

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОФАЗНЫХ СИСТЕМ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ИМИТАЦИОННЫМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ

М.К. Данг

Московский физико-технический институт

Россия, 141700, Московская обл., Долгопрудный, Институтский пер., 9

E-mail: dang.mk@phystech.edu

Ключевые слова: многофазная система, обратная связь, орбита, поллинг, имитационное моделирование.

Аннотация: Исследована многофазная система массового обслуживания с обратной связью и орбитой для моделирования сети линейной топологии с дополнительной станцией для временного удержания заблокированных пакетов. Рассматривались два варианта потока обратной связи: возвращение на первую станцию и возвращение в точки, где пакеты были заблокированы. Результаты программы имитационного моделирования на простых примерах показали, что оба варианта работали почти одинаково, когда фазы системы были одинаковыми.

1. Введение

Многофазные системы массового обслуживания – это системы, в которых заявки обслуживаются последовательно на многих этапах. Системы такого типа подходят для моделирования сетей с линейной топологией или процессов. Например, в [2–5] приведено применение многофазной системы в моделировании сети. Конкретно в [3] описана многофазная система с входящими МАР (Markovian Arrival Process) потоками (кросс-трафик), у каждой станции одиночный сервер с ограниченным буфером, и время в каждом сервере распределено по РН (Phase-type) распределению. На рисунке 1 описана схема этой системы в терминах обозначений Кендалла.

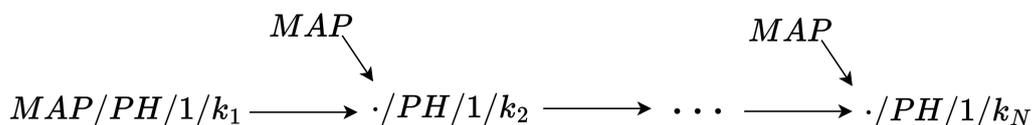


Рис. 1. Многофазная система

Поскольку буферы в системах ограничены, заблокированные пакеты потеряны. В нашей работе [6] был рассмотрен вариант добавления в систему дополнительной станции, которая выполняла роль орбиты для заблокированных пакетов, то есть,

когда пакет был заблокирован для поступления на станцию, пакет передавался на орбиту. Следствием этого является модель, аналогичная приведенной в [1]. Однако, в системе, исследованной в [6], мы только рассматривали Пуассоновский входящий поток (без кросс-трафика) и время обслуживания серверов распределено по экспоненциальному распределению. Поэтому в данной статье мы исследовали многофазную систему, описанную в [6], в случае входящий поток является МАР потоком и время обслуживания распределяется по РН распределению с программой имитационного моделирования.

2. Системы описание

Мы рассматриваем сеть из $N + 1$ станций, состоящую из N обычных станций и одной специальной станции (orbit). N обычных станций соединены в линейной топологии, а орбита соединена со всеми из них (рис. 2). Обозначим орбиту как станцию 0, а остальные – как станции от 1 до N (в соответствии с порядком их соединения).

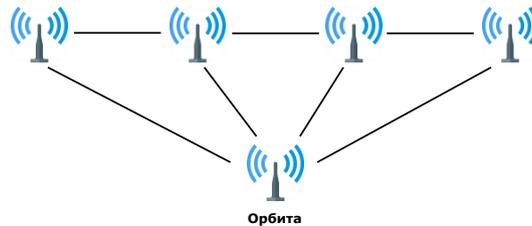


Рис. 2. Топология системы сетевой

Входящий МАР-поток пакетов, характеризуемый матрицами D_0 и D_1 , поступает в систему на станции 1. Пакеты проходят через станцию 1 к станции N и выходят из системы после станции N . У каждой станции i ($0 \leq i \leq N$) есть буфер размером k_i и сервер с временем обслуживания, распределенным по РН распределению параметров α_i, S_i .

Если буфер на станции i заполнен, входящие пакеты на станции i отправляются на станцию 0. Если буфер на станции 0 также заполнен, то пакеты теряются. После завершения ожидания на станции 0 пакеты отправляются обратно на линию. Существуют два способа обработки возвращаемых пакетов:

1. Пакеты отправляются обратно на станцию 1. Это метод, который использовали в [1, 6]. Модель СМО в данном случае показана на рисунке 3. Если пакет на обратной связи заблокирован (из-за ограниченного буфера на первой станции), пакет будет снова обслуживаться на станции 0, повторная передача на станцию 1 до тех пор, пока пакет не достигнет станции 1.
2. Пакеты, оригинальным ресивером которых является станция i , отправляются обратно на станцию i . В этом случае станция 0 моделируется системой поллинга, состоящей из одного сервера и N буферов (рис. 4). Сервер переключается между буферами циклически, при этом время переключения распределяется экспоненциальным распределением параметра $\lambda_{polling}$. В этой

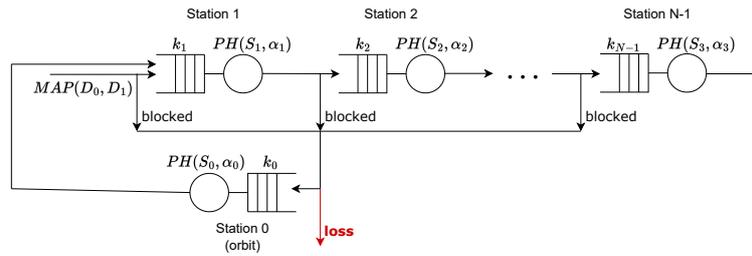


Рис. 3. Первая модель

схеме, если пакет по обратной связи заблокирован, пакет снова будет ждать в своем начальном буфере, и сервер переключится на другой буфер.

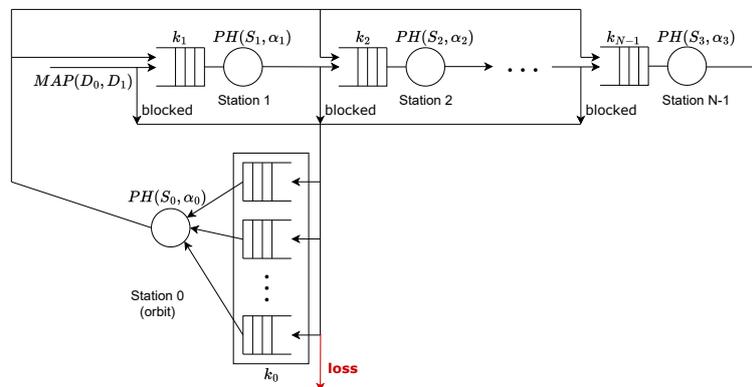


Рис. 4. Вторая модель

3. Результаты имитационного моделирования

Написана программа имитационного моделирования на C++ для трех случаев: Без орбиты, Орбита с возвращением на первую станцию и Орбита с возвращением в оригинальный ресивер. Параметры испытания имитационного моделирования:

- Количество обычных станций: $N = 4$
- Входящий поток (средняя интенсивность $\lambda = 2000$):

$$D_0 = \begin{bmatrix} -1010 & 10 \\ 10 & -3010 \end{bmatrix} \quad D_1 = \begin{bmatrix} 1000 & 0 \\ 0 & 3000 \end{bmatrix}$$

- Время обслуживания на станциях i ($1 \leq i \leq N$): по $\sim Erlang(3, 6000)$ (средняя интенсивность $\mu_i = 2000$)
- Время обслуживания на орбите: по $\sim Erlang(3, 3000)$ (средняя интенсивность $\mu_0 = 1000$)
- Размеры буферов: $k_i = 20$, k_0 берется в $[0, 100]$

- Поллинга скорость: $\lambda_{polling} = 500000$

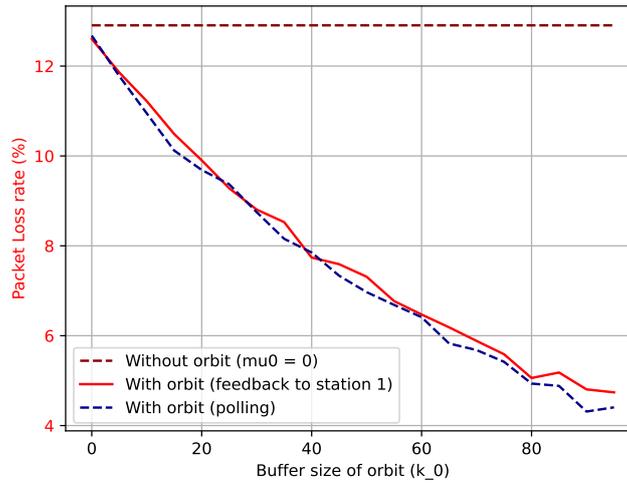


Рис. 5. Результаты имитационного моделирования

Сравнение результатов программы имитационного моделирования показано на рис. 5. Между первой и второй моделью практически нет разницы. Причина в том, что все станции в сети одинаковы, а это означает, что местом перегруженности фактически является первая станция. Поэтому, чтобы сделать разницу более очевидной, мы изменили параметры: $k_1 = 20$, $k_2 = 6$, $k_3 = 5$, $k_4 = 4$ и получили результаты, представленные на рис. 6. В этом случае, поскольку распределение заблокированных пакетов не сосредоточено на первой станции, вторая модель показала значительное улучшение.

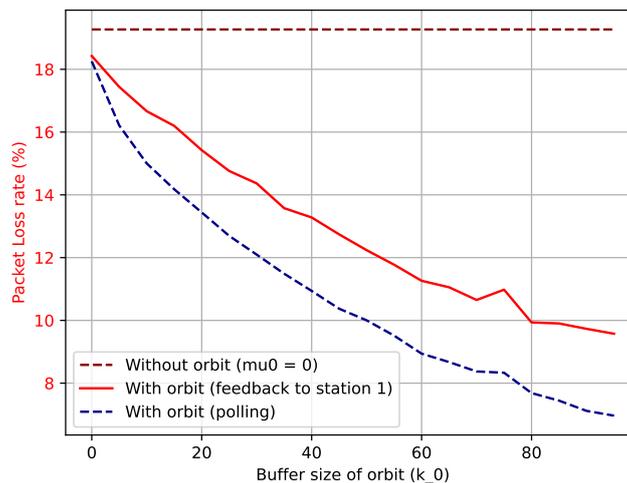


Рис. 6. Результаты имитационного моделирования с $k_1 = 20$, $k_2 = 6$, $k_3 = 5$, $k_4 = 4$

4. Заключение

В данной статье исследована многофазная система с обратной связью и орбитой. Рассмотрены два варианта системы: с обратной связью с первой станцией и с обратной связью к оригинальному ресиверу. Результаты программы имитационного моделирования показали что оба варианта работали почти одинаково, когда фазы системы были одинаковыми. Однако, в случае, когда станции имеют более ограниченные буферы, второй вариант оказывается предпочтительнее.

Список литературы

1. Avrachenkov K., Yechiali U. On tandem blocking queues with a common retrial queue // *Computers and Operations Research*. 2010. Vol. 37. No. 7. P. 1174–1180.
2. Larionov A.A., Vishnevsky V.M., Semenova O.V., Dudin A.N. A Multiphase Queueing Model for Performance Analysis of a Multi-hop IEEE 802.11 Wireless Network with DCF Channel Access // *International Conference on Information Technologies and Mathematical Modelling, Queueing Theory and Applications ITMM 2019. Communications in Computer and Information Science*. Saratov, Russia, 2019. Cham: Springer, 2016. Vol. 1109. P. 72–85.
3. Vishnevsky V.M., Dudin A.N., Kozyrev D.V., Larionov A.A. Methods of Performance Evaluation of Broadband Wireless Networks Along the Long Transport Routes // *International Conference on Distributed Computer and Communication Networks DCCN 2015. Communications in Computer and Information Science*. Moscow, Russia, 2015. Cham: Springer, 2016. Vol. 601. P. 72–85.
4. Вишнеvский В.М., Ларионов А.А., Семенова О.В. Оценка производительности высокоскоростной беспроводной тандемной сети с использованием каналов сантиметрового и миллиметрового диапазона радиоволн в системах управления безопасностью дорожного движения // *Пробл. управл.* 2013. № 4. С. 50–56.
5. Вишнеvский В.М., Минниханов Р.Н., Дудин А.Н., Клименок В.И., Ларионов А.А., Семенова О.В. Новое поколение систем безопасности на автодорогах и их применение в интеллектуальных транспортных системах // *ИТиВС*. 2013. № 4. С. 80–89.
6. Vishnevsky V.M., Semenova O.V., Dang M.C., Nguyen V.H. Multiphase queueing system of blocking queues and a single common orbit retrial queue with limited buffer // *International Conference on Distributed Computer and Communication Networks DCCN 2023*. Moscow, Russia, 2023.