

Лабораторная работа № 8

Модель TCP/AQM

Мугари Абдеррахим

29 марта 2025

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Информация

- Анна Владиславовна Королькова
- доцент кафедры прикладной информатики и теории вероятностей РУДН;
- заведующий лабораторией кафедры прикладной информатики и теории вероятностей РУДН (по совместительству);
- программист I кат.
- Российский университет дружбы народов
- korolkova-av@rudn.ru

- Мугари Абдеррахим
- Студент третьего курса
- фундаментальная информатика и информационные технологии
- Российский университет дружбы народов
- 1032215692@rudn.ru
- <https://iragoum.github.io/>



Цель работы

Основной задачей данной лабораторной работы является реализация модели TCP/AQM с использованием инструментов xcos и OpenModelica.

Задание

- Разработать модель TCP/AQM в средах xcos и OpenModelica.
- Построить график, демонстрирующий динамику изменения очереди и TCP-окна.
- Построить фазовый портрет, отображающий взаимосвязь между размером очереди и TCP-окном.

Теоретическое введение

Рассмотрим упрощённую модель поведения ТСП-подобного трафика с регулируемой некоторым AQM алгоритмом динамической интенсивностью потока.

Упрощённая модель TCP/AQM

Переменные: - $W(t)$ – средний размер TCP-окна (в пакетах) - $Q(t)$ – средний размер очереди (в пакетах) - R – время двойного оборота (RTT, сек.) - C – скорость обработки пакетов (пакетов/сек.) - N – число TCP-сессий - $p(t - R) = KQ(t)$ – вероятность сброса пакета

Система уравнений:

$$\dot{W}(t) = \frac{1}{R} - \frac{W(t)W(t - R)}{2R} KQ(t - R)$$

$$\dot{Q}(t) = \begin{cases} \frac{NW(t)}{R} - C, & Q(t) > 0, \\ \max\left(\frac{NW(t)}{R} - C, 0\right), & Q(t) = 0. \end{cases}$$

Выполнение лабораторной работы

Реализация в xcos

Настройка переменных окружения

Сначала определим переменные окружения:

$$N = 1, R = 1, K = 5.3, C = 1, W(0) = 0.1, Q(0) = 1.$$

Для этого сначала определяем переменные окружения.

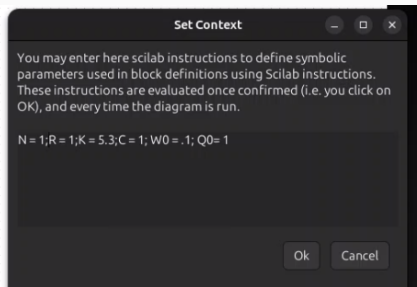


Рис. 1: Переменные окружения

Так же устанавливаем время моделирования (100 единиц времени).

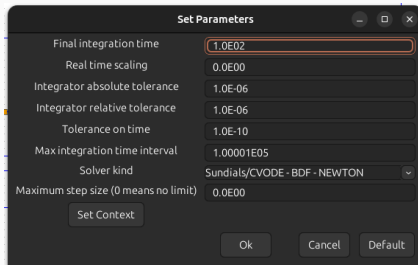


Рис. 2: Параметры моделирования

Зададим стартовые значения для интеграторов

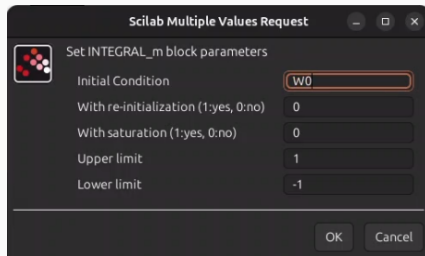


Рис. 3: Установка начального значения интегратора

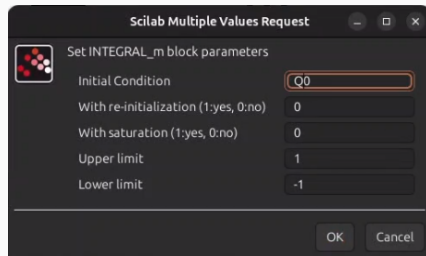


Рис. 4: Установка начального значения интегратора

Определим параметр задержки

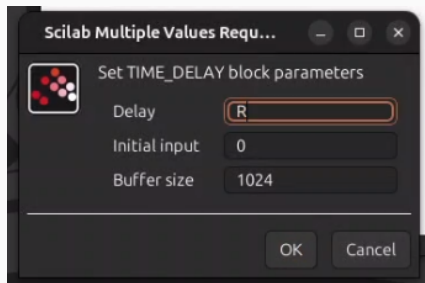


Рис. 5: Установка задержки

В блоке Expression вводим формулу для $\dot{Q}(t)$

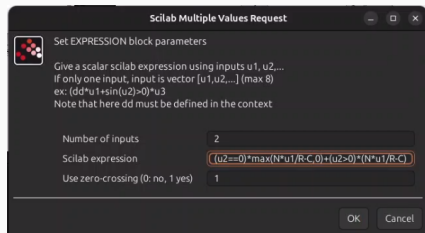


Рис. 6: Параметры блока Expression

Настройка регистрирующих модулей

Для корректного отображения графиков устанавливаем параметры регистрирующих устройств. В частности, в блоке CSCOPY задаем значение **refresh period** = 100, что позволяет отображать результаты моделирования за 100 секунд модельного времени.

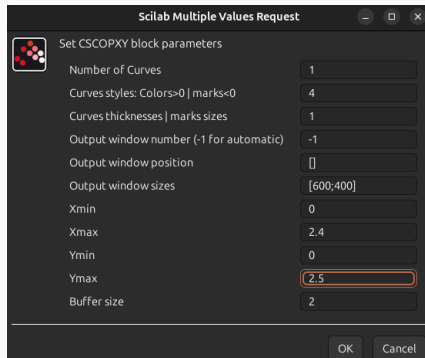


Рис. 7: Параметры CSCOPXY

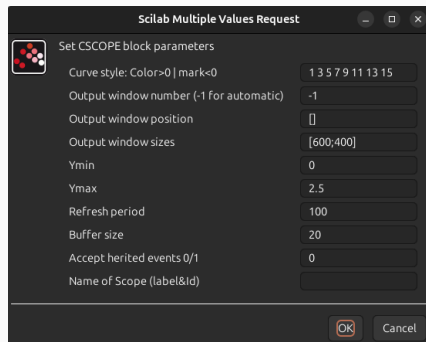


Рис. 8: Параметры CSCOPE

Сборка схемы модели TCP/AQM:

Реализуем модель TCP/AQM, подключив регистрирующие блоки CSCOPE для отображения графиков изменения TCP-окна и очереди, а также блок CSCOPXY для построения фазового портрета

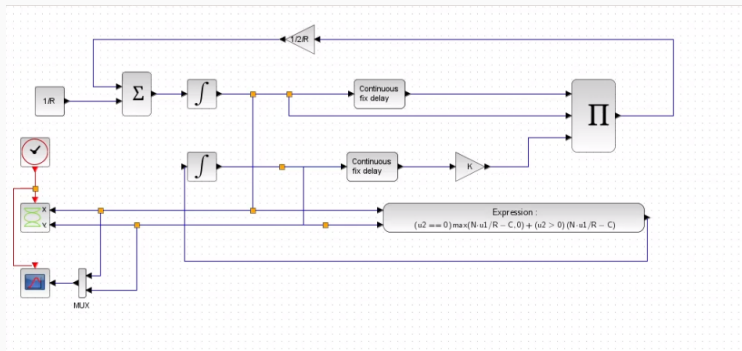


Рис. 9: Модель TCP/AQM в xcos

В результате получаем следующие графики: - Динамика изменения размера TCP-окна $W(t)$ (отмечена зелёной линией) и очереди $Q(t)$ (чёрная линия)

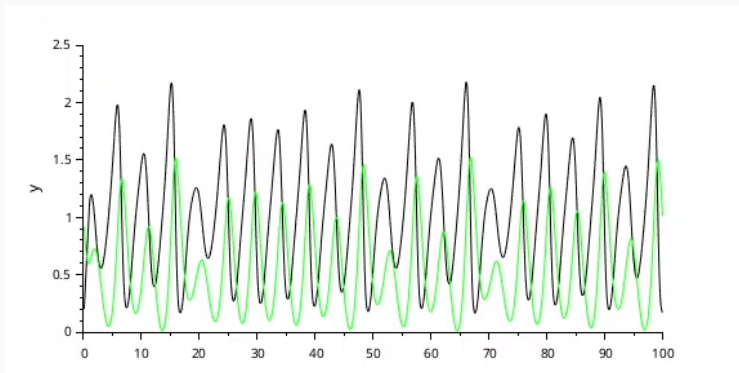


Рис. 10: Динамика изменения размера TCP окна $W(t)$ и размера очереди $Q(t)$

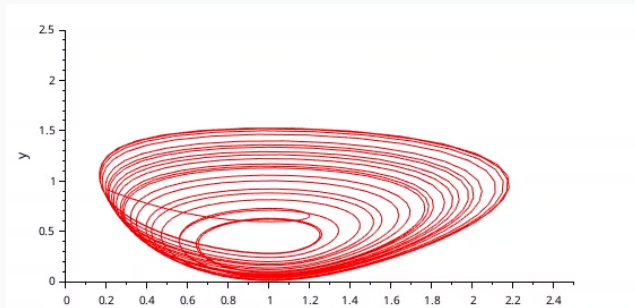


Рис. 11: Фазовый портрет (W, Q)

При уменьшении значения скорости обработки пакетов C до 0.9 наблюдаются более выраженные автоколебания, что видно по графикам:

- Динамика TCP-окна $W(t)$ и очереди $Q(t)$ при $C = 0.9$
- Фазовый портрет системы при $C = 0.9$

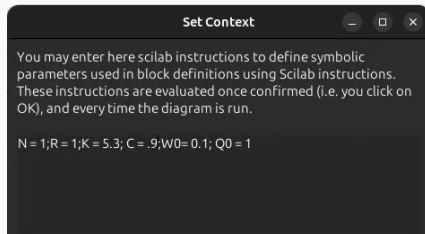


Рис. 12: Переменные окружения, изменение

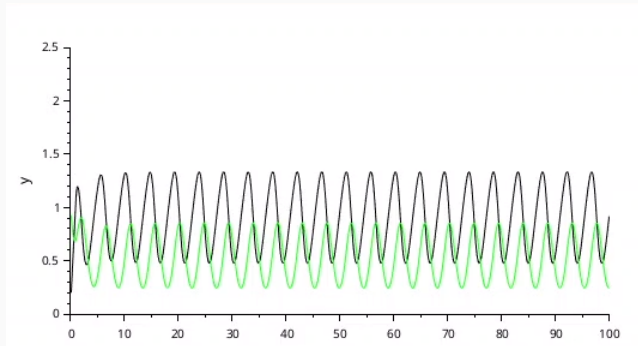


Рис. 13: Динамика изменения размера TCP окна $W(t)$ и размера очереди $Q(t)$ при $C = 0.9$

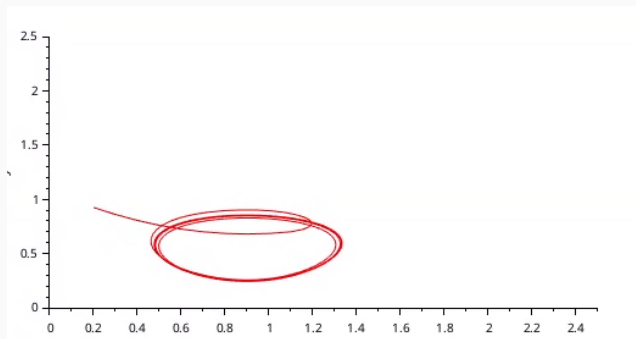


Рис. 14: Фазовый портрет (W, Q) при $C = 0.9$

Реализация модели в OpenModelica

Перейдем к реализации модели в OpenModelica. Зададим параметры, начальные значения и систему дифференциальных уравнений

```
model lab8

parameter Real N=1;
parameter Real R=1;
parameter Real K=5.3;
parameter Real C=1;
parameter Real W0=0.1;
parameter Real Q0=1;

Real W(start=W0);
Real Q(start=Q0);

equation
der(W)= 1/R-W*delay(W,R)*K*delay(Q,R)/(2*R);
der(Q) = if Q > 0 then N*W/R-C else max(N*W/R-C,0);

end lab8;
```

Рис. 15: Модель TCP/AQM в OpenModelica

Устанавливаем время симуляции равным 100 единицам модельного времени

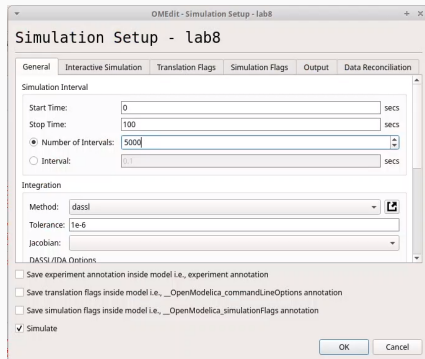


Рис. 16: Установка симуляции OpenModelica

Полученные результаты демонстрируют: - Динамику изменения размера TCP-окна. $W(t)$ (красная линия) и очереди $Q(t)$ (синяя линия) - Фазовый портрет, подтверждающий наличие автоколебаний, где фазовая траектория осциллирует вокруг стационарной точки

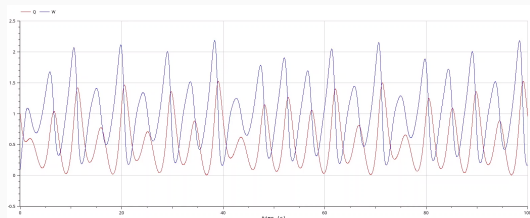


Рис. 17: Динамика изменения размера TCP окна $W(t)$ и размера очереди $Q(t)$

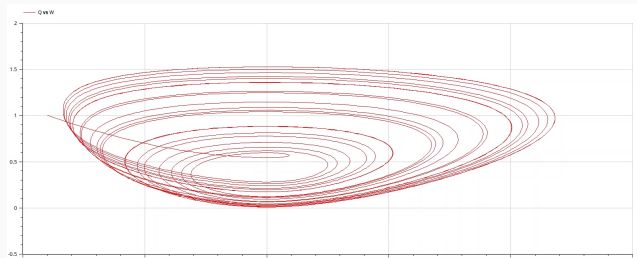


Рис. 18: Фазовый портрет (W, Q)

Изменение параметра в OpenModelica

Изменяем скорость обработки пакетов C до 0.9 Результаты показывают, что автоколебания стали более выраженными, что видно по графикам: - Динамика TCP-окна и очереди при $C = 0.9$ - Фазовый портрет при $C = 0.9$

```
model lab8

parameter Real N=1;
parameter Real R=1;
parameter Real K=5.3;
parameter Real C=0.9;
parameter Real W0=0.1;
parameter Real Q0=1;

Real W(start=W0);
Real Q(start=Q0);

equation
der(W)= 1/R-W*delay(W,R)*K*delay(Q,R)/(2*R);
der(Q) = if Q > 0 then N*W/R-C else max(N*W/R-C,0);

end lab8;
```

Рис. 19: Изменение параметра C

Точно так же увидим, что автоколебания стали более выраженными

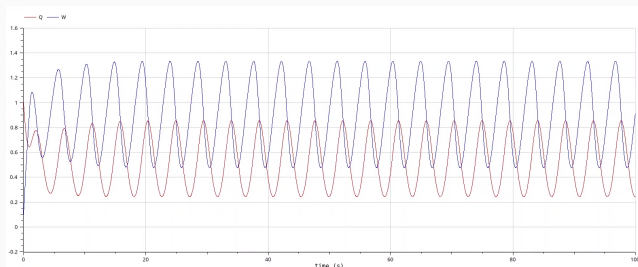


Рис. 20: Динамика изменения размера TCP окна $W(t)$ и размера очереди $Q(t)$ при $C = 0.9$

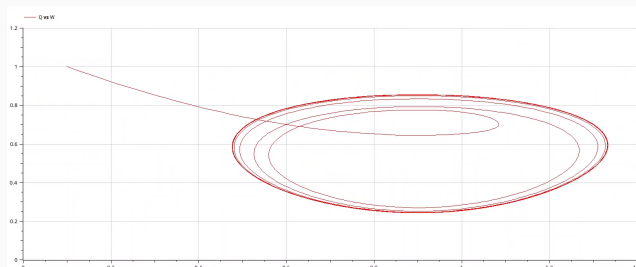


Рис. 21: Фазовый портрет (W, Q) при $C = 0.9$

Выводы:

В результате выполнения лабораторной работы была успешно разработана и реализована модель TCP/AQM с использованием инструментов xcos и OpenModelica. Анализ графиков показал наличие автоколебаний в системе, которые усиливаются при уменьшении скорости обработки пакетов C