

25 лет математическому факультету ПетрГУ

Петрозаводский Государственный Университет
Кафедра Информатики и математического обеспечения

Математическая модель протокола TCP

к.т.н., доцент

О. Ю. Богоявленская

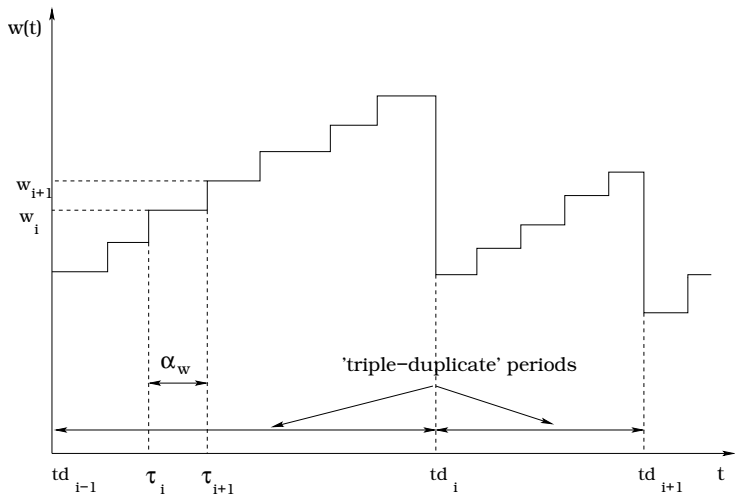


Мотивация и цели исследования

- Архитектура протоколов модели OSI
- Протокол TCP контролирует процесс передачи данных Интернет на уровне точка-точка и осуществляет распределенное управление ресурсами сети
- Анализ свойств и производительности стандартизованных версий TCP (TCP Reno и NewReno)
- Анализ и разработка методов модернизации и адаптации стандартизованных версий в интересах новых сетевых приложений и носителей сигнала



Общая схема механизма предотвращения насыщения



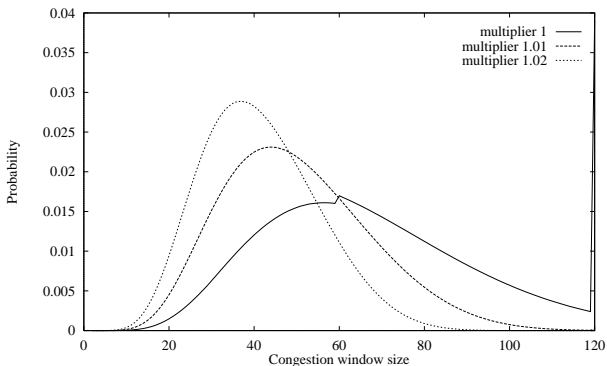
Математические модели протокола TCP

- Математическая модель протокола TCP сформулирована в виде полумарковского процесса, описывающего эволюцию скорости отправки данных (размера скользящего окна).
- При моделировании учтены все основные факторы, определяющие поведение протокола и снят ряд важных ограничений, принятых в литературе
- При моделировании учтены различные варианты поведения протокола TCP, соответствующие различным уровням загруженности сетевого маршрута
 - Модель управления, реализуемого алгоритмом Additive Increase Multiplicative Decrease (AIMD) — вероятность потери сегмента $< 2,5\%$ (постоянная или зависит от размера скользящего окна)
 - Модель управления, реализуемого парой алгоритмов AIMD и Slow Start



Алгоритма предотвращения насыщения NewReno

- Построена модель основного управляющего алгоритма протокола TCP в виде полумарковского процесса и проведен его анализ.
- Построен точный численный алгоритм, линейной сложности, позволяющий получить полный набор вероятностных характеристик поведения TCP



Аналитические оценки характеристик алгоритма AIMD

- Аналитические представления решения уравнений Колмогорова весьма громоздки. Найдены аналитические разложения элементов решения.

В окрестности точки $p = 0$ решения уравнений Колмогорова имеют вид ($j = \lfloor w_{max}/2 \rfloor$)

$$\pi_i = o(p^2), \quad 2 < i \leq \lfloor j/2 \rfloor;$$

$$\pi_i = \frac{w_{max}}{2} (2i + 1 + j) (2i + 2 - j) p^2 + o(p^2), \quad \lfloor j/2 \rfloor < i < j;$$

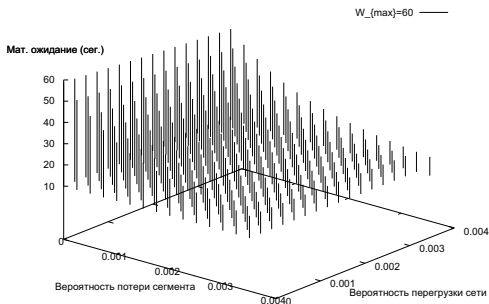
$$\pi_i = w_{max} p - \frac{w_{max}}{2} \left((i - j)(i + j - 1) + \right.$$

$$\left. (w_{max} - j) + (w_{max} - j + 1) + w_{max} - 1 \right) p^2 + o(p^2), \quad j < i < w_{max}.$$



Управление пары алгоритмов Slow Start AIMD

- Построена модель управления, осуществляемого парой алгоритмов Slow Start и AIMD протокола TCP в виде полумарковского процесса и проведен его анализ.
- Построен точный численный алгоритм, линейной сложности, позволяющий получить полный набор вероятностных характеристик поведения TCP



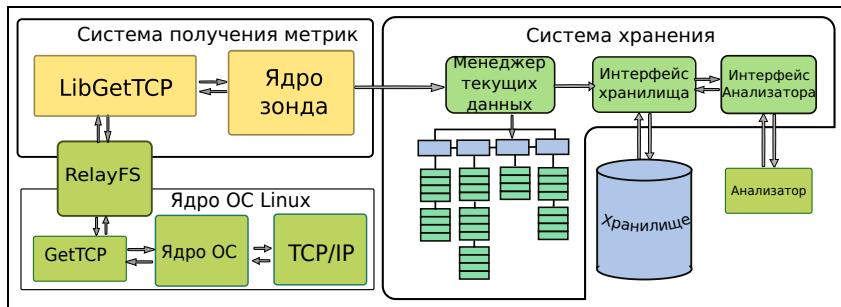
Мониторинг TCP-соединений

- Разработана программная система GetTCP, осуществляющая детальный мониторинг TCP соединений. Отчеты системы содержит данные о переменных реализации TCP, которые не содержатся в TCP-сегментах и доступных только ядру ОС.
- Система использовалась для статистической валидации аналитической модели алгоритма AIMD с помощью критериев согласия Колмогорова и хи-квадрат.
- Аналитическая модель AIMD была модифицирована с учетом обнаруженных с помощью GetTCP особенностей реализации TCP в ОС Linux.
- Проведена модернизация системы GetTCP для оперативного прогнозирования производительности TCP-соединений по данным истории наблюдений.



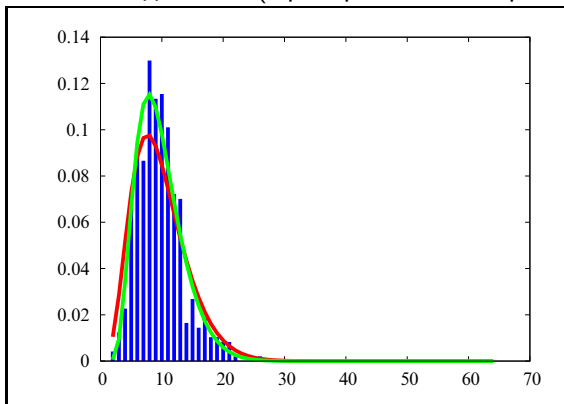
Оперативное прогнозирование TCP-соединений

Архитектура системы оперативного прогнозирования



Мониторинг TCP-соединений

Визуальное сравнение исходной и модифицированной моделей с экспериментальными данными (Критерий Колмогорова-Смирнова)



красная линия - исходная модель (для вероятности потерь 1%,

зеленая линия - модифицированная модель (также для вероятности потерь 1%,

синие столбики - гистограмма распределения размеров окон, полученная в результате экспериментов.



Основные публикации

- 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.
- Богоявленская О. Ю. Анализ случайного потока, генерируемого транспортным протоколом с обратной связью, в сети передачи данных. // Автоматика и телемеханика, №12, 2003, с. 60-68.
- Богоявленская О. Ю. Аналитические оценки характеристик производительности алгоритма распределенного управления в сетях передачи данных. // Обзорение прикладной и промышленной математики, 14(6), 2007, с. 1043-1048.
- Богоявленская О. Ю. Вероятностная модель алгоритмов протокола распределенного управления сети интернет. // Автоматика и телемеханика, №1, 2009, с. 119-129.
- Богоявленская О. Ю. Аддитивно-мультипликативное дискретное блуждание в случайной среде. // ОППМ, 16(3), 2009, с. 416-425.
- Пономарев В. А., Богоявленская О. Ю., Богоявленский Ю. А. Конфигурируемая модульная система мониторинга поведения транспортного протокола на уровне ядра операционной системы Gettcp//Информационные технологии 2010, 1, 2010, с.54-59.



Дальнейшее направление исследований

- Разработка и последующий анализ непрерывных аппроксимаций случайного процесса размера скользящего окна в виде кусочно-линейных процессов
- Изучение взаимодействия нескольких TCP-потоков на одном сетевом маршруте
- Развитие методов оперативного прогнозирования производительности TCP-соединений.

