

Лабораторная работа 8. Модель TCP/AQM

8.1. Математическая модель

Рассмотрим упрощённую модель поведения TCP-подобного трафика с регулируемой некоторым AQM алгоритмом динамической интенсивностью потока:

$$\dot{W}(t) = \frac{1}{R(t)} - \frac{1}{2} \frac{W(t)W(t-R(t))}{R(t-R(t))} p(t-R(t)), \quad (8.1)$$

$$\dot{Q}(t) = \begin{cases} N(t) \frac{W(t)}{R(t)} - C, & Q(t) > 0, \\ \max \left(N(t) \frac{W(t)}{R(t)} - C, 0 \right), & Q(t) = 0, \end{cases} \quad (8.2)$$

где $W(t)$ — средний размер TCP-окна (в пакетах), $Q(t)$ — средний размер очереди (в пакетах), $R(t)$ — время двойного оборота (Round Trip Time, сек.), C — скорость обработки пакетов в очереди (пакетов в секунду), $N(t)$ — число TCP-сессий, $p(\cdot)$ — вероятностная функция сброса (отметки на сброс) пакета (значения функции $p(\cdot)$ лежат на интервале $[0, 1]$).

Функции $W(t)$ и $Q(t)$ — положительны. Функция $R(t)$ может быть представлена в виде

$$R(t) = \frac{Q(t)}{C} + \tau_p, \quad (8.3)$$

где τ_p — задержка распространения пакета по сети (сек.).

Уравнение (8.1) описывает динамическое управление размером окна TCP. Первое слагаемое описывает фазу медленного старта TCP. Второе слагаемое учитывает фазу и алгоритм избежания перегрузок. На фазе избежания перегрузок размер окна увеличивается на $1/W$ при получении каждого подтверждения, а в случае потери пакета размер окна сокращается вдвое.

Уравнение (8.2) описывает поведение очереди, а именно разность средней интенсивности поступления пакетов $\frac{N(t)W(t)}{R(t)}$ и пропускной способностью звена сети C .

Жидкостную модель (8.1)–(8.3) управления потоком трафика принято называть задачей управления с обратной связью. Управление в такой задаче описывается вероятностной функцией $p(\cdot)$.

Сделаем упрощение модели, приняв, что $N(t) \equiv N$, $R(t) \equiv R$, т.е. указанные величины будем считать постоянными, не изменяющимися во времени. Кроме того, положим $p(\cdot) = KQ(t)$, т.е. функция сброса пакетов $p(\cdot)$ пропорциональна длине очереди $Q(t)$.

В результате получим следующую упрощённую модель управления TCP-подобным трафиком:

$$\dot{W}(t) = \frac{1}{R} - \frac{W(t)W(t-R)}{2R} KQ(t-R), \quad (8.4)$$

$$\dot{Q}(t) = \begin{cases} \frac{NW(t)}{R} - C, & Q(t) > 0, \\ \max\left(\frac{NW(t)}{R} - C, 0\right), & Q(t) = 0. \end{cases} \quad (8.5)$$

8.2. Реализация модели в xcos

Схема xcos, моделирующая систему (8.4)–(8.5), с начальными значениями параметров $N = 1$, $R = 1$, $K = 5, 3$, $C = 1$, $W(0) = 0, 1$, $Q(0) = 1$ приведена на рис. 8.1.

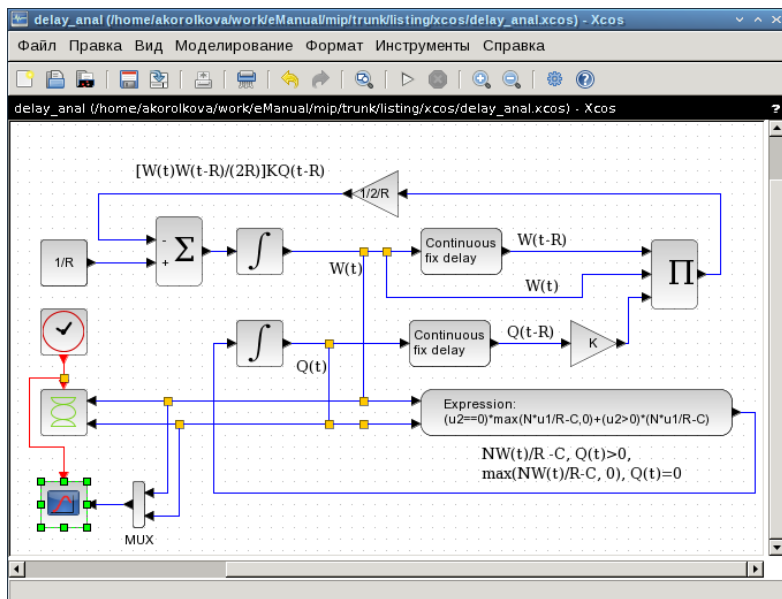


Рис. 8.1. Схема xcos, моделирующая систему (8.4)–(8.5)

Результат моделирования представлен на рис. 8.2 и 8.3.

На рис. 8.2 представлена динамика изменения размера TCP окна $W(t)$ (сплошная линия) и размера очереди $Q(t)$ (пунктирная линия).

На рис. 8.3 представлен фазовый портрет (W, Q) , который показывает наличие автоколебаний параметров системы — фазовая траектория осциллирует вокруг своей стационарной точки.

При $C = 0, 9$ автоколебания более выраженные (рис. 8.4 и 8.5).

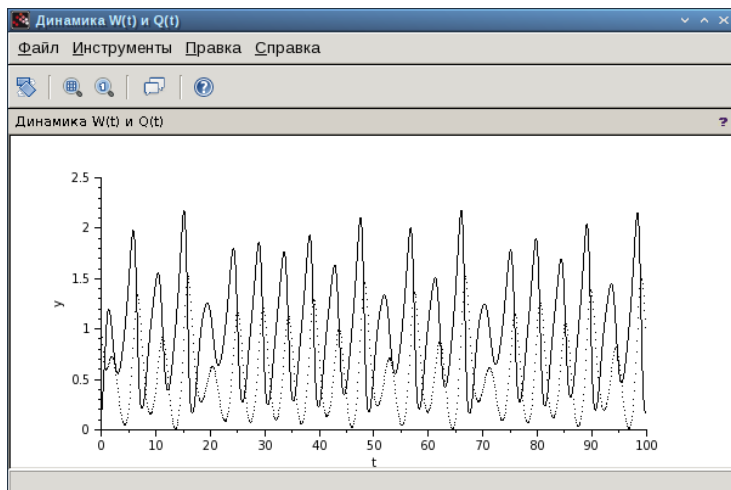


Рис. 8.2. Динамика изменения размера TCP окна $W(t)$ и размера очереди $Q(t)$

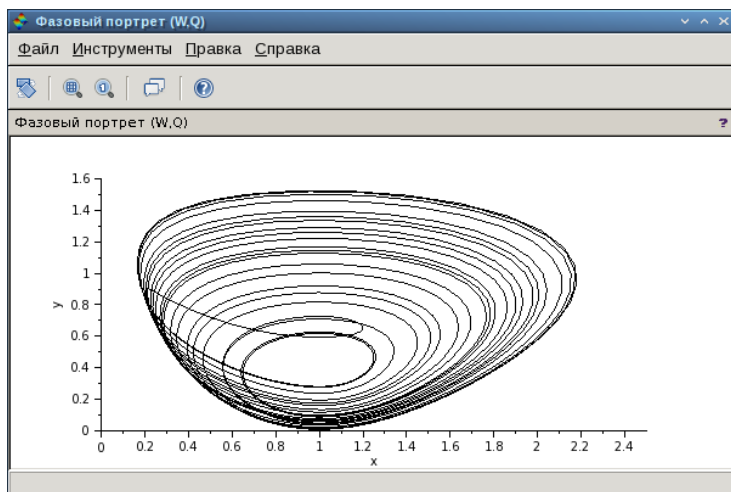


Рис. 8.3. Фазовый портрет (W, Q)

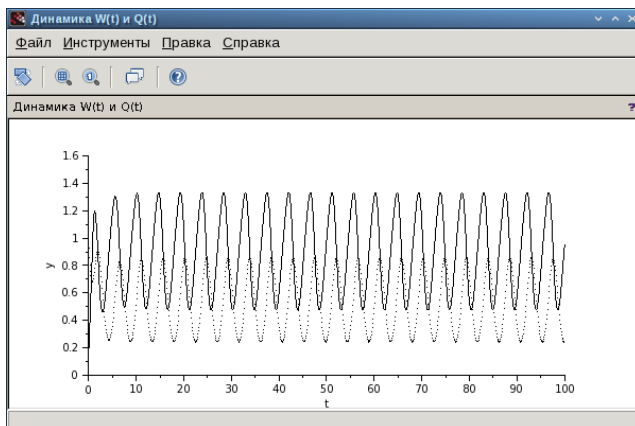


Рис. 8.4. Динамика изменения размера TCP окна $W(t)$ и размера очереди $Q(t)$ при $C = 0,9$

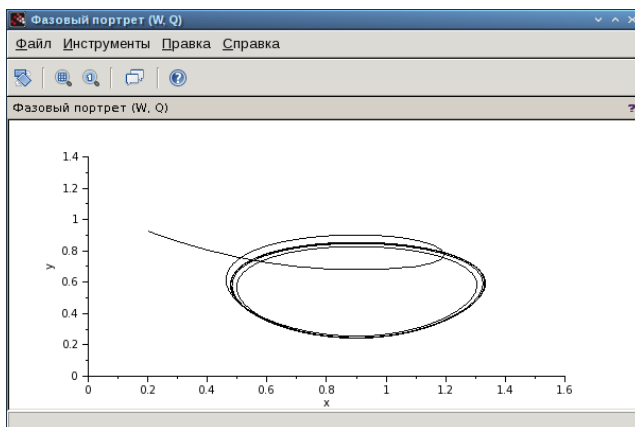


Рис. 8.5. Фазовый портрет (W, Q) при $C = 0,9$

8.3. Задание для самостоятельного выполнения

Реализуйте модель (8.4)–(8.5) с использованием языка Modelica в среде OpenModelica. Для реализации задержки используйте оператор `delay()`. Постройте график динамики изменения размера TCP окна $W(t)$ и размера очереди $Q(t)$ и фазовый портрет (W, Q) .

Требования к отчёту

1. Отчёт должен быть аккуратно оформлен: иметь титульный лист с указанием идентифицирующих работу данных; содержать формулировку задачи; иметь единообразный шрифт (основной текст: 13 pt, Times NewRoman, 1,5 интервал, выравнивание по ширине; текст листингов (если требуется): 10 Courier, 1 интервал; заголовки: 14 pt, Times NewRoman).
2. В отчёт включаются описания выполнения всех лабораторных работ раздела и заданий для самостоятельного выполнения.
3. Отчёт должен содержать скриншоты разработанных схем xcoss с пояснениями в тексте на русском языке.
4. Отчёт должен содержать полученные в результате моделирования графики с пояснениями в тексте на русском языке.

Список литературы

1. Братусь А. С., Новожилов Артем Сергеевич and Платонов А. П. Динамические системы и модели биологии. — М. : ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 400 с.
2. OM overall User's Guide. — 2020. — URL: <https://www.openmodelica.org/useresources/userdocumentation>.
3. Modelica Language. — URL: <https://www.modelica.org/modelicalanguage>.
4. OpenModelica. — URL: <https://www.openmodelica.org/>.
5. Xcos. — URL: <https://www.scilab.org/software/xcos>.