_d)$ и $E(W_u)$ являются средними размерами окон на интервалах M_c , M_d и M_u , соответственно.

Примерный график зависимости величины T_h от γ приведен на рисунке 2. Видно, что при увеличении относительной ошибки предсказания от 0 до 0,6 величина T_h изменяется в пределах от 5×10^6 до $4,65 \times 10^6$, т.е. на 7%, а при изменении относительной ошибки предсказания от 0 до 1,0 величина T_h изменяется в пределах от 5×10^6 до $4,55 \times 10^6$, т.е. всего лишь на 9%. Воспользовавшись формулой (2), проведем оценку индекса справедливого распределения вычислительного ресурса $F(r)$ в случае $N=2$. Значение индекса составляет $F(r)=0,9972$, что подтверждает незначительное влияние ошибок предсказаний на распределение вычислительного ресурса.

2. Аналогичные исследования были проведены для случая, когда число соединений значительно ($N > 2$).

В этих допущениях выражение для долговременно достижимой производительности T_h принимает следующий вид:

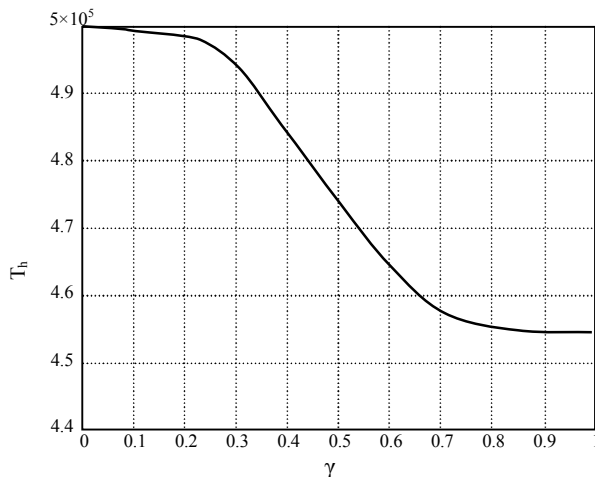


Рис. 2. Отношение долговременно достижимой производительности T_h к максимальному проценту ошибок предсказания γ при $N=2$

$$T_h = \left(\frac{1}{2(1+p)} \right) \cdot \left(\frac{C}{N} \right) \cdot \left(2+p + C\gamma^2/3 \times \right. \\ \left. \times (3p / ((N-1)C\gamma - NL) - 2(1-p) / ((N-1)C\gamma + NL)) \right). \quad (5)$$

Анализ влияния ошибок прогнозирования изменения графика на индекс справедливости распределения вычислительного ресурса в данном случае будем проводить по аналогии со случаем с двумя соединениями. На рис. 3 приведен пример графика зависимости величины T_h от γ .

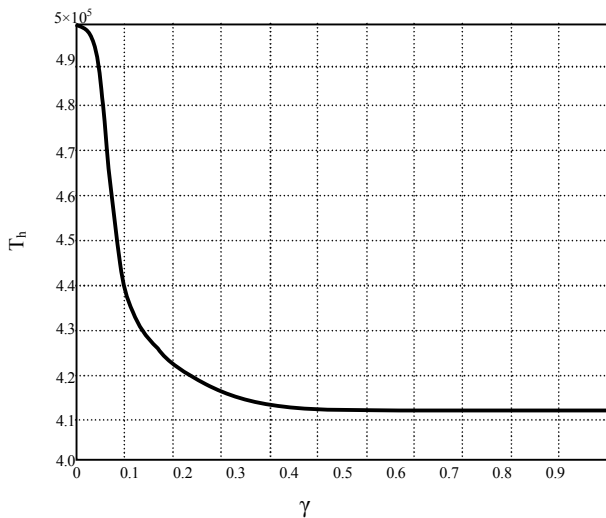


Рис. 3. Отношение долговременно достижимой производительности T_h к максимальному проценту ошибок предсказания γ при $N>2$

Видно, что при увеличении относительной ошибки предсказания до 0,1 величина T_h изменяется в пределах от 5×10^6 до $4,4 \times 10^6$, т.е. на 12%, а при изменении относительной ошибки предсказания от 0,1 до 1,0 величина T_h изменяется в пределах от $4,4 \times 10^6$ до $4,15 \times 10^6$, т.е. всего лишь на 5,5%. Вновь воспользовавшись формулой (2), проведем оценку индекса справедливого распределения вычислительного ресурса $F(r)$ в случае $N=20$. Несложные вычисления показывают, что значение индекса

составляет $F(r) = 0,9989$, что также подтверждает незначительное влияние ошибок предсказаний на распределение вычислительного ресурса.

Сравнивая результаты оценок $F(r)$, полученные при различном числе соединений: $N=2$ и $N>2$ можно отметить, что увеличение числа соединений не только значительно не уменьшает величину $F(r)$, но даже и увеличивает ее значение.

Исследования достоверности проведенной оценки было проведено на основании метода [10, 11]. Этот метод учитывает тот факт, что оцениваемые случайные величины характеризуются степенной плотностью распределения (например, распределением Парето). Результаты исследований показывают, что с вероятностью 0,995 значение индекса справедливого распределения вычислительного ресурса $F(r)$ при различном числе соединений находится в интервале $0,9969 \leq F_r \leq 0,9998$.

Выводы

Проведено исследование влияние ошибки предсказания доступного размера полосы пропускания канала, являющегося узким местом маршрута, на эффективность транспортных протоколов и равномерность распределения ресурсов. Установлено:

1. Долговременно достижимая производительность T_h , не претерпевает значительных изменений при увеличении ошибок предсказания поведения трафика (уменьшение на 9% , при $N=2$ и уменьшение на 12%, при $N>2$).

2. Значение индекса справедливого распределения вычислительного ресурса $F(r)$ принимает значения $F(r)=0,9972$ для $N=2$ и $F(r)=0,9989$ для $N>2$.

3. Проведенные исследования свидетельствуют, что с вероятностью 0,995 значение индекса справедливого распределения вычислительного ресурса $F(r)$ при различном числе соединений находится в интервале $0,9969 \leq F_r \leq 0,9998$.

Список литературы

1. Crovella M., Bestavros A. Self-similarity in World Wide Web traffic: evidence and possible causes // *IEEE/ACM Transactions on Networking*. – 1997. – Vol.5. – P. 835-846.
2. A. Erramilli, O. Narayan, and W. Willinger. Experimental Queuing Analysis with Long-Range Dependent Traffic // *IEEE/ACM Transactions on Networking*. – 1996. – № 7.
3. W. Willinger, M.S. Taqqu, R. Sherman, and D.V. Wilson. Self-Similarity Through High-Variability: Statistical Analysis of Ethernet LAN Traffic at the Source Level // *ACM SIGCOMM'91*, pp. 149-157, 1991.
4. Leland W., Taqqu M., Willinger W. On the self-similar nature of IP-traffic // *IEEE/ACM Transactions on Networking*. – 1997. – № 3. – P. 423 – 431.
5. Фрактальный анализ процессов, структур и сигналов: Коллективная монография // Г.А. Кучук, А.А. Можжаев, Р.Э. Пащенко, К.М. Руккас – Х.: ЭкоПерспектива, 2006. – 360 с.
6. Воробьев О.В. Моделирование самоподобного трафика синтезом ансамбля стохастических квазипериодических джерел та ON/OFF модели // *Системи озброєння і військова техніка*. – 2006. – 3 (6). – С.97-105.

7. Кучук Г.А., Можжаєв О.О., Воробйов О.В. Аналіз та моделі самоподібного трафіка // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2006. – № 9 (35). – С. 173-180.

8 Кучук Г.А. Управління трафіком мультисервісної розподіленої телекомунікаційної мережі // *Системи управління, навігації та зв'язку*. – К.: ЦНДІ НіУ, 2007. – Вип. 2. – С. 18-27

9 Можжаєв О.О. Моделювання трафіка телекомунікаційних мереж на базі масштабної інваріантності // *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*. – Х.: ХУ ПС, 2006. – Вип. 6(12). – С. 79-82.

10. Можжаєв А.А. Оценка достоверности определения параметров телекоммуникационного трафика // *Системи обробки інформації* – Х.: ХУ ПС, 2006. – Вип. 9 (58). – С. 53-55.

11. О.О. Можжаєв, А.О. Подорожняк, С.Ю. Стасєв// *Оцінка параметрів негаусових стохастичних процесів Системи озброєння і військова техніка*. – 2006. – Вип. 4 (8). – С. 74-77.

12. Кучук Г.А., Можжаєв О.О. Прогнозирование трафика для управления перегрузками интегрированной телекоммуникационной сети // *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи*. – 2007. – № 8(27). – С. 261-271.

13. Jacobson V. Congestion Avoidance and Control // *Proc. of ACM SIGCOMM'88*. – 1988. – 18(4). – P. 314-329.

14. В.В.Кірвас, Г.А. Кучук, О.О.Можжаєв *Влияние ошибки предсказания доступного размера полосы пропускания канала на равномерность распределения последней соединениями протоколом TCP* // *Системи озброєння і військова техніка*. – 2007.– Вип. 2(10). – С. 74-77.

Поступила в редколлегию 2.03.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.И. Стрелков, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.