Производительность алгоритма «Предотвращение насыщения» протокола TCP

О. Ю. Богоявленская

Петрозаводский государственный университет

Ключевые слова: транспортный протокол, производительность, марковский процесс

Производительность TCP

Актуальность проблемы:

- Задачи распределенного управления трафиком являются одними из важнейших в современных сетях передачи данных.
- Управление осуществляется протоколами транспортного уровня (напр. TCP), которые формируют качественные и количественные характеристики потоков данных.
- Новые приложения требуют новых средств управления и методов проектирования.

Решение задачи - залог успеха в сл. областях :

- Передача данных по радиоканалам
- Мультимедиа приложения, распределенные вычисления и обработка данных
- «Традиционный» networking

Производительность TCP

Краткий анализ предыдущих работ

Ограничения моделей

- Процесс потери пакетов (детерминированный, процесс Бернулли, процесс Пуассона)
- Неограниченный рост скользящего окна
- Round trip time – детерминированная константа
- Неограниченный рост пропускной способности

Результаты

- Оценки мат. ожидания пропускной способности
- Оценка дисперсии пропускной способности для специальных условий

Производительность TCP

Цель работы

- Анализ алгоритма ЛРСУ (AIMD), как основного управляющего алгоритма современных реализаций протокола TCP.
- Получение основных характеристик производительности алгоритма ЛРСУ.

Основные результаты

- Построена математическая модель алгоритма ЛРСУ
- В явной аналитической форме получено распределение характеристики пропускной способности алгоритма.
- Получено распределение скользящего окна алгоритма ЛРСУ и найдено его представление в простой рекуррентной форме.

Производительность TCP

- Основные методы исследований

  В работе использованы методы теории вероятностей, теории случайных марковских процессов, теории массового обслуживания и теории передачи данных.

- Научная новизна

  Разработанная модель протокола и полученные на ее основе распределения скользящего окна протокола и его пропускной способности являются новыми. Указанные распределения получены впервые.

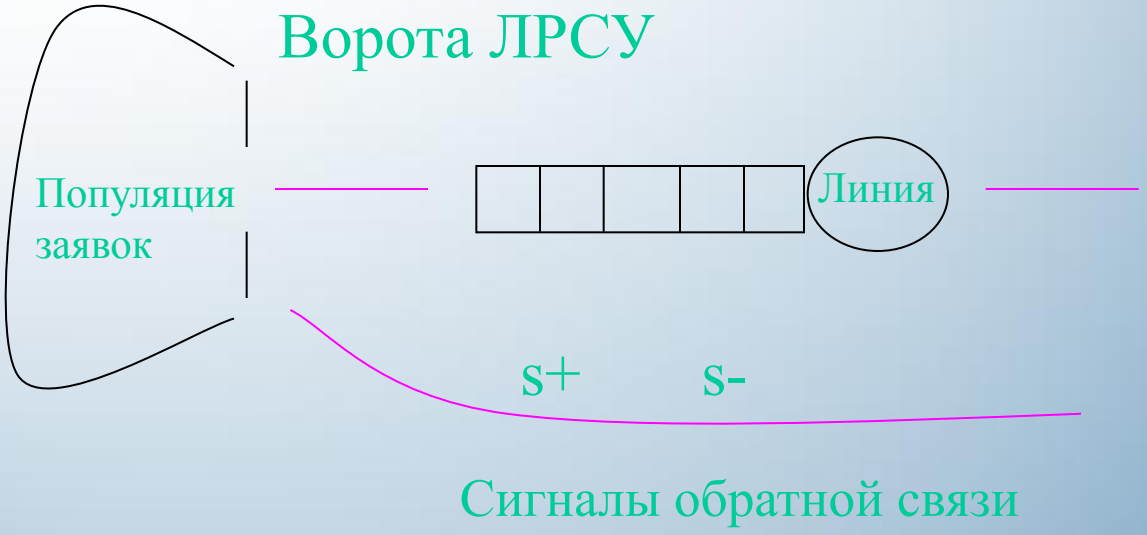
Описание модели

Основные предположения

- В каждом раунде потери сегментов TCP происходят независимо с вероятностью p.
- Рост размера скользящего окна ограничен известной конечной величиной $w_{\max}$
- Пропускная способность, которую может развить соединение ограничена сверху – L.
- Рассматривается только алгоритм ЛРСУ.
- Двойная длина пути (ДДП - RTT) является случайной величиной, которая может зависеть от размера скользящего окна. Ее функция распределения известна.

Поведение отправителя TCP

W/2 —— W —— W+1/W



*

Описание модели

Основные определения

$w(t)$ - размер скользящего окна

τ_i - момент изменения целой части $w(t)$

$w_i = w(\tau_i)$ марковская цепь

$\{w(t)\}_{t>0}$ полумарковский случайный процесс

Пусть $P_w(t) = \mathrm{P}(w(t) = w)$ и $\alpha_w = \mathrm{E}(\tau_{i+1} - \tau_i \mid w(\tau_i) = w)$

Обозначим δ_w ДДП при размере скользящего окна w, $R_w(t)$ - его ФР

L - предел пропускной способности маршрута, $t_0 = 1/L$

π_w - стационарное распределение цепи $\{w_i\}$

Описание модели

Размер скользящего окна

Теорема 1. Если δ_w имеют конечные математические ожидания, то

$$P_w(t) \xrightarrow[t \to \infty]{} \frac{\alpha_w \pi_w}{\sum_{i=2}^{w_{\max}} \alpha_i \pi_i}$$

Здесь π_w - решение соответствующей системы уравнений Колмогорова, которое найдено нами в простой рекуррентной форме.

$$\alpha_w = \int_{wt_0}^{\infty} t dR_w(t) + wt_0 R_w(wt_0)$$

*

Описание модели

Размер скользящего окна

Теорема 2. Распределение π_w удовлетворяет соотношениям

$\pi_i = \pi_j K_i,$

где

$$K_{w_{\max}} = \frac{F_{w_{\max}-1}}{1 - f_{w_{\max}}},$$

$$K_i = F_{i-1}, \qquad j < i < w_{\max}$$

$$K_{i-1} = \frac{1}{f_{i-1}}\left(K_i - \left(K_{2i}\left(1 - f_{2i}\right) + K_{2i+1}\left(1 - f_{2i+1}\right)\right)\right) \quad i < j.$$

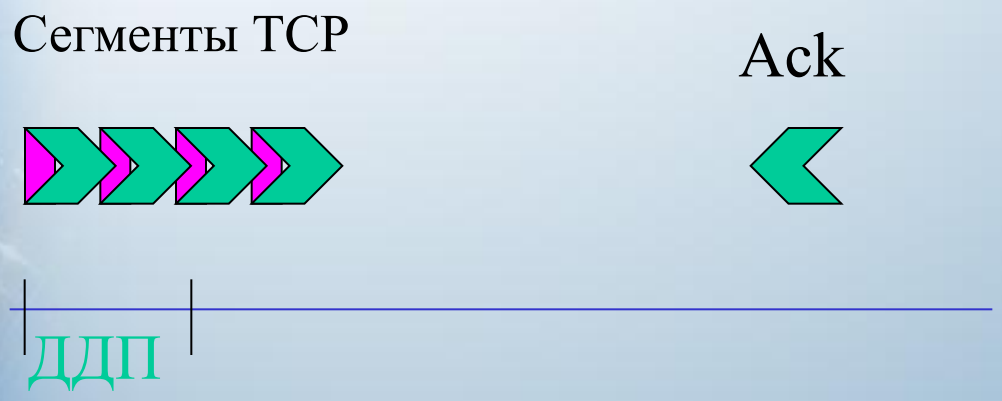
Здесь f_i и F_i являют функциями p,

и $j = \lfloor w_{\max} / 2 \rfloor$

Описание модели

Пропускная способность

$wt_0 < ДДП$



$wt_0 > ДДП$

*

Описание модели

Пропускная способность

$N(t)$ число сегментов TCP, отправленных к моменту t.

Определим пропускную способность как

$$T = \frac{N(\tau_{i+1}) - N(\tau_i)}{\tau_{i+1} - \tau_i}.$$

Если $x < L$, то T удовлетворяет функции распределения

$$F_T(x) = \mathrm{P}(T < x) = \mathrm{P}(w = 2)\mathrm{P}(RTT > 2/x) + \mathrm{P}(w = 3)\mathrm{P}(RTT > 3/x) + \ldots$$
$$+ \mathrm{P}(w = w_{\max})\mathrm{P}(RTT > w_{\max}/x)$$

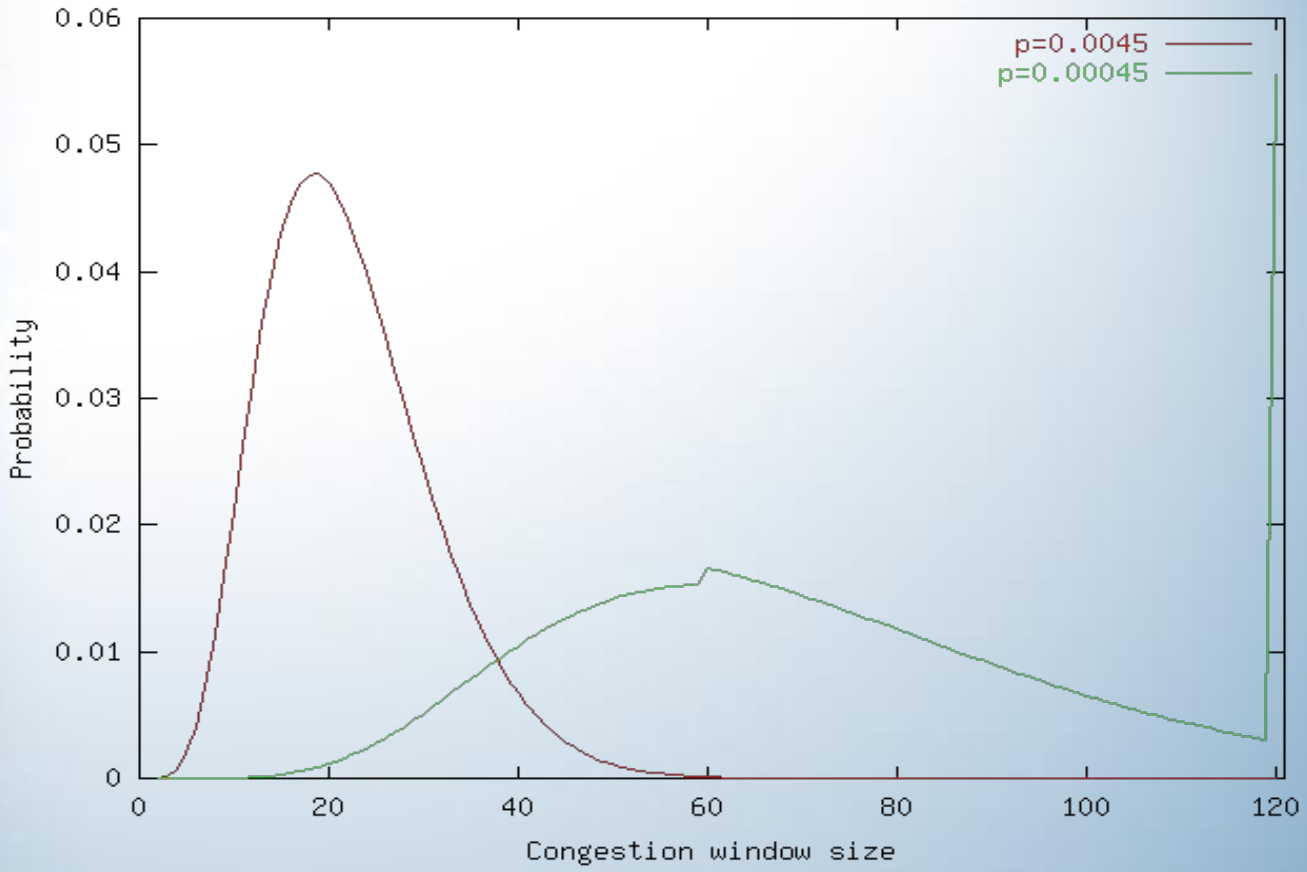
или

$$F_T(x) = 1 - \sum_{w=2}^{w_{\max}} P_w R_w \left(\frac{w}{x}\right) \text{ и } F_T(L) = 1$$

Области применения

- Анализ производительности и планирование мощности подсетей Интернет.
- Стохастическое управление QoS (на уровне администраторов подсетей и на уровне маршрутизаторов)
- Идентификация недружественных TCP потоков
- Управление трафиком и разработка новых протоколов

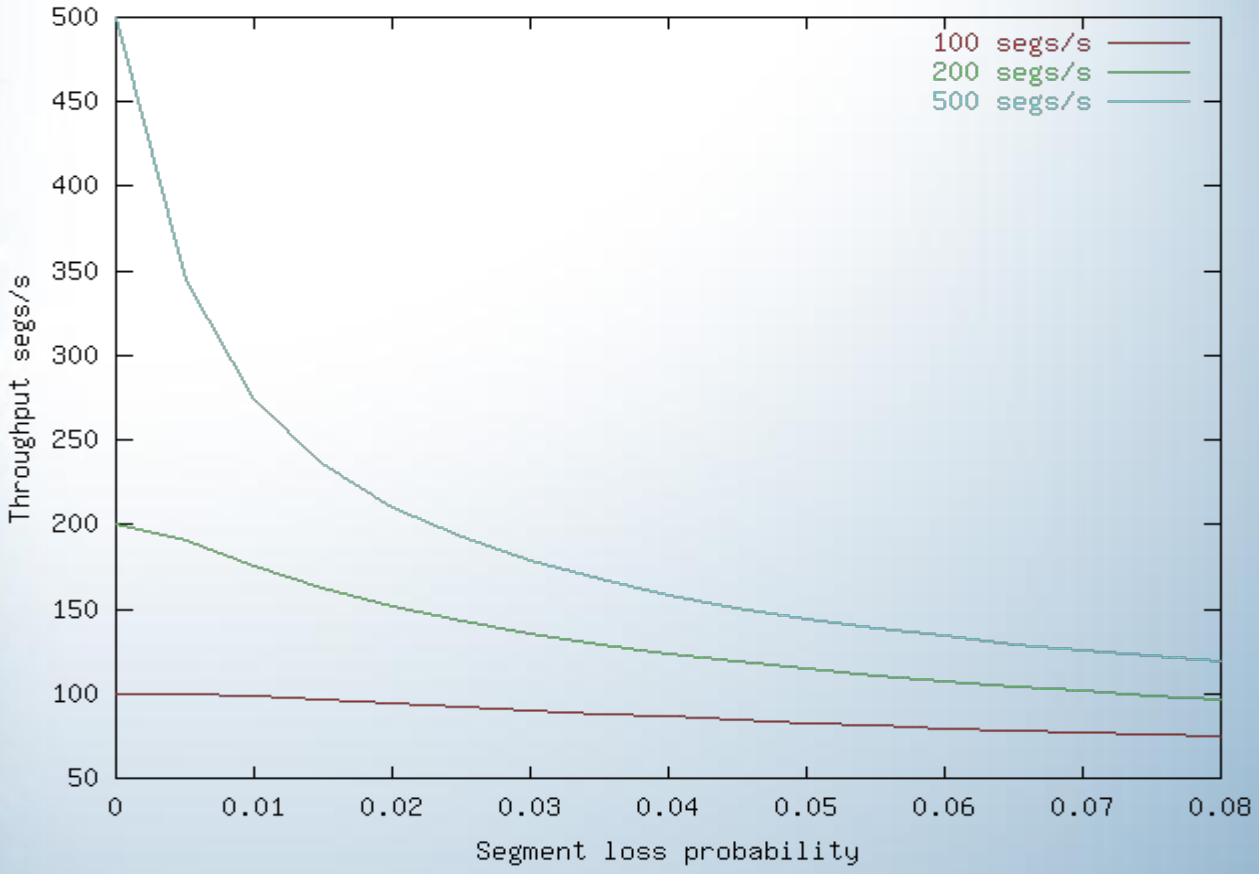
Численные примеры



Размер скользящего окна. W_{max}=120 сег.

*

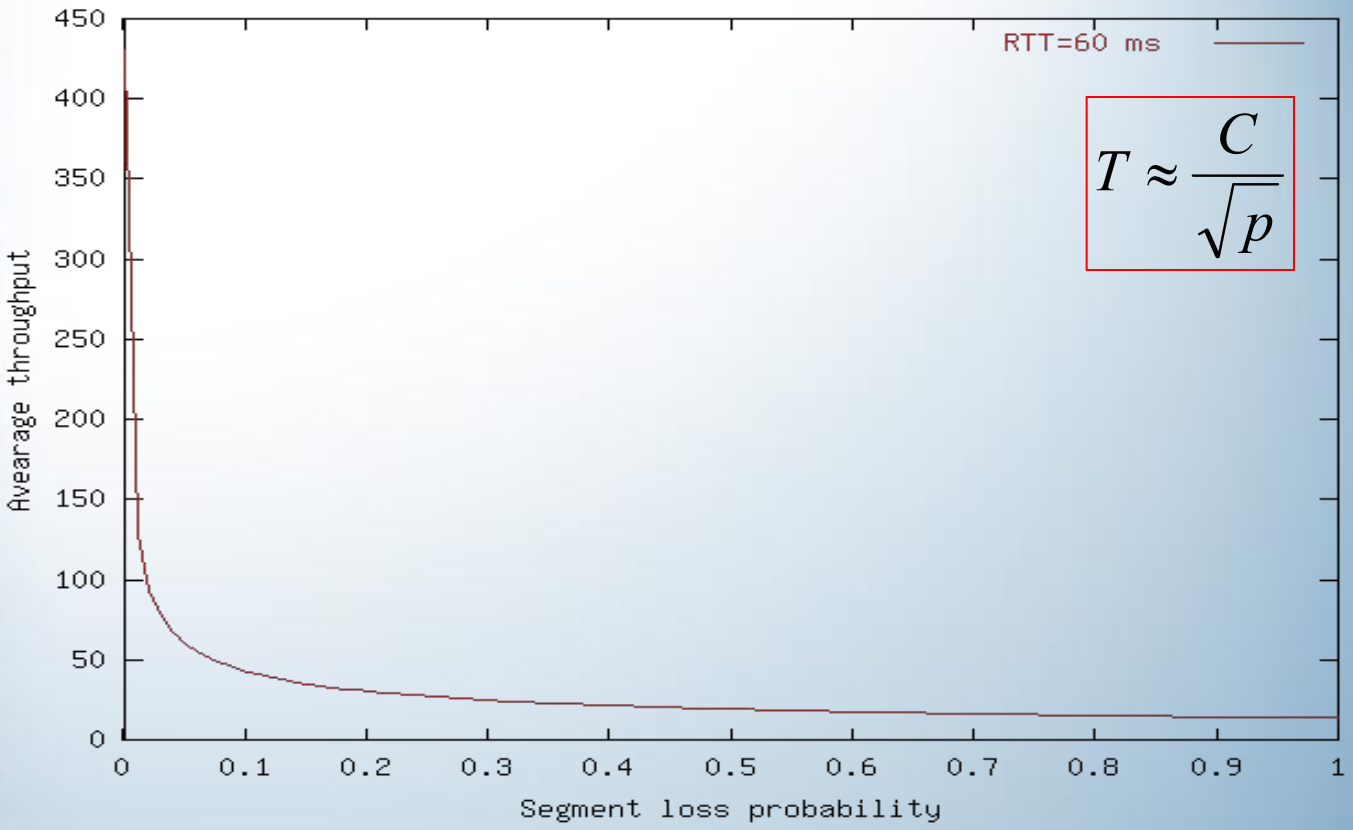
Численные примеры



Мат. ожидание пропускной способности TCP. Wmax=70 сег.

*

Численные примеры

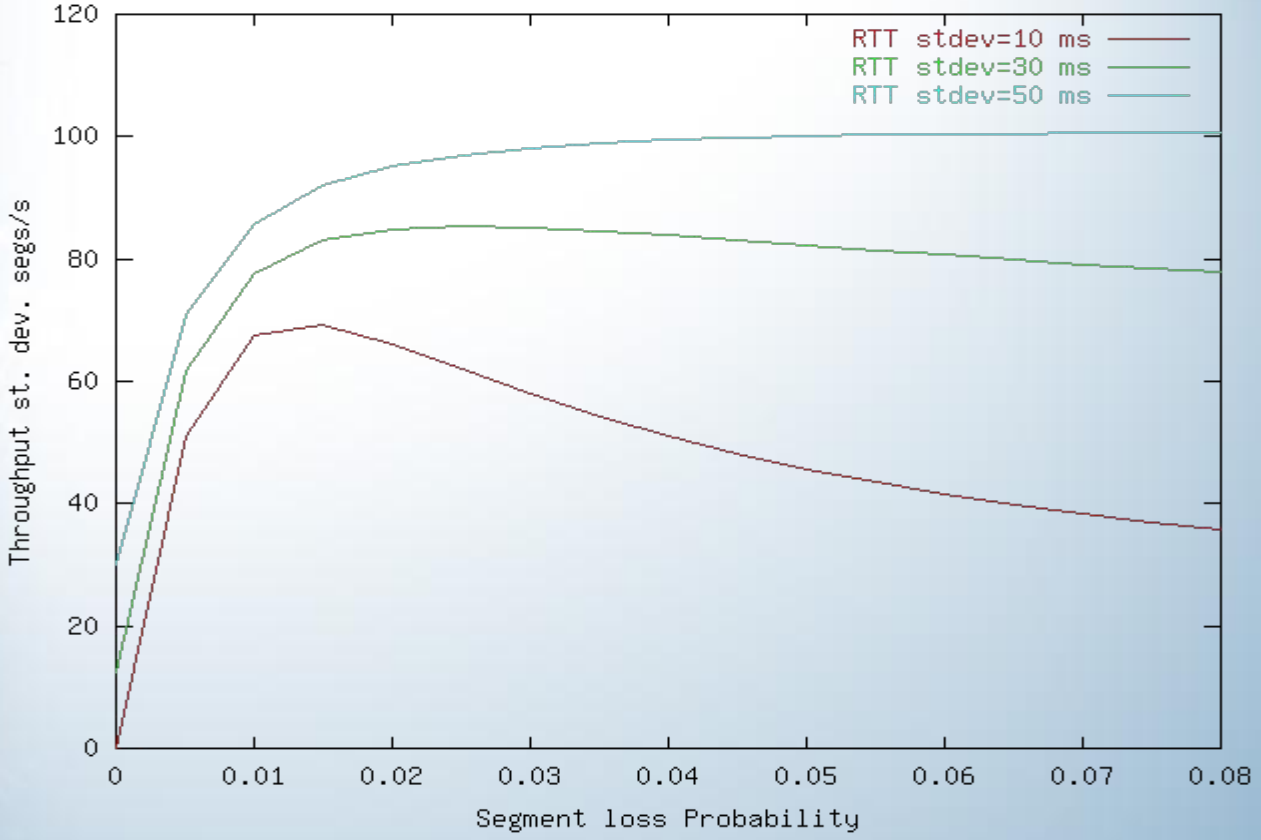


$$T \approx \frac{C}{\sqrt{p}}$$

Закон «квадратного корня» для пропускной способности TCP (S. Floyd, D. Towsley и др.)

*

Численные примеры



Влияние ср.-кв. откл. ДДП на ср.-кв. откл. пропускной способности. Мощность канала 300 сег/с, Wmax=50 сег.

*

Модель производительности TCP и управление QoS стохастических виртуальных каналов

- СВК (DiffServ, MPLS, ATM,) определяет параметры модели производительности TCP для классов приложений.
- Текущий анализ производительности:
  - моменты и квантили размера скользящего окна;
  - моменты и квантили пропускной способности;
  - стохастическое управление QoS

Модель производительности TCP и управление QoS стохастических виртуальных каналов

- Планирование мощности развивающейся системы — эволюция производительности подсети в связи с эволюцией ее нагрузки и оборудования
- «Обратная задача» планирования мощности

Заключение

- В работе построена новая модель алгоритма ЛРСУ протокола TCP на основе которой впервые получены в явной аналитической форме распределения размеров скользящего окна и пропускной способности ЛРСУ.
- Разработанная модель обладает рядом важных преимуществ по сравнению с ранее опубликованными в литературе результатами. В ней устранен ряд ограничений на свойства ДДП, схему эволюции окна протокола и процесс потерь сегментов.

Заключение

- Полученные результаты могут быть основой для решения задач управления трафиком и производительностью широкого класса сетей передачи данных. Они позволяют устанавливать влияние свойств протоколов нижних уровней на производительность транспортного уровня. Например
  — «медленный и ненадежный» радиоканал;
  — «традиционный» канал
  — стохастические виртуальные каналы

Литература

1. Bogoiavlenskaia O., Kojo M., Mutka M., Alanko T., Analytical Markovian Model of TCP Congestion Avoidance Algorithm Performance, Report N C-2002-13, Dept. Comput. Sci, University of Helsinki 2002
2. О. Ю. Богоявленская, Анализ случайного потока, генерируемого транспортным протоколом с обратной связью в сети передачи данных // Автоматика и телемеханика, N12, 2003.