Модели повышения эффективности передачи данных при использовании протокола TCP

Научный руководитель
проф. д.ф.м.н. Васенин В. А.

Особенности AIMD

- Средняя скорость ограничена
- В среднем используется ¾ доступной полосы пропускания
- Наличие сильных осцилляций скорости передачи данных

Ограниченность скорости

$$\begin{cases} W = W + a, & \text{если потерь не было;} \\ W = W * b, & \text{если были потери.} \end{cases}$$

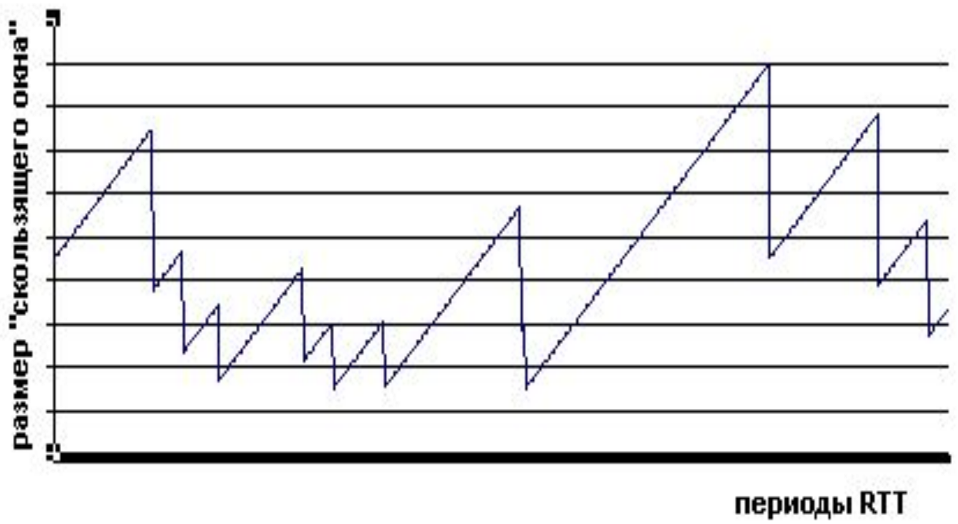
Возрастание скорости передачи данных от $W_0 b$ до W_0 происходит по правилу арифметической прогрессии

$$1/p = W_0 b + a + W_0 b + 2a + \ldots + W_0$$

$$W_0 = \frac{\sqrt{\frac{2a}{(1+b)(1-b)}}}{\sqrt{p}}$$

Сильные осцилляции скорости передачи данных

- Колебания скорости передачи данных
- Неполное использование ресурсов
- Глобальные осцилляции



Математическая модель алгоритма

$$X(t) = \sum x_i(t)$$

$$y(t) = \begin{cases} 0 & \text{если} X(t) \le X_b \\ 1 & \text{если} X(t) > X_b \end{cases}$$

$$x_i(t+1) = \begin{cases} a_I + b_I x_i(t) & \text{если} y(t) = 0 \\ a_D + b_D x_i(t) & \text{если} y(t) = 1 \end{cases}$$

$$x(t) = (x_1(t), x_2(t), \ldots, x_n(t))$$

$$\bar{x}_t = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i(t) \qquad s_t^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i(t) - \bar{x}_t\right)^2$$

Индекс справедливости $F(x(t)) = \dfrac{\left(\sum x_i(t)\right)^2}{n\sum x_i^2(t)} = \dfrac{\left(\bar{x}_t\right)^2}{s_t^2 + \left(\bar{x}_t\right)^2}$

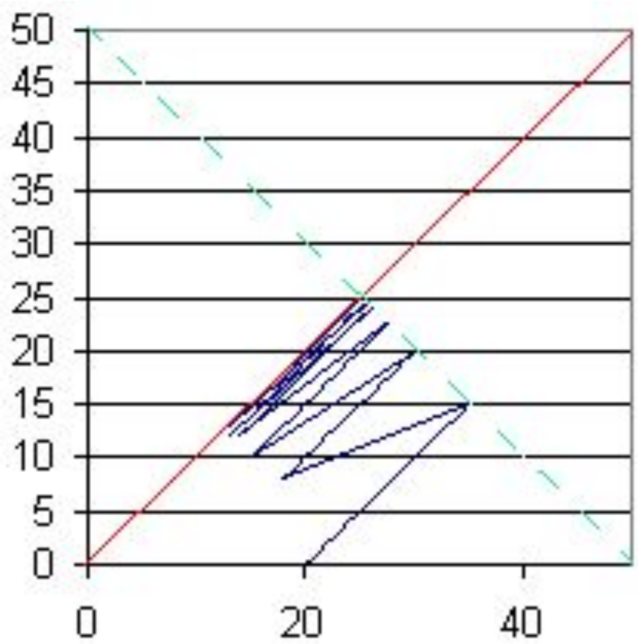
Математические свойства модели

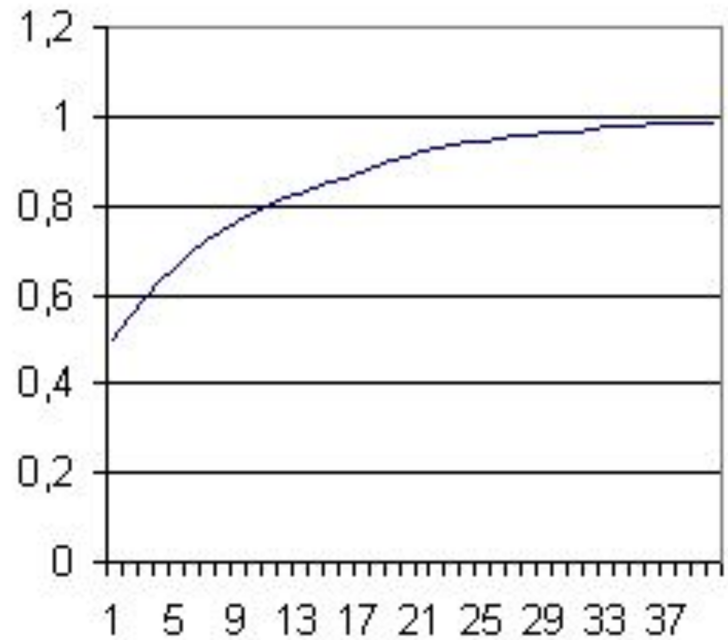
- Верно соотношение: $$F\left(x(t+1)\right)=F\left(x(t)\right)+\left(1-F\left(x(t)\right)\right)*\left(1-\frac{\sum x_i^2(t)}{\sum (c+x_i(t))^2}\right)$$

$$c_t=\begin{cases} a_I/b_I, & \text{при } y(t)=0; \\ a_D/b_D=0, & \text{при } y(t)=1. \end{cases}$$

- Если $a_I>0$, тогда F монотонно возрастает
- Если $a_I>0$, тогда $F(x(t))\xrightarrow{t\to\infty}1$
- Если $\begin{cases} a_I>0, & b_I\geq 1 \\ a_D=0, & 0\leq b_D<1 \end{cases}$, то система стремится к справедливым состояниям

Пример динамики модели

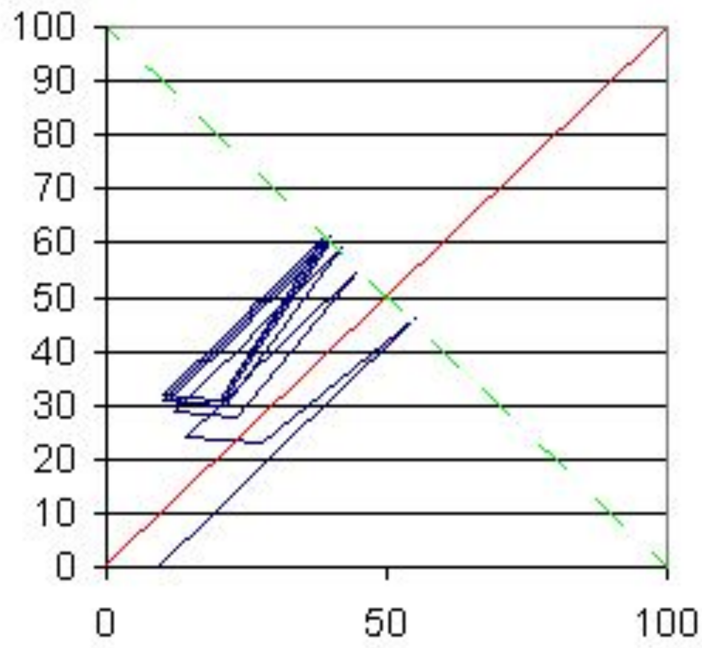


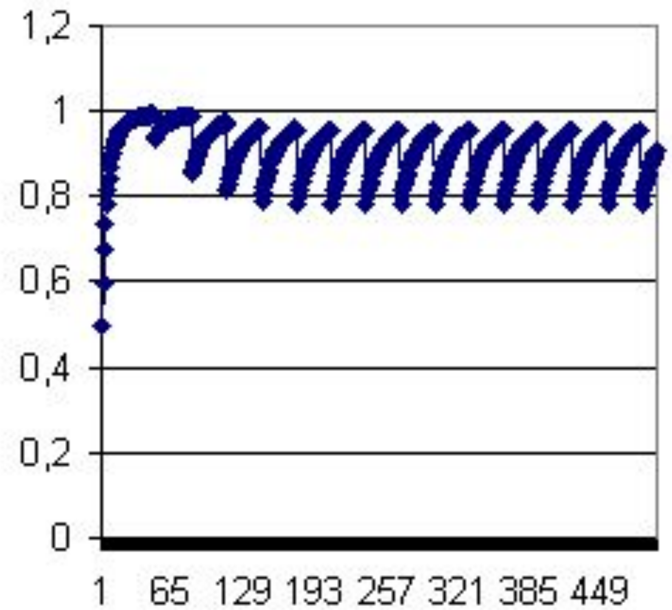


С течением времени система сходится к справедливым состояниям

MAIMD и AIMD

- Для MAIMD неверно утверждение о сходимости к справедливым состояниям
- MAIMD быстрее восстанавливается после потерь
- Если рассмотреть асинхронную модель – утверждение о справедливости не выполняется





Простейший метод повышения производительности – масштабирование

- Увеличение размера MTU в n раз
- Использование n параллельных потоков TCP
- Использование алгоритма AIMD с a_I=n

Методы с переменными параметрами

- Метод виртуального MTU
- Метод заданной средней скоростью

Метод виртуального MTU

- Вводим виртуальный MTU $v=[bm/l]$
- Получаем в результате $W \approx \frac{ml}{r^2 p}$
- Особенность метода: экспоненциальный рост скорости передачи данных

Метод с заданием средней скорости

- Рассмотрим две пары (P,W) и (P_1,W_1) - какие мы хотим получить размеры окна при различных частотах потери

$$w = 10^{S(\log p - \log P) + \log W} \qquad S = \frac{(\log W_1 - \log W)}{(\log P_1 - \log P)}$$

- Из этого соотношения можно подобрать нужные параметры AIMD алгоритма:

$$a_I(w) = \frac{c_1 w^{2+c_2} * 2c_3 \log w}{2 - c_3 \log w} \qquad b_D(w) = 1 - c_3 \log w$$

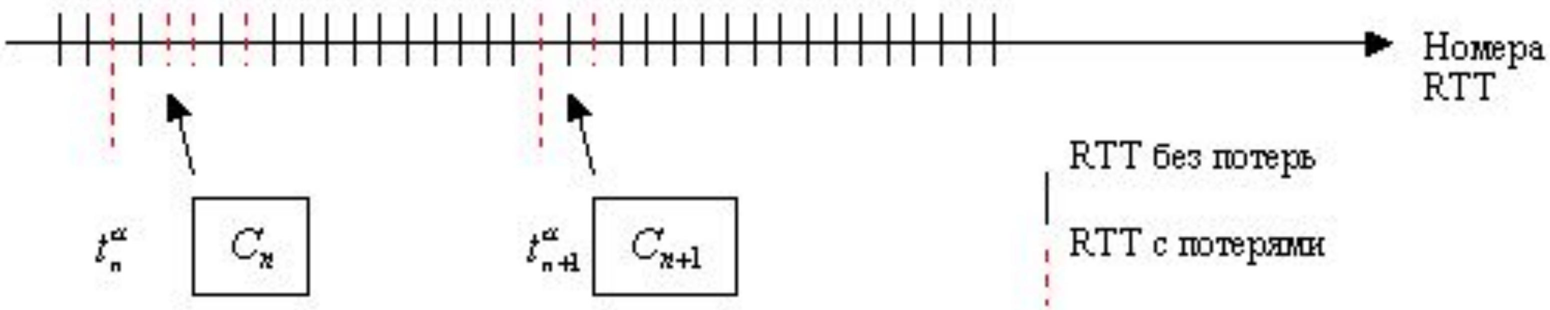
Метод, основанный на характеристическом уравнении

- Требуется, чтобы алгоритм модификации окна удовлетворял

$$T = \frac{\sqrt{\frac{a(1+b)}{2(1-b)}}}{\sqrt{p}}\, ppr$$

  - Оценка среднего интервала между событиями потери: $$\hat{s}_{(1,n)} = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i s_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i}$$
  - По построенной оценке выбирается размер «окна» так, чтобы выполнялось характеристическое соотношение

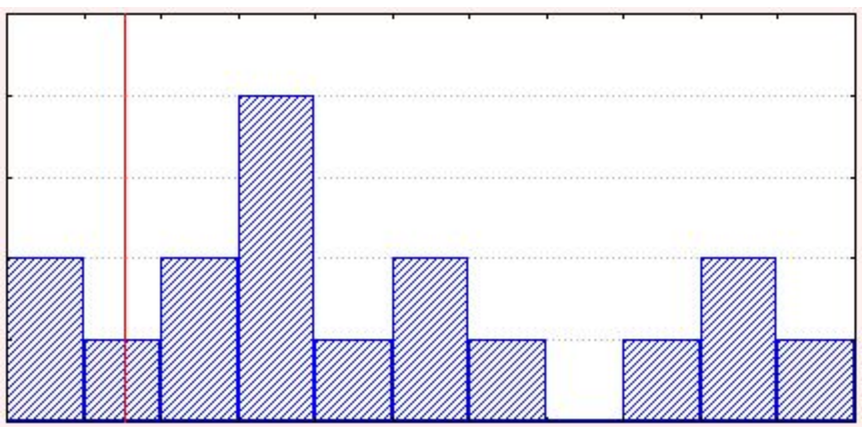
Эвристика групп Пуассона



- События потери располагаются во времени неравномерно
- Начальные точки групп представляют собой пуассоновский процесс
- Группы удалены друг от друга

В результате возникают задачи

- Выделить из событий потери группы



- По последовательности начальных точек групп проверить гипотезу об увеличении частоты потери данных против альтернативы о неувеличении частоты событий потери
- В качестве выходного параметра рассмотрим уровень значимости критерия, при котором отвергается гипотеза

Модель с параметрами – случайными величинами

$$X(t) = \sum x_i(t)$$

$$y(t) = \begin{cases} 0 & \text{если} X(t) \le X_b \\ 1 & \text{иначе} \end{cases}$$

$$x_i(t+1) = \begin{cases} a_I(S) + x_i(t) & \text{если} y(t) = 0 \\ b_D(S) x_i(t) & \text{если} y(t) = 1 \end{cases}$$

$$b_D(S) = \xi \qquad \begin{cases} P\{\xi = 0.5\} = p \\ P\{\xi = 1\} = 1 - p \\ P\{(\xi \ne 0.5) \wedge (\xi \ne 1)\} = 0 \end{cases}$$

p – уровень правдоподобие гипотезы о ухудшении состояния сети

Результат моделирования

- Уменьшены глобальные осцилляции
- Совокупная производительность увеличилась на 10.5%
- Увеличена скорость передачи данных каждым приложением