

УДК 004.75

С.И. Шматков

*Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков*

## МЕТОД ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ДОСТАВКИ СООБЩЕНИЯ ЗА ЗАДАННОЕ ВРЕМЯ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ

*В статье разработан метод оценки важной вероятностно-временной характеристики, обеспечивающей выполнение ограничений (требований) пользователей по времени решения задач – вероятности доставки сообщения за заданное время. Метод построен на основе аппарата производящих функций и вероятностно-временных графов. Для формального представления графов используются структуры семантико-числовой спецификации.*

**Ключевые слова:** компьютерные сети, требования пользователей, вероятностно-временные графы, семантико-числовая спецификация.

### Введение

**Актуальность статьи.** Необходимость во множественном доступе к разделяемым вычислительным ресурсам обусловила создание распределенных компьютерных систем, которые должны не только предоставлять пользователю необходимые вычислительные услуги, но и обеспечивать выполнение его требований. В качестве характеристик, определяющих такие требования, могут фигурировать ограничения на доступный задачам ресурс в виде величины или стоимости ресурса, а могут требования к времени решения задач [1]. В последнем случае важнейшей вероятностно-временной характеристикой является вероятность доставки сообщения за заданное время. В статье предлагается метод ее оценки.

### Результаты исследования

Поскольку в большинстве применяемых протоколов компьютерных сетей используется обратная

связь, рассмотрим процесс передачи и приема данных в системах с обратной связью. В этом случае при введении ограничения на заданное время доставки сообщения ( $T_{\text{зад}}$ ) ограничивается число возможных повторов передачи пакета ( $\gamma$ ).

Как было показано в [2] в рамках аппарата производящих функций можно построить вероятностно-временной граф (ВВГ), описывающий с необходимой детализацией анализируемый процесс. ВВГ, описывающий процесс информационного обмена в этом случае, будет иметь вид, представленный на рис. 1. На этом рисунке введены следующие обозначения:  $P_{\text{пр}}$  – вероятность правильной передачи пакета;  $P_{\text{оо}}$  – вероятность обнаружения ошибки в пакете;  $P_{\text{но}}$  – вероятность необнаружения ошибки в пакете;  $P_{\text{пот}}$  – вероятность потери пакета при передаче;  $P_{\text{кв}}$  – вероятность правильной доставки квитанции;  $T_{\text{кв}}$  – время доставки квитанции.

Путем эквивалентных преобразований этот ВВГ приводится к виду, изображенному на рис. 2.

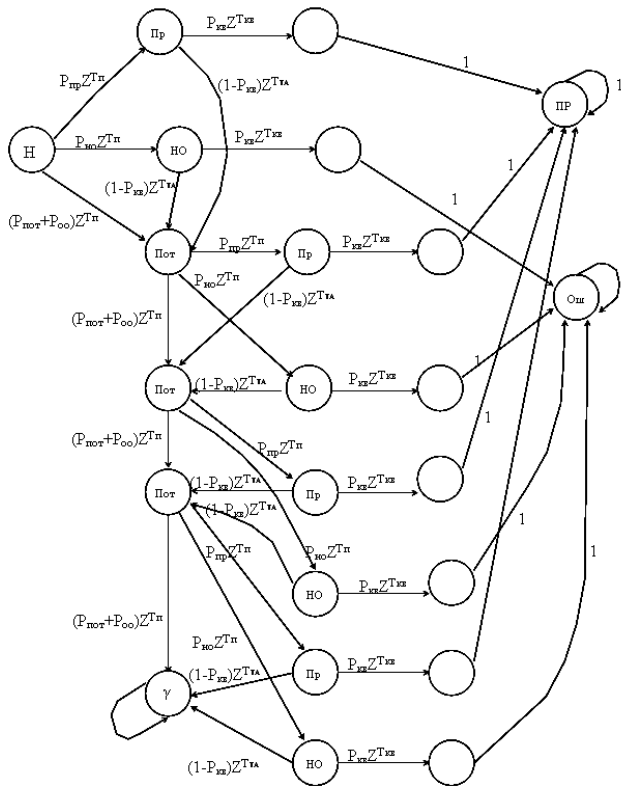


Рис. 1. Начальный ВВГ

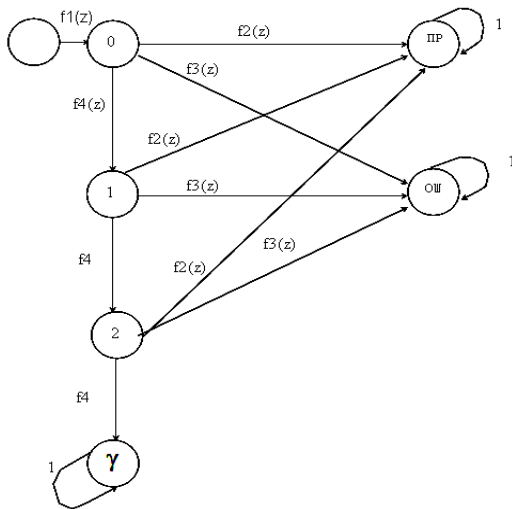


Рис. 2. Преобразованный ВВГ

На рис. 2 обозначено:

$$f1(z) = \frac{P_c}{1 - (1 - P_c)Z^{T_c}};$$

$$f2(z) = P_{np} \cdot P_{kv} \cdot Z^{T_{np}+T_{kv}};$$

$$f3(z) = P_{no} \cdot P_{kv} \cdot Z^{T_{np}+T_{kv}};$$

$$f4(z) = (P_{np} + P_{no}) \cdot (1 - P_{kv}) \cdot Z^{T_{np}+T_{kv}} +$$

$$+ (P_{nom} + P_{oo}) \cdot Z^{T_{np}+T_{kv}} =$$

$$= (1 - P_{kv}) \cdot (P_{np} + P_{no}) \cdot Z^{T_{np}+T_{kv}}.$$

Здесь  $T_{np}$ ,  $P_c$  и  $T_c$  – соответственно время передачи пакета, вероятность синхронной работы и время синхронизации. Эти характеристики могут быть получены с использованием методов, разработанных в [2].

Граф, представленный на рис. 2, приведен к виду, представленному на рис. 3.

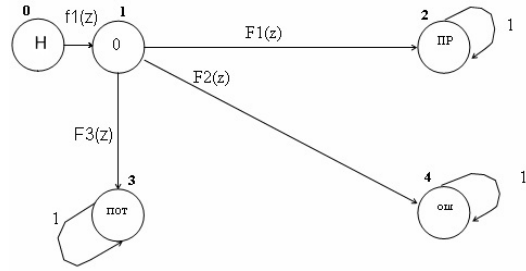


Рис. 3. Конечный ВВГ

Производящая функция этого графа имеет вид:

$$F(z) = f1(z) \cdot [F_1(z) + F_2(z) + F_3(z) + F_4(z)], \quad (1)$$

где  $F_1(z) = f2(z) \cdot \frac{1 - (f4(z))^{\gamma+1}}{1 - f4(z)}$ ;

$$F_2(z) = f3(z) \cdot \frac{1 - (f4(z))^{\gamma+1}}{1 - f4(z)}$$
;

$$F_3(z) = (f4(z))^{\gamma};$$

$$F_4(z) = P_{nom2} \cdot Z^{T_{n}} \cdot \frac{1 - (f4(z))^{\gamma+1}}{1 - f4(z)}.$$

Для целей обеспечения компьютерного представления данных, как это было показано в [3], используем аппарат структур семантико-числовой спецификации (СЧС). При формальной семантико-числовой спецификации вероятностно-временной граф представляется в формате Сопряженно-Внешних Множеств (СВМ) с помощью двух структур данных: Базовой структуры состояний ВФВ и Структура связей состояний СФВ.

Структура ВФВ включает следующие массивы данных:

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

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:

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

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 вер-

шины 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.

Тогда вероятностно-временной граф, изображенный на рис. 1, можно представить в следующем виде (табл. 1, 2), а ВВГ, изображенный на рис. 3 – в виде табл. 3, 4.

Таблица 1

Базовая структура (BFB) ВВГ

NB	ТУРВ	NSJB	SJDB	NWJB	WJDB	RESB
0	1	-1	0	0	3	H
1	0	0	1	3	2	Пр
2	0	1	1	5	2	НО
3	0	2	3	7	3	Пот
4	2	5	5	10	1	Пр
5	0	10	1	11	2	Пр
6	0	11	3	13	3	Пот
7	0	14	1	16	2	НО
8	2	15	5	18	1	Ош
9	0	20	3	19	3	Пот
10	0	23	1	22	2	Пр
11	0	24	1	24	2	НО
12	0	25	1	26	2	Пр
13	2	26	4	28	1	$\gamma$
14	0	30	1	29	2	НО

Таблица 2

Структура связей (CFB)

NNB	SJDB	SPJDB	PSJD	TSJD	JWDB	WPJDB	PWJD	TWJD
0	-1	0	$P_{\text{пр}}$	$Z^{\text{пр}}$	1	1	$P_{\text{пр}}$	$Z^{\text{пр}}$
1	-1	0	$P_{\text{НО}}$	$Z^{\text{НО}}$	2	2	$P_{\text{НО}}$	$Z^{\text{НО}}$
2	3	0	$P_{\text{пот}}+P_{\text{оо}}$	$Z^{\text{пот}}$	-1	3	$P_{\text{пот}}+P_{\text{оо}}$	$Z^{\text{пот}}$
3	4	1	$1-P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{та}}$	4	3	$1-P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{та}}$
4	-1	2	$1-P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{та}}$	-1	4	$P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{кв}}$
5	6	1	$P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{кв}}$	6	3	$1-P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{та}}$
6	7	4	1	0	-1	8	$P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{кв}}$
7	8	5	$P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{кв}}$	8	5	$P_{\text{пр}}$	$Z^{\text{пр}}$
8	9	10	$P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{кв}}$	9	6	$P_{\text{пот}}+P_{\text{оо}}$	$Z^{\text{пот}}$
9	-1	12	$P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{кв}}$	-1	7	$P_{\text{НО}}$	$Z^{\text{НО}}$
10	-1	3	$P_{\text{пр}}$	$Z^{\text{пр}}$	-1	4	1	0
11	12	3	$P_{\text{пот}}+P_{\text{оо}}$	$Z^{\text{пот}}$	12	4	$P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{кв}}$
12	13	5	$1-P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{та}}$	-1	6	$1-P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{та}}$
13	-1	7	$1-P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{та}}$	14	9	$P_{\text{пот}}+P_{\text{оо}}$	$Z^{\text{пот}}$
14	-1	3	$P_{\text{НО}}$	$Z^{\text{НО}}$	15	10	$P_{\text{пр}}$	$Z^{\text{пр}}$
15	16	2	$P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{кв}}$	-1	11	$P_{\text{НО}}$	$Z^{\text{НО}}$
16	17	7	$P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{кв}}$	17	6	$1-P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{та}}$
17	18	8	1	0	-1	8	$P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{кв}}$
18	19	11	$P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{кв}}$	-1	8	1	0
19	-1	14	$P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{кв}}$	20	12	$P_{\text{пр}}$	$Z^{\text{пр}}$
20	21	6	$P_{\text{пот}}+P_{\text{оо}}$	$Z^{\text{пот}}$	21	13	$P_{\text{пот}}+P_{\text{оо}}$	$Z^{\text{пот}}$
21	22	10	$1-P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{та}}$	-1	14	$P_{\text{НО}}$	$Z^{\text{НО}}$
22	-1	11	$1-P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{та}}$	23	4	$P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{кв}}$
23	-1	6	$P_{\text{пр}}$	$Z^{\text{пр}}$	-1	9	$1-P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{та}}$
24	-1	6	$P_{\text{НО}}$	$Z^{\text{НО}}$	25	8	$P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{кв}}$
25	-1	9	$P_{\text{пр}}$	$Z^{\text{пр}}$	-1	9	$1-P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{та}}$
26	27	9	$P_{\text{пот}}+P_{\text{оо}}$	$Z^{\text{пот}}$	27	4	$P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{кв}}$
27	28	12	$1-P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{та}}$	-1	13	$1-P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{та}}$
28	29	13	1	0	-1	13	1	0
29	-1	14	$1-P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{та}}$	30	8	$P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{кв}}$
30	-1	9	$P_{\text{НО}}$	$Z^{\text{НО}}$	-1	13	$1-P_{\text{кв}}$	$Z^{\text{та}}$

Таблица 3  
Базовая структура (BFB) ВВГ

NB	ТУРВ	NSJB	SJDB	NWJB	WJDB	RESB
0	1	-1	0	0	1	Н
1	0	0	1	1	3	0
2	2	1	2	4	1	Пр
3	2	3	2	5	1	Пот
4	2	5	2	6	1	ОШ

Таблица 4  
Структура связей (CFB)

NNB	SJDB	SPJDB	FSJD	JWDB	WPJDB	FWJD
0	-1	0	$f_1(z)$	-1	1	$f_1(z)$
1	2	1	$F_1(z)$	2	2	$F_1(z)$
2	-1	2	1	3	3	$F_3(z)$
3	4	1	$F_3(z)$	-1	4	$F_2(z)$
4	-1	3	1	-1	2	1
5	6	1	$F_2(z)$	-1	3	1
6	-1	4	1	-1	4	1

Теперь, используя специфицированные данные, по аналогии с [3], можно определить производящую функцию ВВГ, а затем и основные характеристики информационного канала.

Среднее время передачи сообщения равно

$$T_{cp} = \frac{dF(z)}{dz} \Big|_{z=1}. \quad (2)$$

Вероятность доставки сообщения равна

$$P_{дост} = F_1(z) \Big|_{z=1} + F_2(z) \Big|_{z=1}. \quad (3)$$

В выражении (2) величина  $T_{cp}$  является заданным (допустимым) временем доставки. В результате в полученном выражении неизвестно только  $\gamma$ , которое необходимо определить. В соответствии с вычисленным значением  $\gamma$  по (3) определяется вероятность доставки (вероятность доставки за допустимое (заданное) время).

## МЕТОД ОЦІНКИ ЙМОВІРНОСТІ ДОСТАВКИ ПОВІДОМЛЕННЯ ЗА ЗАДАНИЙ ЧАС В КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ

С.І. Шматков

У статті розроблено метод оцінки важливої ймовірнісно-часової характеристики, що забезпечує виконання обмежень (вимог) користувачів за часом вирішення задач – ймовірності доставки повідомлення за заданий час. Метод побудовано на основі апарату виробляючих функцій та ймовірнісно-часових графів. Для формального представлення графів використовуються структури семантико-числової специфікації.

**Ключові слова:** комп'ютерні мережі, вимоги користувачів, ймовірнісно-часові графи, семантико-числова специфікація.

## A METHOD OF ESTIMATING THE PROBABILITY OF MESSAGE DELIVERY IN THE SPECIFIED TIME INTO COMPUTER NETWORKS

S.I. Shmatkov

In this paper are developed a method for evaluation of important probabilistic-time characteristic of ensuring fulfillment of constraints (requirements) of users by solving problems time – the probability of message delivery in the specified time. The method is based on generating functions apparatus and probabilistic-time graphs. Using semantic numerical specification patterns for a formal presentation of graphs.

**Keywords:** computer networks, users requirements, probabilistic-time graphs, semantic numerical specification.

## Выводы

В статье разработан метод оценки важной вероятностно-временной характеристики функционирования компьютерных сетей, обеспечивающей выполнение ограничений (требований) пользователей по времени решения задач – вероятности доставки сообщения за заданное время. 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 используется аппарат структур семантико-числовой спецификации. Получены представление этих структур для конкретного графа. Направление дальнейших исследований связано с использованием разработанного метода для анализа различных компьютерных сетей.

## Список литературы

1. Синтез и анализ параллельных процессов в адаптивных времяпараметризованных вычислительных системах / А.Г. Поляков, С.И. Шматков, Е.Г. Толстолужская, Д.А. Толстолужский: моногр. – Х.: ХНУ имени В.Н. Каразина, 2012. – 670 с.
2. Лосев Ю.И. Методы и модели обмена информацией в распределенных адаптивных вычислительных сетях с временной параметризацией параллельных процессов / Ю.И. Лосев, С.И. Шматков, К.М. Руккас: моногр. – 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 3.07.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Н.В. Ткачук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков.