

УДК 621.395

Ю.И. Лосев¹, С.И. Шматков¹, К.М. Руккас¹, В.С. Щебенюк²¹ Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харків² Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОДНОМАРШРУТНОГО И МУЛЬТИМАРШРУТНОГО МЕТОДОВ ПЕРЕДАЧИ СООБЩЕНИЙ

В статье проведен сравнительный анализ одномаршрутного и мультимаршрутного методов передачи информации в современных компьютерных сетях. В качестве показателя эффективности использовались время доставки сообщения. На основании проведенного сравнительного анализа определены необходимые условия использования мультимаршрутной передачи сообщений.

Ключевые слова: мультимаршрутная передача, компьютерные сети, эффективность передачи сообщений.

Введение

Постановка задачи. Управление потоком информации при многопутевой передаче является достаточно сложным процессом, учитывающее особенности передачи как по одному каналу, так и с учетом совместимого функционирования нескольких каналов.

В наиболее простом варианте многоканальная система представляет совокупность независимо функционирующих каналов. В этом случае, как показано ранее, характеристики системы будут определяться характеристиками худшего канала.

Цель статьи. Поэтому, прежде чем разработать модель процесса управления в многоканальной системе, разработаем модель управления одним информационным каналом, в соответствии с которой определим методику оценки таких основных вероятностно – временных характеристик канала, как среднее время доставки сообщения и вероятность доставки за заданное время.

Сначала разработаем математическую модель, обеспечивающую возможность определения таких основных характеристик, как среднее значение и дисперсию времени доставки сообщений.

Разработанная модель должна учитывать влияние указанных параметров на основные вероятностно-временные характеристики.

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящее время описаны математические модели многопутевой маршрутизации, основанные на теории графов и теории массового обслуживания [1 – 6]. Проведенный анализ указанных работ показывает, что описанные модели обеспечивают возможность оценки основных вероятностно-временных характеристик при ограничениях на входящий поток заявок. При использовании этих моделей невозможен учет особенностей применяемого протокола; отсутствие возможности учета

влияния на основные вероятностно-временные характеристики (ВВХ) таких режимов работы систем, как цикловая и межпутевая синхронизация; трудность в получении общих выражений для определения основных ВВХ для многоканальных систем с различными интенсивностями обслуживания и т.п.

Известны математические модели, основанные на использовании линейного программирования [7]. Однако все эти модели посвящены решению задачи маршрутизации и не устраняют указанные выше недостатки. Управление потоком предполагает, что выбор маршрута уже проведен. Необходимо обеспечить качественную параллельную доставку фрагментов сообщения таким же образом, как и в случае последовательной передачи этих фрагментов.

Изложение основного материала

В распределённых системах обмен информацией между отдельными или группами пользователей может осуществляться по одному маршруту целыми сообщениями с их фрагментацией и с передачей фрагментов по разным маршрутам.

Для определения этих условий проведём сравнения метода мультимаршрутной передачи с методом передачи по одному пути (маршруту). При передаче по одному пути блок данных может передаваться без фрагментирования, с фрагментированием и с последующей последовательной передачей фрагментов.

Предположим, что блок разделен на M фрагментов. Каждый фрагмент содержит $m_{\text{п}}$ информационных и $k_{\text{сл}}$ служебных символов.

В системах с обратной связью каждый фрагмент может повторяться в случае обнаружения ошибки. Между двумя оконечными пунктами находится β промежуточных узлов. Поскольку задержка на узлах не зависит от числа передаваемых фраг-

ментов, а определяется только числом промежуточных узлов, время передачи блока, будет определяться выражением

$$T_{\text{ПЕРбл}} = \sum_{j=1}^M T_{\text{ПЕР}j} \cdot \theta_j, \quad (1)$$

где $T_{\text{ПЕР}j} = T_{\text{ФР}j} \cdot r_{31} + \sum_{i=1}^{\beta+1} T_{\text{Р}ij} + \sum_{i=1}^{\beta} T_{\text{ЗАД}уйi}$, $T_{\text{ЗАД}уйi}$ – время задержки на узле $T_{\text{ЗАД}уйi} = T_{\text{ФР}j} \cdot r_{31}$; $T_{\text{ФР}j}$ – длительность фрагмента $T_{\text{ФР}j} = \frac{m_{nj} + k_{\text{сл}}}{B}$, $k_{\text{сл}} = \log(m_n)$; r_{31} – избыточность за счет заголовка фрагментов.

Коэффициент θ_j , в соответствии с [8], учитывает влияние обратной связи в дуплексном канале.

Поскольку информационная нагрузка равна сумме поступающей нагрузки $\sum_{j=1}^M m_{nj}$, скорость передачи информационных символов будет равна

$$C_1 = \frac{\sum_{j=1}^M m_{nj}}{T_{\text{ПЕРбл1}}}. \quad (2)$$

Если участки сети имеют одинаковые характеристики и фрагменты одинаковой длины, то при последовательной передаче фрагментов выражение (1) будет иметь вид

$$T_{\text{ПЕРбл1}} = M \cdot T_{\text{ПЕР1}} \cdot \theta_1;$$

$$T_{\text{ПЕР}j} = T_{\text{ФР}j} \cdot r_{31} + (\beta + 1) \cdot T_{\text{Р}} + \beta \cdot T_{\text{ЗАД}у1}.$$

Входящие в эти выражения величина θ_1 определяются по следующим формуле:

$$\theta_1 = 1 + \frac{\left(1 + \frac{T_{\text{ТА1}}}{T_{\text{ПЕР1}}}\right) \cdot (P_{\text{ПОТ1}} + P_{\text{ОО1}})}{1 - P_{\text{ПОТ1}} - P_{\text{ОО1}}}, \quad (3)$$

где время таймаута равно $T_{\text{ТА}j} = T_{\text{ПЕР}j} \cdot \eta$; $\eta > 1$; $P_{\text{ОО1}} \cong n \cdot (1 - 2^{-k_{\text{сл}}}) \cdot P_{\text{ОШ}}$; $P_{\text{ОШ}}$ – вероятность ошибки в принятом фрагменте.

При средней нагрузке время задержки на узле равно $T_{\text{ЗАД}у1} = T_{\text{ФР}}$.

Вероятность потери фрагмента определяется по формуле

$$P_{\text{ПОТ1}} = (1 - \lambda_1 \cdot T_{\text{ФР}}) \cdot (\lambda_1 \cdot T_{\text{ФР}})^W,$$

где W – емкость буферного запоминающего устройства на узле коммутации;

Если блок передается без деления на фрагменты, то время его передачи будет равно

$$T_{\text{ПЕРбл2}} = M \cdot T_{\text{ПЕР2}} \cdot \theta_2,$$

$$\text{где } T_{\text{ПЕР2}} = T_{\text{БЛ}} \cdot r_{32} + \sum_{i=1}^{\beta+1} T_{\text{Р}i} + \sum_{i=1}^{\beta} T_{\text{ЗАД}i},$$

$T_{\text{БЛ}} = M \cdot T_{\text{ФР}}$. При средней нагрузке системы $T_{\text{ЗАД}i} = T_{\text{БЛ}}$.

В соответствии с (3), коэффициент θ_2 , определяется по выражению:

$$\theta_2 = 1 + \frac{\left(1 + \frac{T_{\text{ТА2}}}{T_{\text{ПЕР2}}}\right) \cdot (P_{\text{ПОТ2}} + P_{\text{ОО2}})}{1 - P_{\text{ПОТ2}} - P_{\text{ОО2}}},$$

где

$$T_{\text{ТА2}} = T_{\text{ПЕР2}} \cdot \eta; P_{\text{ОО2}} \cong M \cdot n \cdot (1 - 2^{-k_{\text{сл}}}) \cdot P_{\text{ОШ2}};$$

$$P_{\text{ПОТ2}} = (1 - \lambda_2 \cdot M \cdot T_{\text{ФР}}) \cdot (\lambda_2 \cdot M \cdot T_{\text{ФР}})^W.$$

Поскольку $\lambda_2 = \lambda_1 / M$, получим

$$P_{\text{ПОТ2}} = (1 - \lambda_1 \cdot T_{\text{ФР}}) \cdot (\lambda_1 \cdot T_{\text{ФР}})^W,$$

т.е. $P_{\text{ПОТ1}} = P_{\text{ПОТ2}}$.

Время задержки на узле при средней нагрузке в сети равно

$$T_{\text{ЗАД}у2} = M \cdot T_{\text{ФР}} \cdot r_{32} = T_{\text{БЛ}} \cdot r_{32}.$$

Для сравнения двух методов передачи возьмем

и отношение $\frac{T_{\text{ПЕРбл1}}}{T_{\text{ПЕРбл2}}}$:

$$\frac{T_{\text{ПЕРбл1}}}{T_{\text{ПЕРбл2}}} = \frac{[M \cdot T_{\text{ФР}} \cdot r_{31} + \beta \cdot T_{\text{ФР}} \cdot r_{31} + (\beta + 1) \cdot T_{\text{Р}}] \cdot \theta_1}{[M \cdot T_{\text{ФР}} \cdot r_{32} + M \cdot \beta \cdot T_{\text{ФР}} \cdot r_{32} + (\beta + 1) \cdot T_{\text{Р}}] \cdot \theta_2}. \quad (4)$$

Определим отношение $\frac{\theta_1}{\theta_2}$:

$$\frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{1 + \frac{T_{\text{КВ}}}{T_{\text{ПЕР1}}} + \frac{\left(1 + \frac{T_{\text{ТА1}}}{T_{\text{ПЕР1}}}\right) \cdot (P_{\text{ПОТ1}} + P_{\text{ОО1}})}{1 - P_{\text{ПОТ1}} - P_{\text{ОО1}}}}{1 + \frac{T_{\text{КВ}}}{T_{\text{ПЕР2}}} + \frac{\left(1 + \frac{T_{\text{ТА2}}}{T_{\text{ПЕР2}}}\right) \cdot (P_{\text{ПОТ2}} + P_{\text{ОО2}})}{1 - P_{\text{ПОТ2}} - P_{\text{ОО2}}}}. \quad (5)$$

Учитывая, что $P_{\text{ОО1}} < P_{\text{ОО2}}$, $P_{\text{ПОТ2}} = P_{\text{ПОТ1}}$,

$\frac{T_{\text{ТА1}}}{T_{\text{ПЕР1}}} = \frac{T_{\text{ТА2}}}{T_{\text{ПЕР2}}}$ получим неравенство $\frac{\theta_1}{\theta_2} \leq 1$.

Поскольку $T_{\text{ЗАД}у1} < T_{\text{ЗАД}у2}$, несмотря на то, что r_{31} несколько больше, чем r_{32} получим неравенство $\frac{T_{\text{ПЕРбл1}}}{T_{\text{ПЕРбл2}}} < 1$.

Таким образом, время передачи сообщения одним блоком больше, чем при передаче фрагментами. Следовательно, скорость передачи информационного символа при делении на фрагменты будет больше.

Это объясняется тем, что вероятность повтора блока больше, чем вероятность повтора фрагмента, т.к. длина блока больше. Кроме этого, при повторе длина повторяемого сообщения больше.

При определенных условиях существует оптимальная длина блока (фрагмента).

Повышение скорости при мультимаршрутной передаче обеспечивается за счет того, что информационная нагрузка m_{Σ} распределяется по M каналам. В результате суммарная скорость передачи будет равна

$$C = \frac{m_{\Sigma}}{T_{\text{ПЕР.ФР.МАХ}}} = \frac{\sum_{i=1}^M m_i}{T_{\text{ПЕР.ФР.МАХ}}},$$

где m_i – информационная нагрузка i -го канала (бит); $T_{\text{ПЕР.ФР.МАХ}}$ – максимальное время передачи фрагмента по одному из M каналов.

Сравнение этого выражения с (1) показывает, что поскольку $T_{\text{ПЕР.бл}}$ примерно в M раз больше $T_{\text{ПЕР.ФР.МАХ}}$ справедливо неравенство $C > C_1$.

Скорость передачи можно увеличить без возрастания числа каналов, путем повышения скорости передачи в канале во столько раз, сколько каналов используется в многоканальной системе. Для определения условия, при котором одноканальная система, с повышенной в M раз скоростью передачи, будет эквивалентна M -канальной системе. Воспользуемся соотношением (4).

Условием эквивалентности двух систем будет выполнение равенства $\frac{T_{\text{ПЕР.бл1}}}{T_{\text{ПЕР.бл2}}} = 1$.

Для выполнения этого равенства должно выполняться равенство $\theta_1 = \theta_2$.

Как видно из (5), это равенство выполняется, если вторые слагаемые в числителе и знаменателе выражения (5), будут практически одинаковы, т.е. если $(1 - P_{\text{ОО1}}) \approx (1 - P_{\text{ОО2}})$.

Так как $P_{\text{ОО1}} \approx n \cdot P_{\text{ОШ}}$, а $P_{\text{ОО2}} \approx M \cdot n \cdot P_{\text{ОШ}}$, при хорошем состоянии канала ($P_{\text{ОШ}} < 10^{-5}$), для достаточной для практики точности, можно полагать, что равенство $(1 - P_{\text{ОО1}}) \approx (1 - P_{\text{ОО2}})$ будет выполняться, если длина передаваемого сообщения небольшая, при которой $n \cdot P_{\text{ОШ}} \ll 1$ и $M \cdot n \cdot P_{\text{ОШ}} \ll 1$.

Таким образом, одноканальная система с повышенной скоростью передачи будет эквивалентна многоканальной системе, если состояние канала хорошее и малая длина передаваемого сообщения.

Обычно состояние канала меняется, изменяется также и длина передаваемого сообщения. В этих условиях одноканальная система по скорости дос-

тавки сообщений будет уступать многоканальной системе.

Скорость доставки при мультипараллельной передаче (интенсивность обслуживания) равна

$$C_3 = \frac{m_{\Sigma}}{T_{\text{ПЕР.БЛЗ}}}.$$

Время передачи всего блока с учетом времени сборки равно

$$T_{\text{ПЕР.БЛЗ}} = T_{\text{ПЕР.жМАХ}} + \tau_{\text{СБ}},$$

где $T_{\text{ПЕР.БЛЗ}}$ – максимальное время передачи фрагмента по какому-либо пути; $\tau_{\text{СБ}}$ – время сборки блока из принятых фрагментов.

В процессе функционирования количество путей может изменяться. Каждый путь имеет свои характеристики. Рассмотрим условия, при которых вновь вводимый путь дает положительный эффект, т.е. увеличит скорость передачи информационного потока.

Предположим, что добавляется ещё один канал, по которому дополнительно передается нагрузка m_2 бит. Время передачи фрагмента по этому каналу по сравнению с ранее использованными изменилось на ΔT . Таким образом, скорость передачи будет равна

$$C_4 = \frac{m_{\Sigma} + m_2}{T_{\text{ПЕР.МАХ}} + \tau_{\text{СБ}} + \Delta T},$$

где m_{Σ} – объем передаваемой нагрузки в системе.

Использование дополнительного канала будет полезно, если $\frac{C_4}{C_3} \geq 1$.

Подставив приведенные выше выражения, без учета времени сборки, получим

$$\frac{m_2}{m_{\Sigma}} \geq \frac{\Delta T}{T_{\text{ПЕР.МАХ}}}. \quad (6)$$

Это неравенство будет всегда выполняться, если $\Delta T \leq 0$, т.е. вводимый в работу канал будет обладать характеристиками, которые не хуже ранее использованных каналов. При вводе нового канала время передачи может возрасти, т.е. $\Delta T > 0$.

Неравенство $\Delta T > 0$ справедливо, если

$$\frac{m_2}{B_2} - \frac{m_{j,\text{max}}}{B_{j,\text{min}}} > 0,$$

где $B_{j,\text{min}}$ и $m_{j,\text{max}}$ – соответственно минимальная скорость передачи данных и максимальная нагрузка в j -м канале; B_2 – скорость передачи данных по вводимому в работу каналу. Откуда $\frac{m_2}{m_{j,\text{max}}} > \frac{B_2}{B_{j,\text{min}}}$.

Это неравенство характеризует условие, при котором время передачи блока при использовании дополнительного канала возрастет.

Для определения условий полезности использования дополнительного канала воспользуемся выражением (6), из которого получим неравенство

$$\frac{m_2}{m_\Sigma} > \frac{T_{\text{ПЕР}2}}{T_{\text{ПЕР}j, \text{МАХ}}} - 1.$$

Только при этом условии введение нового канала дает положительный эффект по скорости передачи информационных символов.

Разность времени доставки фрагментов по различным маршрутам, может быть компенсирована путем рациональной организации очереди выдачи фрагментов на передающей стороне или управлением длительностью передаваемых фрагментов.

Такая организация очереди выдачи сообщений или управление длительностью передаваемых фрагментов, может быть обеспечена, если решены задачи канальной и межпутевой синхронизации. Для решения этих задач, необходимо определить влияние этих режимов на эффективность передачи данных и разработать соответствующие математические модели.

Выводы

Разработана математическая модель управления информационным каналом. Модель для систем с обратной связью обеспечивает возможность определения основных вероятностно-временных характеристик канала: среднее значение и дисперсию времени доставки фрагментов, а также вероятность доставки за заданное время. Разработанная модель учитывает возможность управления шириной окна и длительностью тайм-аута, параметрами, влияющими на эффективный обмен. На основании разработанных моделей определения основных вероятностно-временных характеристик проведена сравнительная оценка различных методов передачи. Доказано, что для уменьшения времени доставки целесообразно разделение передаваемого сообщения на фрагменты.

Определена необходимость применения мультимаршрутной передачи.

Показана полезность такой передачи для повышения скорости, уменьшения времени доставки, повышения надежности и живучести системы передачи, уменьшения вероятности ошибки.

Обоснованы условия, при которых ввод нового дополнительного канала дает положительный результат по скорости передачи информации.

Список литературы

1. Раскин Л.Г. Анализ сложных систем и элементы теории оптимального управления / Л.Г. Раскин. – М.: Сов. радио, 1976. – 344 с.
2. Лосев Ю.И. Адаптивная компенсация помех в каналах связи / Ю.И. Лосев, А.Г. Бердников, Э.Ш. Гойхман. – М.: Радио и связь, 1988. – 209 с.
3. Queueing networks and Markov chains: modeling and performance evaluation with computer science approach 2nd ed. / G. Bolch, S. Greiner, H. De Meer, K. Trivedi. – Wiley-Interscience, 2006. – 869 p.
4. Филлипс Д. Методы анализа сетей: пер. с англ. / Д. Филлипс, А. Гарсиа-Диас. – М.: Мир, 1984. – 496 с.
5. Шварц М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ: пер. с англ.; в 2 ч. / М. Шварц. – М.: Наука, Гл. ред. физмат. лит., 1992. – Ч. 1. – 336 с.
6. Крылов В.В. Теория телетрафика и ее приложения / В.В. Крылов, С.С. Самохвалова. – СПб.: БХВ-Санкт-Петербург, 2005. – 288 с.
7. Берсекас Д. Сети передачи данных / Д. Берсекас, Р. Галлагер. – М.: Мир, 1989. – 544 с.
8. Лосев Ю.И. Математическая модель процесса информационного обмена при многопутевой передаче / Ю.И. Лосев, К.М. Руккас, С.И. Шматков Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НіУ, 2010. – Вип. 1. (13). – С. 205-209.

Поступила в редколлегию 20.05.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.С. Сорока, Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков.

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ОДНОМАРШРУТНОГО ТА МУЛЬТИМАРШРУТНОГО МЕТОДІВ ПЕРЕДАЧІ ПОВІДОМЛЕНЬ

Ю.І. Лосев, С.І. Шматков, К.М. Руккас, В.С. Щебенюк

У статті проведено порівняльний аналіз одномаршрутного та мультимаршрутного методів передачі інформації в сучасних комп'ютерних мережах. В якості показника ефективності використовувався час доставки повідомлення. На підставі проведеного порівняльного аналізу визначені необхідні умови використання ямультимаршрутної передачі повідомлень.

Ключові слова: мультимаршрутна передача, комп'ютерні мережі, ефективність передачі повідомлень.

COMPARATIVE EVALUATION OF EFFICIENCY UNICAST AND MULTICAST COMMUNICATION METHODS

U.I. Losev, S.I. SHmatkov, K.M. Rukkas, V.S. Scshebeniuk

The article provides a comparative analysis unicast and multicast transmission techniques in modern computer networks. As an indicator of efficiency, we use message delivery time. On the basis of comparative analysis, the necessary conditions for the use multicast messaging

Keywords: multicast transmission, computer networks, effective communication.