

Симметричная маркерная кольцевая локальная сеть с конечными буферами и дисциплиной Бернулли обслуживания сообщений

В.В. БУРАКОВСКИЙ

Рассматривается симметричная кольцевая локальная сеть с протоколом маркерного доступа с конечным числом N абонентских станций, на каждой из которых имеется буфер конечной емкости m . При поступлении маркера на станцию происходит обслуживание сообщений, стоящих в буфере, в соответствии с дисциплиной Бернулли обслуживания. Потоки поступающих сообщений предполагаются пуассоновскими, независимыми, одинаковой интенсивности λ для каждой станции. Получен матрично-векторная система уравнений, позволяющая вычислить стационарные вероятности, а также основные вероятностно-временные характеристики рассматриваемой локальной сети.

Ключевые слова: маркерная кольцевая локальная сеть, станция, сообщение, буфер конечной емкости, дисциплина Бернулли обслуживания, стационарные вероятности состояний.

The symmetric token-passing ring local area network with finite number N stations in which each station has a finite capacity m buffer is studied. When token arrives at any station Bernoulli service discipline is on. The message arrival streams at each station are assumed to be independent Poisson processes with the same rates λ . The matrix-vector system of equations for the steady-state probabilities and main characteristics of the considered network are obtained.

Keywords: token-passing ring local area network, station, message, finite capacity buffer, Bernoulli service discipline, steady-state probabilities.

Введение. В процессе проектирования сложных технических систем и сетей, включая авиационные и технологические, а также при разработке новейших протоколов множественного доступа, существенную роль играют математические модели, описывающие средства информационного обмена и обработки информации. Локальные вычислительные сети (ЛВС) широко применяются в настоящее время для автоматизации производства, учрежденческой деятельности, поскольку являются недорогим, простым и надёжным средством передачи данных.

Локальная сеть – это система связи небольшой протяженности, включающая следующие элементы:

- 1) широкополосную передающую среду, которая используется станциями сети;
- 2) распределенный протокол управления доступом к среде (medium access control, MAC), управляющий доступом к передающей среде и содержащий при необходимости механизмы восстановления;
- 3) несколько взаимодействующих адаптеров, называемых интерфейсами локальной сети, через которые к сети присоединяются станции.

Структура ЛВС формально представляется как совокупность источников информации – абонентских станций (АС), которые связаны между собой передающей средой, называемой каналом или моноканалом. Протокол – это набор правил, в соответствии с которым АС обмениваются информацией. В системах с передачей маркера (token passing) небольшой фрейм (маркер) передаётся в определенном порядке от одного устройства к другому. Маркер – это специальное сообщение, которое передает временное управление средой передачи устройству, владеющему маркером. Передача маркера распределяет управление доступом между устройствами сети. Существует несколько протоколов передачи маркера. В сети стандарта IEEE 802.5 Token Ring (маркерное кольцо) используется управление доступом с передачей маркера и физическая или логическая кольцевая топология.

Технология Token Ring получила распространение везде, где есть ответственные приложения (в банках, авиационной, космической промышленности), для которых важна не скорость, а надежность передачи информации. При большой нагрузке (уровни трафика высоки) метод передачи маркера обеспечивает высокую сетевую производительность. Поэтому представляет интерес проблема повышения эффективности их практического применения.

Протокол маркерного доступа Token Passing Ring [1, с. 101] – одна из самых эффективных схем, обеспечивающих связь между станциями в кольцевой сети передачи данных. Кольцевая ЛВС [2, с. 121] с маркерным доступом относится к протоколам детерминированного множественного доступа циклического типа. Она представляет собой совокупность абонентских станций (АС), соединенных последовательно двухточечными линиями. АС получают право на передачу данных при получении специального служебного кадра – маркера, циркулирующего по кольцу. Функционирование сети происходит в соответствии со стандартом ANSI/IEEE 802.5 [3, с. 24]. При поступлении маркера на АС подключается дисциплина Бернулли обслуживания сообщений [4, с. 11]. Математическими моделями КЛВС с маркерным доступом являются циклические системы массового обслуживания [5, с. 64]. Адекватность математических моделей, описывающих КЛВС с дисциплиной Бернулли обслуживания стоящих в буфере АС сообщений, проверялась при помощи разработанных имитационных моделей [6, с. 22]. Основные вероятностно-временные характеристики, полученные с помощью стационарных вероятностей состояний рассматриваемой сети, необходимы для анализа эффективности и оптимизации функционирования КЛВС [7, с. 9].

Описание математической модели. Рассматривается симметричная кольцевая локальная вычислительная сеть (КЛВС) с протоколом маркерного доступа (стандарт ANSI/IEEE 802.5), представляющая собой совокупность соединенных последовательно N АС, на каждой из которых имеется конечный буфер для приема m ($m > 1$) сообщений. Все АС связаны между собой моноканалом. АС занумерованы таким образом, что номер станции увеличивается по направлению движения маркера по кольцу. При поступлении маркера на АС подключается дисциплина Бернулли обслуживания находящихся в буфере сообщений. Она предполагает, что первое из стоящих в буфере сообщений обслуживается с вероятностью 1, а каждое следующее (при его наличии) будет обслуживаться с вероятностью p и не обслуживаться с противоположной вероятностью $1-p$. Дисциплина обслуживания Бернулли обобщает ординарную (ordinary) и вентильную (gated) дисциплины обслуживания сообщений при $p = 0$ и $p = 1$ соответственно.

Поступающие на каждую АС, независимо от номера, сообщения образуют простейший поток интенсивности λ . В момент поступления маркера на АС она может находиться в одном из $m + 1$ состояний в зависимости от числа сообщений, находящихся в буфере АС, с соответствующими вероятностями p_i , $0 \leq i \leq m$. Сообщения, поступающие на АС с полностью занятым буфером, теряются. После прихода маркера на АС начинается обслуживание имеющихся в буфере сообщений и полагается, что до ухода маркера со станции буфер блокируется для поступления новых сообщений.

Обозначим через δ время передачи сообщения между соседними АС. Для приема сообщения на АС – адресате необходимо время a . Время передачи (обслуживания) одного сообщения для любой станции $\Delta = N\delta + a$.

Будем рассматривать состояния КЛВС в моменты поступления маркера на станции. Поскольку имеется очевидная симметрия процессов передачи сообщений в сети, используется метод декомпозиции и исследуется произвольная АС кольца. Поведение рассматриваемой КЛВС в моменты поступления маркера на фиксированную АС описывается неприводимой, неперiodической цепью Маркова.

Стационарные вероятности и вероятностно-временные характеристики функционирования сети. Пусть (x_1, x_2, \dots, x_N) – состояние КЛВС, где x_i – количество сообщений в буфере i -ой АС на момент прихода на нее маркера. Процедура определения стационарных вероятностей состояний рассматриваемой КЛВС [8, с. 39]:

$$(p_0, p_1, \dots, p_m) = (p_0, p_1, \dots, p_m)Q,$$

$$\sum_{i=0}^m p_i = 1,$$

где Q – матрица переходных вероятностей размерности $(m + 1) \times (m + 1)$ для дисциплины Бернулли обслуживания вида $Q = \{p_{ij}, 0 \leq i, j \leq m\}$, элементы которой вычисляются по формулам:

$$p_{0i} = \sum_{k=0}^{(N-1)m} \frac{(\lambda(N\delta + k\Delta))^i}{i!} e^{-\lambda(N\delta + k\Delta)} \sum_{x_2=0}^m \dots \sum_{x_N=0}^m I_{\{\sum_{j=2}^N x_j = k\}} \prod_{j=2}^N A(x_j), 0 \leq i \leq m-1, p_{0m} = 1 - \sum_{i=0}^{m-1} p_{0i},$$

$$p_{ij} = \sum_{k=1}^i p^{k-1} (1 - p I_{\{k \neq i\}}) p_{0, j+k-i} I_{\{j+k-i \geq 0\}}, 2 \leq i \leq m, 0 \leq j \leq m-1, p_{1i} = p_{0i}, 0 \leq i \leq m, p_{im} = 1 - \sum_{j=0}^{m-1} p_{ij}.$$

Здесь $A(k) = p^{k-1} \sum_{i=k}^m p_i (1 - p I_{\{i \neq k\}}) - \frac{1-p}{p} I_{\{k=0\}}$ – вероятность обслуживания k сообщений, $0 \leq k \leq m$, на одной станции.

Основными характеристиками, определяющими эффективность функционирования рассматриваемой КЛВС, являются следующие:

1. Коэффициент загрузки АС

$$KZ = 1 - p_0.$$

2. Среднее число сообщений на АС

$$L = \sum_{i=1}^m i p_i.$$

3. Среднее время обслуживания сообщений на АС

$$TM = \Delta(p_1 + (1-p) \sum_{i=2}^m p_i) + 2\Delta p(p_2 + (1-p) \sum_{i=3}^m p_i) + 3\Delta p^2(p_3 + (1-p) \sum_{i=4}^m p_i) + \dots + m\Delta p^{m-1}.$$

4. Среднее число обслуженных за время обращения маркера по кольцу сообщений

$$MS = \sum_{k=0}^{Nm} k \sum_{x_1=0}^m \dots \sum_{x_N=0}^m I_{\{\sum_{j=1}^N x_j = k\}} \prod_{j=1}^N A(x_j).$$

5. Среднее время обращения маркера по кольцу

$$TL = N\delta + \Delta \times MS.$$

6. Среднее число поступивших на одну АС сообщений за время обращения маркера по кольцу

$$MNS = \lambda \times TL.$$

7. Среднее число сообщений, поступивших в КЛВС за время обращения маркера

$$MNR = N \times MNS.$$

8. Среднее число занятых АС

$$MZ = \sum_{k=1}^N k C_N^k (1-p_0)^k p_0^{N-k}.$$

9. Пропускная способность КЛВС

$$PRS = \lambda \times N.$$

Заключение. В работе представлена математическая модель симметричной кольцевой локальной сети с протоколом маркерного доступа, на каждой станции которой имеется буфер конечной емкости. Обслуживание сообщений на каждой станции происходит по дисциплине Бернулли, обобщающей ординарную и вентильную. Описанная модель основана на предположении о независимости процессов, протекающих на различных станциях. Она позволяет значительно сократить число состояний и упростить процедуру определения стационарных вероятностей сети по сравнению с несимметричной [9, с. 109], а также облегчить получение основных характеристик ее функционирования и построение имитационной модели. Локальные сети такого типа очень широко используются в настоящее время, и проблемы их оптимизации, эффективности работы являются актуальными. Разработаны программные приложения, позволяющие получить все вероятностно-временные характеристики исследуемой сети. При проектировании приложений были проанализированы требования для приложения, которое должно производить нахождение вероятностей передачи сообщений, а также расчёта характеристик для локальной вычислительной сети с детерминированным протоколом доступа. Был проанализирован контекст использования приложения, а также его планируемое наукоёмкое использование.

Для этих задач было решено разработать 2 приложения: консольное и веб-приложение, поскольку необходимо учитывать возможность запуска и использование приложения в различных сферах его применения. Как правило, наукоёмкие приложения имеют ряд требований к интерфейсу ввода входных данных, его быстрдействию и возможности быстро и просто дополнять или изменять определённые части кода приложения.

В противовес консольному приложению веб-приложение должно иметь понятный и простой интерфейс, должно отвечать необходимым требованиям к использованию человеком, который использует данный инструмент лишь в качестве пользователя. Помимо прочего, визуализация результатов характеристик намного выгоднее реализовывать именно в веб-приложении, что обеспечивает возможность к более простому подходу в анализе полученных данных.

Полученные характеристики позволяют проследить зависимости всех параметров сети от ее загрузки.

Литература

1. Takagi, H. Analysis of polling systems / H. Takagi. – Cambridge, M.A. : MIT Press, 1986. – 198 p.
2. Бакс, В. Кольцевые локальные сети с маркерным доступом и их производительность / В. Бакс // ТИИЭР. – 1989. – № 2. – С. 121–142.
3. ANSI/IEEE 802.5 Standard-1985. Token-passing ring access method and physical layer specification // IEEE Press. – 1985. – 89 p.
4. Бураковский, В.В. Локальные вычислительные сети: курс лекций / В.В. Бураковский, В.О. Родченко. – Гомель : УО «ГГУ им. Ф. Скорины», 2008. – 78 с.
5. Бураковский, В.В. Маркерная кольцевая локальная сеть с конечными буферами и ординарным обслуживанием сообщений / В.В. Бураковский // Сборник научных трудов. – 1998. – Вып. 1 : Аэрокосмическое приборостроение России. Сер. 2. Авионика. – С. 63–67.
6. Бураковский, В.В. Имитационная модель КЛВС с бесконечными буферами и вентиляным обслуживанием / В.В. Бураковский // Efektivní nástroje moderních věd – 2013: materiály IX Mezinárodní vědecko-praktická conference, Praha, 27 dubna – 05 květn 2013 roku. – Díl 40. Matematika. – Praha : Publishing House «Education and Science» s.r.o., 2013. – P. 19–22.
7. Бураковский, В.В. Кольцевая локальная сеть с протоколом маркерного доступа / В.В. Бураковский, Г.А. Медведев // Техника средств связи. Сер. Системы связи. – 1990. – Вып. 7. – С. 9–16.
8. Бураковский, В.В. Симметричная маркерная кольцевая локальная сеть со случайным выбором дисциплины обслуживания / В.В. Бураковский // Проблемы физики, математики и техники. – 2016. – № 2 (27). – С. 39–41.
9. Бураковский, В.В. Маркерная кольцевая локальная сеть со случайным выбором дисциплины обслуживания с сокращением / В.В. Бураковский // Известия Гомельского гос. ун-та им. Ф. Скорины. – 2017. – № 3 (102). – С. 109–113.