Известия Гомельского государственного университета
имени Ф. Скорины, № 3 (126), 2021

УДК 519.872.5:681.142.2

Несимметричная локальная сеть двойное маркерное кольцо

В.В. Бураковский

Рассматривается несимметричная локальная сеть двойное маркерное кольцо с конечным числом N абонентских станций, на каждой из которых имеется одноместный буфер. Потоки поступающих сообщений предполагаются пуассоновскими, независимыми, интенсивности λ_i для i-ой станции, $1 \le i \le N$. Получены матрично-векторная система уравнений, позволяющая вычислить стационарные вероятности, а также основные вероятностно-временные характеристики рассматриваемой локальной сети.

Ключевые слова: локальная сеть двойное маркерное кольцо, станция, сообщение, одноместный буфер, ординарная дисциплина обслуживания, стационарные вероятности состояний.

An asymmetric local area network with a double token ring with a finite number of N subscriber stations each of which has a single buffer is considered. The flows of incoming messages are assumed to be Poisson, independent, with intensity λ_i for the i-th station, $1 \le i \le N$. A matrix-vector system of equations is obtained that allows calculating stationary probabilities, as well as the main probabilistic-time characteristics of the local network under consideration.

Keywords: local area network dual token ring, station, message, single buffer, ordinary 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 [1, с. 10]. Поэтому представляет интерес проблема повышения эффективности их практического применения.

Протокол маркерного доступа [2, с. 101] является одной из самых эффективных схем, обеспечивающих связь между станциями в кольцевой сети передачи данных. При помощи этого протокола происходит подключение подавляющего числа пользователей высокоскоростного, беспроводного и телефонного Интернета. Кольцевая ЛВС [3, 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 [4, с. 23].

Рассматривается архитектура двойного кольца с протоколом маркерного доступа. Предложенный подход базируется на идее, что в сети имеются два кольца в качестве передающей среды и два маркера, циркулирующих по этим кольцам. Кольцо 1 будем считать прямым каналом. Маркер, движущийся по прямому каналу, называется прямым (forward token) и обозначается T_f.

Кольцо 2 будем считать обратным каналом. Маркер, движущийся по этому каналу, называется обратным (reverse token) и обозначается T_r. Прямой и обратный маркеры движутся по своим кольцам в противоположных направлениях. Другими словами, станции сети формируют двойной связанный список, в котором известны не только номера следующих станций, но и номера предыдущих. Будем предполагать, что маркеры $T_f \, и \, T_r$ поступают и уходят со станций в одни и те же моменты времени (синхронно).

Описание математической модели. Рассматривается несимметричная 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 одноместный буфер для приема сообщений [5, с. 9]. Все АС связаны между собой двумя моноканалами. АС занумерованы таким образом, что номер станции увеличивается по направлению движения прямого маркера по кольцу. Обозначим через δ время передачи как прямого, так и обратного маркера по кольцу между соседними АС. Время передачи (обслуживания) одного сообщения для любой станции равно α. В течение этого времени станция обслуживает сообщение, если оно имеется в буфере, или ожидает момента отправки маркера, если буфер пустой. Поступающие на i-ую АС сообщения образуют простейший поток интенсивности $\lambda_i, 1 \le i \le N$.

Рассматривается ординарная дисциплина обслуживания [6, с. 63], которая предполагает, что станция передает сообщение, когда маркер поступает, но не передает ни одного сообщения, которые поступают после прихода любого маркера (буфер блокируется, поскольку занят). Таким образом, не более чем одно сообщение может быть передано с любой АС пока маркеры T_f *и* T_r находятся на станции. Обозначим через $(i, j, k_1, \ldots, k_N)$ состояние рассматриваемой КЛВС, где i – номер станции, на которую поступает маркер T_f, j – номер станции, где находится маркер T_r, k_m – число сообщений на станции с номером m, $1 \le m \le N$, в момент поступления маркера T_f *или* T_r на нее, $k_m \in \{0,1\}$. Стационарные вероятности этих состояний обозначим через $P(i, j, k_1, \ldots, k_N)$.

Стационарные вероятности и вероятностно-временные характеристики. Поведение рассматриваемой КЛВС в моменты поступления T_f *и* T_r на АС можно описать при помощи периодической цепи Маркова [7, с. 39].

Обозначим через $A_{i,j}$ матрицу вероятностей переходов, где i – номер АС, на которую приходит маркер T_f, j – номер АС, на которую приходит маркер T_r. Очевидно, что номера следующих станций, куда T_f *и* T_r поступают со станций i и j – это $i+1$ *и* $j-1$, $1 \le i, j \le N$. Обозначим через $P(i, j)$ вектора стационарных вероятностей. Стационарные вероятности состояний рассматриваемой сети являются решением следующей векторно-матричной системы:

$$P(i+1, j-1) = P(i, j)A_{ij};$$

$$P(i, j)\Big(I + \sum_{k=1}^{N-1}\prod_{c=1}^{k} A_{i+c, j-c}\Big)E = 1;$$

$$P(i, j)\Big(I - \sum_{k=1}^{N}\prod_{c=1}^{k} A_{i+c, j-c}\Big) = 0.$$

Здесь E – вектор, состоящий из 2^N единиц, $I - (2^N \times 2^N)$ единичная матрица, A_{ij} – матрица переходных вероятностей размерности $(2^N \times 2^N)$, где $1 \le i, j \le N$. Эти вероятности вычисляются по формуле

$$a(i, j, k, r) = p^{i}_{\beta_i}(\delta)\, p^{j}_{\beta_j}(\delta) \prod_{c=1; c \in i, j}^{N} p^{c}_{\beta_c - \alpha_c}(\delta + a)\, I_{\{\beta_c \ge \alpha_c\}},$$

где $0 \le k, r \le 2^N - 1$, $I_{\{B\}}$ – индикатор множества B, $p^i_0(t) = e^{-\lambda_i t}$, $p^i_1(t) = 1 - e^{-\lambda_i t}$, α_c – коэффициенты состояния $(i, j, \alpha_1, \ldots, \alpha_N)$, β_c – коэффициенты состояния $(i, j, \beta_1, \ldots, \beta_N)$.

Основными характеристиками, определяющими эффективность функционирования рассматриваемой КЛВС [8, с. 38], являются следующие:

1. Вероятность того, что все АС свободны (сеть свободна)

$$P_0 = \sum_{i=1}^{N}\sum_{i=1}^{N} P(i, j, 0, \ldots, 0).$$

2. Вероятность того, что все АС заняты

$$PZ = \sum_{i=1}^{N}\sum_{i=1}^{N} P\left(i, j, 1, \ldots, 1\right).$$

3. Среднее число занятых АС

$$LZ = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{N}\sum_{\alpha_i=0}^{1} P\left(i, j, \alpha_1, \ldots, \alpha_N\right) \sum_{r=1}^{N} I_{\{\alpha_r \blacklozenge 0\}}.$$

4. Среднее число свободных АС

$$LE = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{N}\sum_{\alpha_i=0}^{1} P\left(i, j, \alpha_1, \ldots, \alpha_N\right) \sum_{r=1}^{N} I_{\{\alpha_r = 0\}}.$$

5. Средняя продолжительность обслуживания сообщений на АС в КЛВС за время обращения маркера

$$TM = \Delta LZ.$$

6. Среднее время обращения маркеров по кольцу

$$TL = N\delta + TM.$$

7. Среднее число сообщений, поступивших за время обращения маркеров по сети

$$MS = TL \sum_{i=1}^{N} \lambda_i.$$

8. Среднее число потерянных за время обращения маркера сообщений

$$MLS = MS - LZ.$$

9. Вероятность потери сообщения

$$PL = \frac{MLS}{MS}.$$

Заключение. В результате проведенных исследований разработана математическая модель несимметричной локальной сети двойное маркерное кольцо, на каждой станции которой имеется одноместный буфер. Обслуживание сообщений происходит одновременно на двух станциях, на которых находятся прямой и обратный маркеры. Предложенная модель основана на описании процесса функционирования несимметричной маркерной кольцевой ЛВС при помощи циклических Марковских процессов [9, с. 110]. Показано, что стационарные вероятности состояний рассматриваемой сети определяются из систем векторно-матричных уравнений, размерность которых зависит от числа АС. На основе анализа периодов занятости получены формулы для вычисления основных характеристик функционирования сети [10, с. 20]. Локальные сети такого типа очень широко используются в настоящее время и проблемы их оптимизации, эффективности работы являются актуальными [11, с. 134].

Литература

1. Бураковский, В. В. Локальные вычислительные сети: курс лекций / В. В. Бураковский, В. О. Родченко. – Гомель : УО «ГГУ им. Ф. Скорины», 2008. – 78 с.
2. Takagi, H. Analysis of Polling Systems / H. Takagi. – Cambridge, M.A. : MIT Press, 1986. – 198 p.
3. Бакс, В. Кольцевые локальные сети с маркерным доступом и их производительность / В. Бакс // ТИИЭР. – 1989. – № 2. – С. 121–142.
4. ANSI/IEEE 802.5 Standard-1985. Token-passing Ring Access Method and Physical Layer Specification // IEEE Press. – 1985. – 89 p.
5. 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.
6. 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.
7. 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.

8. Burakovski, V. V. Non-symmetric Dual-Ring Token-Passing Local Area Network / V. V. Burakovski // Modern scientific potential – 2015 : materials of the XI International scientific and practical conference, Sheffield, February 28 – March 7, 2015. – Sheffield : Science and education LTD, 2015. – Vol. 34 : Mathematics. Modern information technologies. – P. 38–41.

9. Бураковский, В. В. Маркерная кольцевая локальная сеть со случайным выбором дисциплины обслуживания с сокращением / В. В. Бураковский // Известия Гомельского государственного университета имени Ф.Скорины. – 2017. – № 3 (102). – С. 109–113.

10. Бураковский, В. В. Имитационная модель КЛВС с бесконечными буферами и вентильным обслуживанием / В. В. Бураковский // Efektivní nástroje moderních věd – 2013 : materiály IX mezinárodní vědecko-praktická conference, Praha, 27 dubna – 05 květn 2013 roku. – Praha : Publishing House «Education and Science» s.r.o., 2013. – Díl 40 : Matematika. – P. 19–22.

11. Бураковский, В. В. Симметричная маркерная кольцевая локальная сеть с конечными буферами и дисциплиной Бернулли обслуживания сообщений / В. В. Бураковский // Известия Гомельского государственного университета имени Ф.Скорины. – 2020. – № 3 (120). – С. 131–134.

Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины

Поступила в редакцию 19.01.2021