

УДК 681.324:621.325

И.В. Ильина<sup>1</sup>, В.В. Кирвас<sup>1</sup>, А.А.Коваленко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, Харьков

<sup>2</sup>Харьковский 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 указывают на наличие самоподобной природы или присутствия долговременной зависимости (ДВЗ) [1 – 3] в этих сетях. Особенности современного трафика также являются наличие 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 повы-

сить 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 влияние 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

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

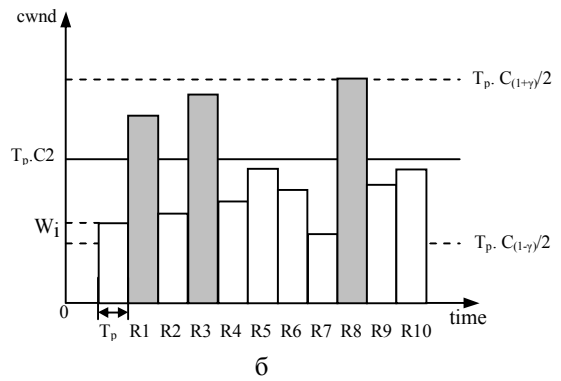
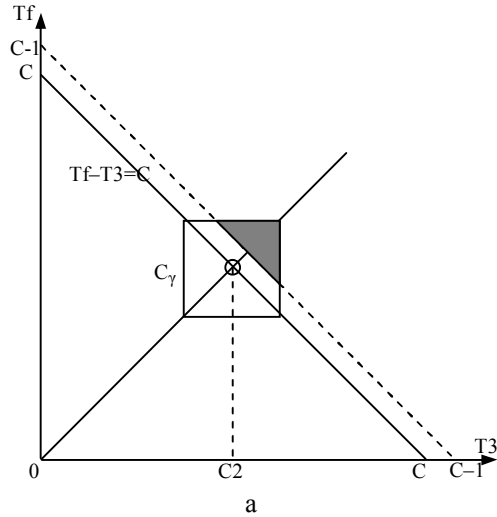


Рис.1. График фаз и временная диаграмма плавающего окна в случае, когда ошибка ограничена  $\gamma$  ( $W_i$  – начальный размер окна)

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  $\gamma$  приведен на рисунке 2. Видно, что при увеличении относительной ошибки предсказания от 0 до 0,6 величина  $T_h$  изменяется в пределах от  $5 \times 10^6$  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  $5 \times 10^6$  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:

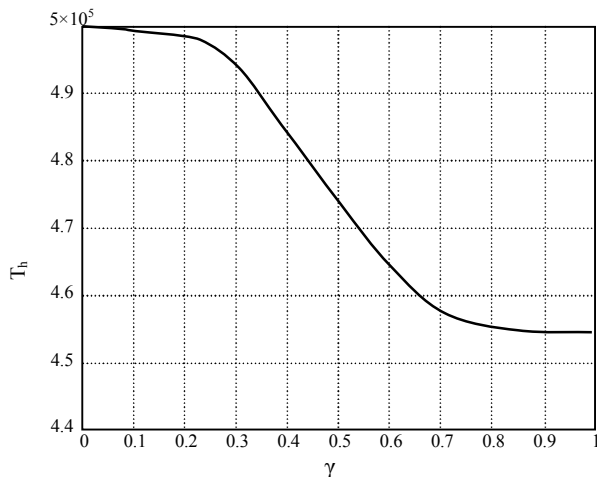


Рис. 2. Отношение долговременно достижимой производительности  $T_h$  к максимальному проценту ошибок предсказания  $\gamma$  при  $N=2$

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

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  $\gamma$ .

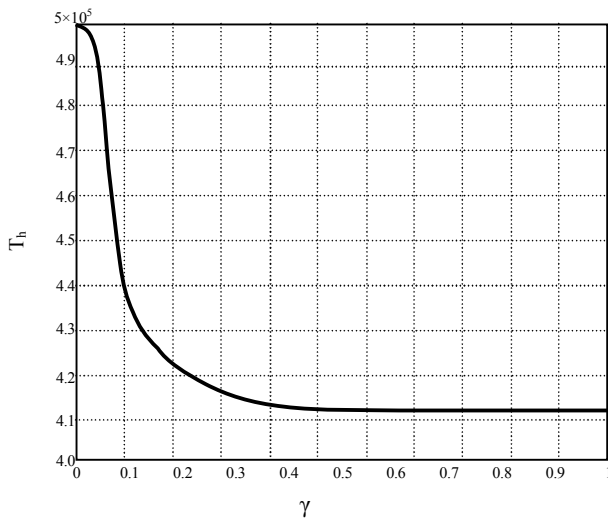


Рис. 3. Отношение долговременно достижимой производительности  $T_h$  к максимальному проценту ошибок предсказания  $\gamma$  при  $N>2$

Видно, что при увеличении относительной ошибки предсказания до 0,1 величина  $T_h$  изменяется в пределах от  $5 \times 10^6$  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.