

УДК 004.75

С.И. Шматков

Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков

МЕТОД ОЦЕНКИ ВРЕМЕНИ ДОСТАВКИ СООБЩЕНИЯ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ

В статье разработан метод оценки важных вероятностно-временных характеристик, обеспечивающих заданное качество обслуживания – времени доставки сообщения и его дисперсии. Метод построен на основе аппарата производящих функций и вероятностно-временных графов. Для формального представления графов используются структуры семантико-числовой спецификации.

Ключевые слова: качество обслуживания, вероятностно-временные графы, семантико-числовая спецификация.

Актуальность статьи

Необходимость во множественном доступе к разделяемым вычислительным ресурсам обусловила создание распределенных систем, которые должны не только предоставлять пользователю необходимые услуги, но и обеспечивать выполнение требований по характеристикам доставки сообщений – «качество обслуживания» (Quality of Service, QoS) [1]. Задача построения концепции QoS сводится к установлению взаимосвязи требований пользователей и тех свойств объекта, которые, с одной стороны, могут быть выражены известным способом, а с другой – могут подвергаться изменениям для достижения указанных требований. В контексте взаимодействия открытых систем можно определить группы характеристик, привязав их к специфике многоуровневого взаимодействия. В результате можно прийти к следующей классификации [2]:

- временные характеристики – задержки, время появления и продолжительность выполнения процессов передачи и обработки информации;

- характеристики производительности – загруженность оборудования, скорость передачи, алгоритмы обработки информации и т. д.;

- характеристики связности – временная, пространственная и протокольная согласованность передачи, приема и обработки информации;

- характеристики целостности – устойчивость, достоверность, а также точность передачи и обработки информации;

- характеристики сохранности – объем, продолжительность и способ хранения информации;

- характеристики безопасности – различные аспекты защиты информации, управления доступом, аутентификации;

- характеристики надежности – устойчивость к неисправностям, время восстановления и т. д.

Путем управления сетевыми ресурсами необходимо обеспечить выполнение требований по указанным характеристикам для каждого канала.

В [2] показано, что важнейшей группой являются временные характеристики, в частности, среднее значение и дисперсия времени доставки сообщения в информационном канале. В статье предлагается метод их оценки.

Результаты исследования

Поскольку в большинстве применяемых протоколов используется обратная связь, рассмотрим процесс передачи и приема данных в системах с обратной связью. Отправитель выдает в сеть пакет данных. Время передачи пакета выражается через его длину ($nк$), ширину окна (W_0) и скорость модуляции ($Вк$) $T_{П} = (W_0 \cdot nк) / Вк$. Проверку принятых пакетов на наличие ошибок осуществляет получатель. При этом проверяется контрольная сумма, по результатам вычисления которой пакеты данных в передаваемом окне могут не содержать ошибок (с вероятностью $P_{пр1}$), иметь обнаруженные $P_{оо1}$ или необнаруженные ошибки $P_{но1}$. Пакеты могут быть при передаче потеряны с вероятностью потери $P_{пот1}$. Если пакеты приняты без ошибок или с необнаруженной ошибкой на него выдается квитанция. Вероятность правильной доставки квитанции обозначим $P_{КВ}$, а время доставки квитанции – $T_{КВ}$. В случае безошибочной доставки квитанции процесс передачи пакетов завершается, данные приняты правильно. При неполучении квитанции по истечении времени тайм-аута $T_{ТА}$ отправитель осуществляет повторную передачу пакетов данных. При обнаружении ошибки в пакете, квитанция на него не выдается и через время тайм-аута $T_{ТА}$ отправитель повторно передает неподтвержденный пакет. В случае принятия пакета с необнаруженными ошибками и безошибочной доставкой квитанции процесс передачи пакета завершается, данные приняты с ошибкой.

В рамках аппарата производящих функций можно построить вероятностно-временной граф

(ВВГ), описувавший с необходимой детализацией анализируемый процесс[2]. При этом каждая дуга ВВГ характеризуется вероятностью ее выбора P и временем перехода t, вид дуги f(P, t) должен быть таким, чтобы при нахождении произведений функций вероятности умножались, а время суммировалось. Такая функция имеет вид

$$f(P, t) = P \cdot Z^t,$$

где Z – параметр. Производящая функция F(Z), соответствующая ВВГ, является суммой функций всех путей, соединяющих начальную и конечные вершины графа. Для ее получения исходный ВВГ подвергают последовательным эквивалентным преобразованиям, которые обычно проводят до тех пор, пока не будет получена функция, характеризующая

переход из начального в конечные состояния. Из полученной производящей функции можно найти среднее время выполнения исследуемого процесса по формуле

$$T_{cp} = \left. \frac{dF(z)}{dz} \right|_{z=1}.$$

Вероятностно-временной граф, описывающий процесс передачи пакета в системах с обратной связью, имеет вид, представленный на рис. 1.

На ВВГ обозначено P_C и T_C – соответственно вероятность синхронной работы и время синхронизации. Эти характеристики могут быть получены с использованием методов, разработанных в [2].

Эквивалентные преобразования и конечный ВВГ представлены на рис. 2.

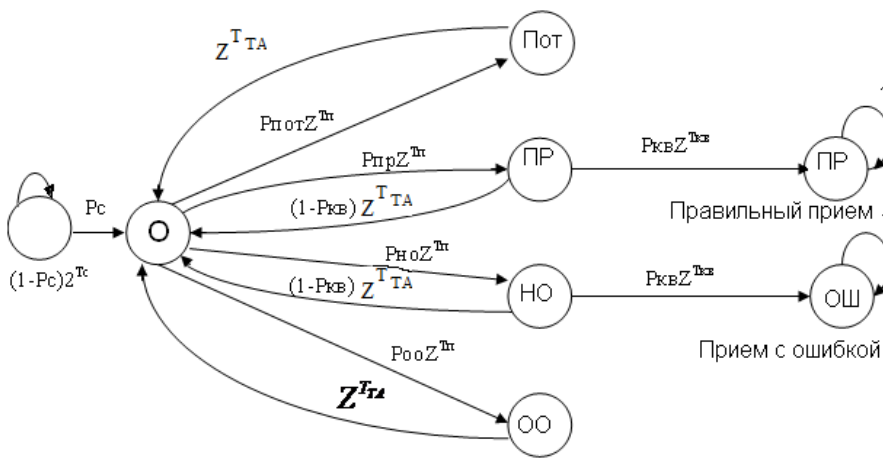


Рис. 1. ВВГ процесса передачи пакета в системах с обратной связью

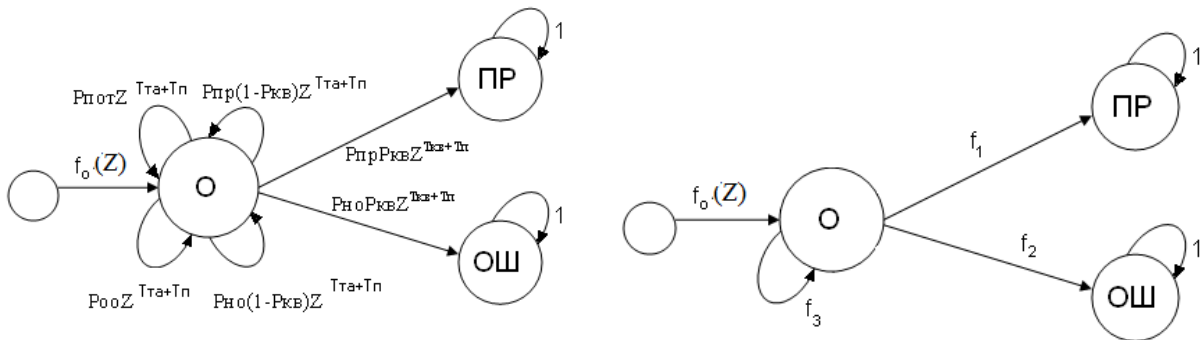


Рис. 2. Эквивалентные преобразования ВВГ

Дуги для конечного ВВГ будут характеризоваться следующим выражениями:

$$\begin{aligned} f_1 &= P_{пр1} \cdot P_{кв} \cdot Z^{W_0 \cdot T_{п1} + T_{кв}}; \\ f_2 &= P_{но1} \cdot P_{кв} \cdot Z^{W_0 \cdot T_{п1} + T_{кв}}; \\ f_3 &= P_{пот1} \cdot Z^{W_0 \cdot T_{п1} + T_{кв}} + P_{пр1}(1 - P_{кв})Z^{W_0 T_{п1} + T_{ТА}} + \\ &+ P_{оо1}Z^{W_0 T_{п1} + T_{ТА}} = Z^{W_0 T_{п1} + T_{ТА}} (P_{пот1} + P_{пр1} - \\ &- P_{пр1} \cdot P_{кв} + P_{но1} - P_{но1} \cdot P_{кв} + P_{оо1}). \end{aligned}$$

Поскольку вероятности P_{пот1}, P_{пр1}, P_{но1} и P_{оо1} описывают полную группу событий, то

$$f_3 = Z^{W_0 \cdot T_{п1} + T_{ТА}} [1 - P_{кв} (P_{пр1} + P_{но1})].$$

Производящая функция, представляющая математическую модель процесса управления информационным каналом, примет вид:

$$\begin{aligned} F(Z) &= f_0 \cdot \frac{f_1 + f_2}{1 - f_3} = \\ &= \frac{P_{кв} Z^{W_0 T_{п1} + T_{ТА}} (P_{пр1} + P_{но1})}{1 - Z^{W_0 T_{п1} + T_{ТА}} [1 - P_{кв} (P_{пр1} + P_{но1})]} f_0. \end{aligned}$$

Приведенное выше описание метода ориентировано на работу пользователя в ручном режиме и

визуально иллюстрирует использование вероятностно-временных графов для определения требуемых характеристик сети.

Для целей обеспечения автоматизации решения данной задачи и компьютерного представления данных в [3] предложено использовать аппарат структур семантико-числовой спецификации (СЧС).

При формальной семантико-числовой спецификации вероятностно-временной граф представляется в формате Сопряжено-Внешних Множеств (СВМ) с помощью двух структур данных: Базовой структуры состояний ВФВ и Структура связей состояний СФВ.

Структура ВФВ включает следующие массивы данных:

$VFB = (NB, TYPB, NSJB, SJDB, NWJB, WJDB, RESB)$,

где NB – номер вершины графа;

TYPB – тип вершины графа (1 – начальная, 0 – промежуточная, 2 – конечная);

NSJB – указатель на начало цепочки номеров вершин графа, образующих сопряженное множество конкретной вершины;

SJDB – мощность сопряженного множества для вершины;

NWJB – указатель на начало цепочки номеров вершин графа, образующих внешнее множество вершины;

WJDB – мощность внешнего множества для вершины;

RESB – имя вершины вероятностно-временного графа.

Структура СФВ включает следующие массивы данных:

$CFB = (NNB, JSDB, SPJDB, PSJD, TSJD, JWDB, WPJDB, PWJD, TWJD)$,

где NNB – номер связи по вероятности и времени перехода между вершинами вероятностно-временного графа;

JSDB – указатель на продолжение цепочки номеров вершин графа, образующих сопряженное множество вершины для рассматриваемой вершины;

SPJDB – сопряженное множество вершины для рассматриваемой вершины;

PSJD – вероятность перехода из рассматриваемой вершины в ее сопряженную вершину;

TSJD – время перехода из рассматриваемой вершины в ее сопряженную вершину;

JWDB – указатель на продолжение цепочки номеров вершин графа, образующих внешнее множество W вершины для рассматриваемой вершины;

WPJDB – внешнее множество вершины;

PWJD – вероятность перехода из рассматриваемой вершины в ее внешнюю вершину;

TWJD – время перехода из рассматриваемой вершины в ее внешнюю вершину.

Учитывая вышесказанное, вероятностно-временной граф, изображенный на рис. 1, с помощью семантико-числовой спецификации можно представить в следующем виде (табл. 1, табл. 2).

СЧС эквивалентного преобразованного графа, изображенного на рис. 2, приведены в табл. 3, 4.

Таблица 1

Базовая структура (ВФВ) ВВГ процесса передачи кадра

N	TYPB	NSJB	SJDB	NWJB	WJDB	RESB
0	1	0	1	0	2	Н
1	0	1	5	2	4	О
2	0	6	1	6	1	Пот
3	0	7	1	7	2	Пр
4	0	8	1	9	2	НО
5	0	9	1	11	1	ОО
6	2	10	2	12	1	Пр
7	2	12	2	13	1	ОШ

Таблица 2

Структура связей (СФВ) процесса передачи кадра

NNB	SJDB	SPJDB	PSJD	TSJD	JWDB	WPJDB	PWJD	TWJD
0	-1	0	$(1-P_c)2T_c$	0	1	0	$(1-P_c)2T_c$	0
1	2	0	P_c	0	-1	1	$1-P_c$	0
2	3	2	1	$ZT_{та}$	3	2	$P_{пот}$	$ZT_{п}$
3	4	3	$1-P_{кв}$	$ZT_{та}$	4	3	$P_{пр}$	$ZT_{п}$
4	5	4	$1-P_{кв}$	$ZT_{та}$	5	4	$P_{но}$	$ZT_{п}$
5	-1	5	1	$ZT_{та}$	-1	5	$P_{оо}$	$ZT_{п}$
6	-1	1	$P_{пот}$	$ZT_{п}$	-1	1	1	$ZT_{та}$
7	-1	1	$P_{пр}$	$ZT_{п}$	8	1	$1-P_{кв}$	$ZT_{та}$
8	-1	1	$P_{но}$	$ZT_{п}$	-1	6	$P_{кв}$	$ZT_{кв}$
9	-1	1	$P_{оо}$	$ZT_{п}$	8	1	$1-P_{кв}$	$ZT_{та}$
10	11	3	$P_{кв}$	$ZT_{кв}$	-1	7	$P_{кв}$	$ZT_{кв}$
11	-1	6	1	0	-1	1	1	$ZT_{та}$
12	13	4	$P_{кв}$	$ZT_{кв}$	-1	6	1	0
13	-1	7	1	0	-1	7	1	0

Структура зв'язей (CFB)

NNB	SJDB	SPJDB	FSJD	JWDB	WPJDB	FWJD
0	1	0	f0(z)	-1	1	f0(z)
1	-1	1	f3	2	1	f3
2	3	1	f1	3	2	f1
3	-1	2	1	-1	3	f2
4	4	1	f2	-1	2	1
5	-1	3	1	-1	3	1

Таблиця 4

Базова структура (BFB) BBI

NB	TYPB	NSJB	SJDB	NWJB	WJDB	RESB
0	1	-1	0	0	1	H
1	0	0	2	1	3	O
2	2	2	2	4	1	ПР
3	2	4	2	5	1	ОШ

Используя данное представление, можно найти производящую функцию F(z), а затем определить среднее время процесса передачи пакета в информационном канале

$$T_{cp} = \left. \frac{dF(z)}{dz} \right|_{z=1} = \frac{1-P_c}{P_c} T_c + W_0 \cdot T_{\Pi} + T_{KB} + \frac{(T_{TA} + W_0 \cdot T_{\Pi}) [1 - P_{KB} (P_{pr1} + P_{no1})]}{P_{KB} (P_{pr1} + P_{no1})} + \frac{1-P_c}{P_c} T_c.$$

Дисперсия относительного времени доставки пакета при W₀ = 1 определяется по формуле:

$$D_{\frac{T_{cp}}{T_{\Pi}}} = \left. \frac{d^2 F_1(Z)}{dZ^2} \right|_{z=1} + \left. \frac{dF_1(Z)}{dZ} \right|_{z=1} - \left(\left. \frac{dF_1(Z)}{dZ} \right|_{z=1} \right)^2$$

или при P_C = 1

$$D_{\frac{T_{cp}}{T_{\Pi}}} = \left. \frac{d^2 F_1(Z)}{dZ^2} \right|_{z=1} + \frac{T_{cp}}{T_{\Pi}} - \left(\frac{T_{cp}}{T_{\Pi}} \right)^2 = \frac{(T_{TA} + T_{\Pi})^2 \cdot (1 - P_{KB} (P_{pr} + P_{no}))}{T_{\Pi}^2 \cdot (P_{KB} (P_{pr} + P_{no}))^2}.$$

МЕТОД ОЦІНКИ ЧАСУ ДОСТАВКИ ПОВІДОМЛЕННЯ В КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ

С.І. Шматков

У статті розроблено метод оцінки ймовірнісно-часових характеристик, що забезпечують задану якість обслуговування – часу доставки повідомлення та його дисперсії. Метод побудовано на основі апарату виробляючих функцій та ймовірнісно-часових графів. Для формального представлення графів використовуються структури семантико-числової специфікації.

Ключові слова: якість обслуговування ймовірнісно-часові графи, семантико-числова специфікація.

THE METHOD OF EVALUATION TIME DELIVERY MESSAGE INTO COMPUTER NETWORKS

S.I. Shmatkov

In this paper are developed a method for evaluation of probabilistic-time characteristics that provide a specified quality of service - delivery time message and its variance. The method is based on generating functions apparatus and probabilistic-time graphs. Using semantic numerical specification patterns for a formal presentation of graphs.

Keywords: quality of service, probabilistic-time graphs, semantic numerical specification.

Выводы

В статье разработан метод оценки важных вероятностно-временных характеристик функционирования компьютерных сетей – среднего времени доставки сообщения и его дисперсии. Метод построен на основе вероятностно-временных графов и аппарата производящих функций. С целью обеспечения автоматизации решения данной задачи и компьютерного представления данных для формального представления вероятностно-временных графов предложено и обосновано использование аппарата структур семантико-числовой спецификации. Получены представления этих структур для конкретного графа, а также математические соотношения для искомых характеристик. Направление дальнейших исследований связано с использованием разработанного метода для анализа различных компьютерных сетей.

Список литературы

1. Вегейна Ш. Качество обслуживания в сетях IP / Ш. Вегейна; пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 386 с.
2. Лосев Ю.И. Методы и модели обмена информацией в распределенных адаптивных вычислительных сетях с временной параметризацией параллельных процессов: монография / Ю.И. Лосев, С.И. Шматков, К.М. Рукас. – Х.: ХНУ имени В.Н. Каразина, 2011. – 204 с.
3. Шматков С.И. Формальное представление вероятностно-временных графов анализа протоколов компьютерных сетей с помощью семантико-числовой спецификации / С.И. Шматков // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 2(109). – С. 239-241.

Поступила в редколлегию 27.06.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.В. Рубан, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.