

## Литература

1. Печать по требованию (Print-on-Demand) – технологическая революция в издательском мире [Электронный ресурс] / Журнал «КомпьюАрт». – Режим доступа: [www/ URL: http://compuart.ru/Article.aspx?id=9012](http://compuart.ru/Article.aspx?id=9012). – Загл. с экрана.
2. Толивер-Нигро, Хайди. Технологии печати [Текст] : Учебное пособие для вузов / Хайди Толивер-Нигро; Пер. с англ. Н. Романо. – М.: ПРИНТ-МЕДИА центр, 2006. – 232 с.
3. Романо, Фрэнк. Современные технологии издательско-полиграфической отрасли [Текст] / Фрэнк Романо; Пер. с англ. М. Бредис, В. Вобленко, Н. Друзьева; Под ред. Б.А. Кузьмина. – М.: ПРИНТ-МЕДИА центр, 2006. – 456 с.

*Стаття присвячена огляду підходів до оцінювання часу колового обертання сегменту в мережі різних версій протокола TCP та запропонованої процедури на основі зашумлених спостережень.*

*Ключові слова:* TCP, RTT, зашумлені спостереження, марковський ланцюг.

*Стаття посвящена рассмотрению подходов к оценке времени кругового обращения сегмента в сети различных версий протокола TCP и предлагаемой процедуры на основе зашумленных наблюдений.*

*Ключевые слова:* TCP, RTT, зашумленные наблюдения, марковская цепь.

*Article is dedicated to overview approaches of RTT estimation in different versions of TCP protocol and proposed procedure based on noisy observations.*

*Key words:* TCP, RTT, noisy observations, markov chain.

УДК.261.391

# МЕТОД ОЦЕНКИ ВРЕМЕНИ КРУГОВОГО ОБРАЩЕНИЯ СЕГМЕНТА В СЕТИ ПРИ НАЛИЧИИ ЗАШУМЛЕННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Ю. В. Андрушко

Аспирант

Кафедра телекоммуникационных систем  
Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
Пр. Ленина 14, г. Харьков, Украина, 61000

Контактный тел.: (057) 702-13-20

E-mail: ya@kture.kharkov.ua

## 1. Введение

Основная задача протокола TCP – гарантировать доставку данных от источника к получателю, причем, протокол гарантирует также прием данных в той последовательности, в которой они были отправлены (для этого используются порядковые номера последовательностей передаваемых данных). Для решения задачи гарантированной доставки, протокол использует механизм подтверждения полученных данных приемной стороной. В общем случае, посылая очередную «порцию» данных (в терминологии протокола называемую «окном»), источник производит отправку следующего окна только после прихода подтверждения от получателя о полном приеме уже отправленного окна. Стоит отметить, что в зависимости от версии протокола TCP механизмы подтверждения, роста и уменьшения окна, реакции на потерянные данные и их повторной пересылки могут отличаться. Так, к примеру, в «классической» версии протокола Tahoe TCP определены процедуры «аддитивного увеличения/мультипликативного уменьшения» и механизм медленного старта [1] – в случае прихода «положительного» (верного с точки зрения отправленных данных) подтверждения, передатчик увеличивает окно передачи на один сегмент; в случае «негативного» (отсутствующего или тройного дублирующего) подтверждения, происходит фиксация половины текущего размера окна (ssthresh) и повторная передача потерянных данных, а размер окна передачи уменьшается до одного сегмента – протокол переходит в

фазу медленного старта.

Склонность протокола TCP версии Tahoe к пониженному использованию полосы пропускания и подверженность к незначительным потерям привела к появлению новой версии протокола – Reno TCP [2]. Получая тройное дублирующее подтверждение сегмента, делается вывод о потере данных в канале. В этом случае размер окна уменьшается в два раза, выполняется процедура Fast Retransmit (отправка данных не дожидаясь истечения тайм-аута), а протокол переходит в фазу Fast Recovery. В этой фазе производится повторная пересылка потерянного пакета (идентифицированного по трем дублирующим подтверждениям) и ожидается получение подтверждения всего переданного окна. В случае истечения таймера повторной передачи, версии Tahoe и Reno ведут себя идентично.

Версия протокола TCP Vegas, предложенная в [3], принципиально меняет подход к определению перегрузки в сети по отношению с Tahoe и Reno. Если в двух примерах рассмотренных выше указанием на перегрузку является потеря сегмента, то версия Vegas предлагает использовать для этого увеличение времени кругового обращения сегмента в сети. В результате использования оценки RTT и его изменения в качестве фактора определения перегрузки решаются проблемы инертных таймеров и требования достаточного количества дублирующих подтверждений. Несмотря на различия, Vegas является модификацией Reno и так же способен определить перегрузку по тайм-ауту.

Основным недостатком данной версии протокола TCP является критичность точного определения RTT. Кроме того, Vegas плохо взаимодействует с другими реализациями протокола TCP, которые определяют перегрузку по потере пакета, так как в нем определение перегрузки происходит раньше, а следовательно, соединения этого протокола получают меньшую долю пропускной способности.

Кроме описанных наиболее известных реализаций существует масса других – New Reno, SACK, FAST, Westwood, H-TCP, Hybla, BIC и т.д. Основное отличие реализаций протокола – введение новых или модернизация старых механизмов определения, предотвращения перегрузки и начала соединения.

**2. Метод оценки RTT при наличии зашумленных наблюдений**

Вне зависимости от реализации протокола и основы его работы, в каждой версии присутствуют три важнейших стадии работы протокола – старт, определение перегрузки и реакция на нее. Безотносительно используемого версии протокола математического аппарата, основной характеристикой сети между отправителем и получателем, а так же ее загруженности является время кругового обращения в сети (Round Trip Time, RTT), которое характеризует собой промежуток времени между отправкой пакета и получением подтверждения для него. Значение RTT используется для вычисления всех остальных таймеров и определяет реакцию протокола. Процедуры и методы оценки RTT, а также их точность непосредственно влияют на использование полосы пропускания протоколом TCP. Задача оценки усложняется вследствие того, что сеть между отправителем и получателем с точки зрения TCP представляет собой «черный ящик» и подразумевает под собой совокупность каналов с различной пропускной способностью и множества сетевых устройств с различной степенью загруженности. Так как на значение RTT оказывает воздействие совокупность множества упомянутых случайных факторов, логичной является трактовка RTT как случайного процесса.

Для описания функционирования протокола при межсетевом взаимодействии можно рассмотреть пару «RTT-характеристики канала». Особенностью этих показателей является то, что они ненаблюдаемы, и кроме этого, изменяются с течением времени и взаимозависимы друг от друга. При анализе рассматриваемой пары с помощью теории массового обслуживания необходимы дополнительные сведения о характеристиках сети, в которой они функционируют. К таким характеристикам относятся, например, топология сети, количество и положение загруженных сегментов (bottleneck) - устройств и каналов, работающих на пределе производительности. Так, например, при высокой интенсивности нагрузки в сети, на маршрутизаторах может теряться большое количество пакетов вследствие ограниченности объема буферов. Несмотря на то, что сети с произвольной и динамически изменяющейся топологией тяжело (а зачастую с практической точки зрения и не возможно) описать, используя теорию массового обслуживания, на сегодняшний день алгоритмы и процедуры оценивания параметров сети вообще не используют математические модели, и как следствие не имеют под собой математического обоснования.

Наиболее адекватно процесс передачи может быть представлен в виде случайной марковской последовательности. При построении марковской модели процесса передачи данных по сети связи, сам процесс можно описать двумя параметрами – состоянием сети и временем кругового обращения пакета. Можно предположить, что сеть и ее каналы могут находиться в двух состояниях – свободном и загруженном. Так, в свободном состоянии сеть характеризуется низкими показателями RTT и вероятности сброса пакета, а в загруженном – возрастает как задержка, так и вероятность сброса пакета или его искажения. В таком случае динамику сети связи можно описать с помощью марковской цепи  $q_t$  с возможными состояниями:

$q_t = e_1$  - отсутствие потерь при свободном канале

$q_t = e_2$  - потеря при свободном канале

$q_t = e_3$  - отсутствие потерь при загруженном канале

$q_t = e_4$  - потеря при загруженном канале

Состояние вероятности марковской цепи  $q_t$  можно представить в виде матрицы:

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} \\ P_{41} & P_{42} & P_{43} & P_{44} \end{pmatrix},$$

где  $P_{ij}$  - вероятность наступления события.

Значения элементов матрицы могут быть различны и зависят от ряда факторов, таких как топология сети, объем передаваемых данных, тип трафика и т.д. Вне зависимости от конкретных значений, в матрице должно соблюдаться условие  $\sum_{j=1}^4 P_{ij} = 1$ . В результате экспериментальных исследований и имитационного моделирования, получены состояния марковской цепи, которые могут быть описаны следующей матрицей:

$$P = \begin{pmatrix} 0.92 & 0.05 & 0.03 & 0 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0 \\ 0.08 & 0 & 0.77 & 0.15 \\ 0 & 0 & 0.4 & 0.6 \end{pmatrix}$$

Проанализировав значения параметров, можно видеть, что самым стабильным состоянием является  $q_t = e_1$  ( $P_{11} = 0,92$ ), то есть ситуация, когда сеть не загружена и нет потерь. Однако даже в этом состоянии, хоть и с низкой долей вероятности, возможна потеря пакета, а следовательно, переход в состояние  $q_{t+1} = e_2, P_{12} = 0,05$ . Кроме этого так же возможна ситуация перехода в загруженное состояние  $q_{t+1} = e_3, P_{13} = 0,03$ . В случае потери пакета при свободном канале (состояние  $q_t = e_2$ ) с большой долей вероятности ( $P_{21} + P_{22} = 0,8$ ), цепь останется в незагруженном состоянии  $q_{t+1} = e_1$ , если потеря пакета не повторится, или  $q_{t+1} = e_2$ , если повторится. Так же возможен переход (с вероятностью  $P_{23} = 0,2$ ) в загруженное состояние  $q_{t+1} = e_3$ . В случае когда сеть загружена  $q_t = e_3$ , чаще происходят потери пакетов  $q_{t+1} = e_4, P_{34} = 0,15$ , тем не менее достаточно вероятно ( $P_{33} = 0,77$ ), что на следующем шаге потерь не будет  $q_{t+1} = e_3$ , так же с вероятностью  $P_{31} = 0,08$  канал может освободиться

$\theta_{t+1} = e_1$ . Повышенная вероятность блокирования трафика и повторных потерь в состоянии  $q_t = e_4$  моделирует явление «коллапса», связанное с потерей нескольких пакетов сразу. Такая ситуация зачастую встречается в тривиальных механизмах активного управления очередями, таких как DropTail. Динамику марковской цепи  $q_t$  можно описать в виде рекуррентного уравнения:

$$q_t = P_t^* q_{t-1} + \Delta Q_t^q \quad (1)$$

где  $P$  - постоянная матрица перехода с начальным состоянием  $p_0$ , что означает, что в начальный момент времени канал не загружен.

Если обозначить RTT как  $Y_t$ , его динамику можно описать с помощью дискретного марковского процесса:

$$Y_t = \lambda_t^* (I - \text{diag } q_t) \theta_{t-1} Y_{t-1} + \mu^* S_t \theta_{t-1} + \Delta M_t^Y, \quad (2)$$

где  $\lambda$  - вектор, состоящий из диагональных элементов матрицы переходных вероятностей;

$I$  - индикаторная функция;

$q$  - вектор вероятностей скачка процесса  $Y$  без смены состояния  $\theta$ ;

$\theta$  - марковская цепь;

$Y$  - входной случайный процесс;

$\mu$  - стохастическая мера;

$S$  - конечное число состояний  $\{e_1, \dots, e_N\}$  цепи  $\theta$ ;

$M$  - мартингал.

Данный процесс порожден марковской цепью  $q_t$  и последовательностями  $\{V_t\}$  и  $\{X_t\}$ . Порождающую последовательность индикаторов скачков без смены состояния марковской цепи  $\{V_t\}$  можно задать следующим вектором вероятностей  $p_t = p = (0,05; 0,05; 0,05; 0,05)$ . На практике это означает, что в моменты времени  $t_k''$  отличные от моментов переходов состояния марковской цепи  $q_t$ , значение времени кругового обращения может измениться с вероятностью  $p_t = 0,05$  вне зависимости от состояния цепи  $q_t$  и времени. Кроме этого, предполагается, что распределение RTT остается таким же, как и на предыдущем шаге.

В качестве закона распределения времени кругового обращения в случае загруженного канала, можно выбрать логарифмически нормальное распределение  $\psi_1(y)$ , для которого  $m_\eta = 5$ ,  $\sigma = 0,5$  рис. 1, 1. В случае свободного канала, распределение RTT описывается логарифмически нормальным распределением  $\psi_2(y)$  с соответствующими параметрами  $m_\eta = 2$ ,  $\sigma = 1$  рис. 2.1, 2.

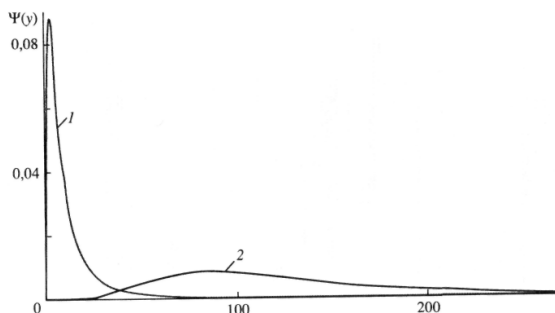


Рис. 1. Плотность распределения RTT

Таким образом,  $\{X_t\}$  может быть представлен как последовательность независимых одинаково распределенных четырехмерных векторов с составляющими  $x_t^1, x_t^2 \sim \psi_1(y)$  для незагруженных состояний сети  $q_t \in \{e_1, e_2\}$  и  $x_t^3, x_t^4 \sim \psi_2(y)$  - для загруженных ( $q_t \in \{e_3, e_4\}$ ).

В дополнение к уравнениям состояния (1) и (2) необходимо также рассмотреть наблюдаемый процесс потери пакетов:

$$\eta_t = A_t^* \theta_{t-1}, \quad (3)$$

где  $A = (0,1,0,1)$ .

В уравнении наблюдения (3) учтено, что наблюдения являются незашумленными. При этом  $\eta_t = 1$  в случае потери пакета или  $\eta_t = 0$  если потерь нет.

Можно также предположить, что в моменты, когда потери пакетов отсутствуют, возможны измерения RTT с некоторым шумом:

$$\xi_t = (e_1 + e_3)^* \theta_{t-1} Y_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (4)$$

где  $\varepsilon_t$  - последовательность одинаково распределенных ошибок измерения, распределенных по логарифмически нормальному закону с параметрами  $m_\eta = 0, \sigma = 1$ .

Задача оптимального оценивания в реальном времени вектора зависимости RTT от состояния канала ( $\bar{Y}_t = (\theta_t^*, Y_t)^*$ ) по доступным наблюдениям  $\{\eta_t, \xi_t\}$  является частой задачей оптимальной нелинейной фильтрации марковских процессов. Для сравнения - в стандартном протоколе TCP [1] для оценки значения RTT используется алгоритм стохастической аппроксимации:

$$\hat{R}_k = \hat{R}_{k-1} + \alpha(M - \hat{R}_{k-1}), \quad (5)$$

где  $\hat{R}$  - оценка текущего значения RTT;

$\alpha$  - усилительный коэффициент фильтра (шаговая постоянная, определяющая скорость сходимости к установившемуся состоянию и обеспечивающая устойчивость оценки при  $0 < \alpha \leq 1$ );

$M$  - измерение RTT последнего подтвержденного пакета.

Сравнение результата оценок с использованием оценки по зашумленным наблюдениям и стандартной оценки TCP приведены на рис.2, а (для оценки по зашумленным наблюдениям) и б (для стандартного TCP).

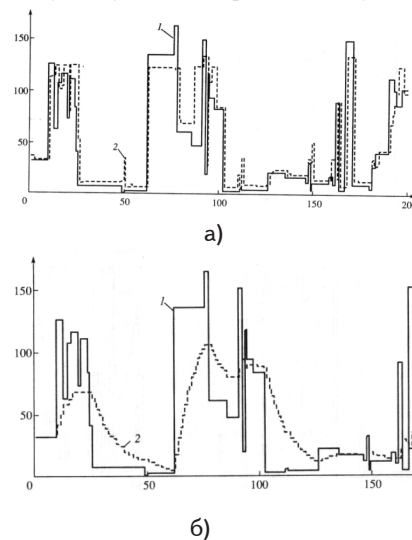


Рис. 2. Изменение RTT и его оценки при зашумленных наблюдениях (а) и стандартным способом (б)

### 3. Выводы

Как следует из анализа, вне зависимости от версии протокола TCP его работа в сети более корректно представляется и поддается описанию и предсказанию с помощью аппарата случайных процессов. В отличие от используемых на сегодняшний день процедур стохастической аппроксимации для случайных величин, случайные процессы требуют более сложных процедур оценки, прежде всего процедур Калмана-Бьюси. Триада уравнений наблюдения, состояния и оценки для случайных процессов в общем виде может быть записана как [4]:

$$y(t) = H(t)x(t) + v(t), \quad (6)$$

$$\frac{dx(t)}{dt} = A(t)x(t) + C(t)\xi(t), \quad (7)$$

$$\frac{d\hat{x}(t)}{dt} = A(t)\hat{x}(t) + V(t)H^T(t)N_v^{-1}[H(t)\hat{x}(t) - y(t)], \quad (8)$$

$$\frac{dV(t)}{dt} = A(t)V(t) + V(t)A^T(t) - V(t)H^T N_v^{-1} H(t)V(t) + C^T(t)N_\xi C(t), \quad (9)$$

где  $N_\xi$  – шум генерации в модели состояния;

$N_v$  шум наблюдения в уравнении наблюдения.

Точность оценки параметра RTT – одного из важнейших показателей производительности сети и главного определяющего параметра при расчете таймеров TCP в случае использования математического аппарата марковских цепей и случайных процессов намного выше, чем в случаях использования стандартных, зачастую эвристических, методов.

### Литература

1. Jacobson V. Congestion Avoidance and Control // Comput. Commun. Rev. 1988. V. 18. №4. P. 314-329.
2. Jacobson V. Modified TCP Congestion Control and Avoidance Algorithms // Technical Report 30, Apr 1990.
3. Brakmo L.S., Peterson L.L. // TCP Vegas: End to End Congestion Avoidance on a Global Internet // IEEE Journal on Selected Areas in Communication, vol. 13[1995], (1465-1490)
4. Поповский В.В., Олейник В.Ф. Математические основы управления и адаптации в телекоммуникационных системах: учеб./ -Х.: ООО «Компания СМИТ», 2011. - 362с.

УДК 681.2.087

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО СИМУЛЯТОРА ДЛЯ СОЗДАНИЯ МОДЕЛИ ФЭУ

**О. А. Бочаров**

Научный сотрудник

Научно-исследовательский и

проектно-конструкторский институт «Искра»

ул. Звейнека, 145с, Г. Луганск, Украина, 91033

**Контактный телефон:** (0642) 717-592

**E-mail:** b\_o@list.ru

*Обґрунтовано необхідність створення моделі ФЕП за допомогою комп'ютерного симулятора схемотехнічного моделювання, наведено основні початкові дані для її розробки, наведено схему моделі і результати перевірки роботи наданої моделі на симуляторі електронних схем.*

*Ключові слова:* ФЕП, комп'ютерне моделювання, симулятор електронних схем.

*Обоснована необходимость создания модели ФЭУ с помощью компьютерного симулятора схемотехнического моделирования, приведены основные исходные данные для ее разработки, приведена схема модели и результаты проверки работы данной модели на симуляторе электронных схем*

*Ключевые слова:* ФЭУ, компьютерное моделирование, симулятор электронных схем.

*This article grounds necessity of photomultiplier tube (PMT) model creation by means of computer circuit simulator, basic departure data for model creation are given, model scheme and results of it testing by means of computer circuit simulator are present.*

*Key words:* PMT, computer simulation, electronic scheme simulator.

### 1. Введение

Для решения задачи создания компьютерной модели всего спектрометрического тракта устройств регистрации излучений, начиная от источника излучения и заканчивая блоком передачи данных на компьютер, возникла необходимость разработки модели ФЭУ, которая на входе может получать данные из библиотеки GEANT и на выходе состыковываться с элементами библиотеки программы схемотехнического моделирования.

Существует достаточно много программ, физически моделирующих работу детекторов излучений, однако их

применение с точки зрения разработки схемотехники спектрометрических трактов весьма затруднено. Целью данной статьи является описание модели фотоэлектронного умножителя, позволяющей решать схемотехнические задачи.

### 2. Создание схемотехнической модели ФЭУ и проверка ее работы

Для схемотехнического моделирования ФЭУ была выбрана программа B2 Spice A/D 2000 Trial [1]. В каче-