

УДК 004.75

С.И. Шматков

Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков

МОДЕЛИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОТЕРЯННЫХ И ИСКАЖЕННЫХ СООБЩЕНИЙ ПРИ МУЛЬТИМАРШРУТНОЙ ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ

В статье разработаны модели управления мультимаршрутным потоком данных при восстановлении потерянных и искаженных сообщений. Модели построены на основе использования вероятностно-временных графов и аппарата производящих функций. В качестве средств формального представления предложено использовать структуры семантико-числовой спецификации. Разработанные модели позволяют обосновано выбирать наиболее эффективный вариант информационного обмена при мультимаршрутной передаче.

Ключевые слова: компьютерные сети, мультимаршрутная передача, вероятностно-временные графы, семантико-числовая спецификация.

Актуальность статьи

Современные информационные технологии, как правило, предполагают передачу трафика по одному заранее определенному маршруту. Такая передача часто приводит к возникновению перегрузок и блокировке сети, так как попытки выбора рационального пути перегружают отдельные ее участки, оставляя другие недогруженными. При этом усложняется задача обеспечения доставки сообщения за требуемое время с заданным качеством. Одним из путей решения рассматриваемой задачи является организация обмена информацией на основе моделей мультимаршрутной передачи данных. Использование этого принципа дает возможность адаптации к изменяющимся условиям обработки и передачи, динамической реконфигурации сети и распределению трафика с целью повышения эффективности использования имеющихся ресурсов.

В настоящее время вопросам организации передачи информации от одного пользователя к другому одновременно по нескольким маршрутам уделяется мало внимания. В основном работы по обеспечению такой передачи ведутся в направлении решения достаточно сложной проблемы маршрутизации. Однако не менее сложной и важной является проблема управления трафиком в этих условиях [1]. Для ее решения необходимо провести работы в ряде направлений. Одним из этих направлений является разработка математической модели процесса восстановления потерянных и искаженных сообщений при мультимаршрутной передаче данных.

Результаты исследования

При использовании тракта, обеспечивающего мультимаршрутную передачу, возникает ряд особенностей [2]. Такими особенностями являются не-

обходимость разделения сообщений на кадры, распределение их по каналам с последующей сборкой на приемной стороне. В этом случае возможны два варианта восстановления потерянных и искаженных кадров. Первый вариант предполагает при потере кадра или обнаружении в нем ошибки организовать его повторение в каждом канале отдельно. В этом случае каналы тракта функционируют независимо друг от друга. При втором варианте при обнаружении ошибки или потере кадра каким-либо каналом кадр повторяется по всем каналам.

Как показано в [3], при разработке математических моделей, описывающих последовательно выполняемые операции, плодотворным является подход, основанный на вероятностно-временных графах (ВВГ) и аппарате производящих функций. В этом случае в результате последовательного выполнения этапов вероятности перемножаются, а время их выполнения суммируется. Следовательно, при разработке модели информационного обмена при мультимаршрутной передаче можно использовать ВВГ, в которых дуга, характеризующая процесс передачи одного кадра учитывает как время, так и вероятность выполнения операции. Дуги, учитывающие процесс передачи отдельных кадров, характеризуются только вероятностью выполнения этапа. Тогда вероятностно-временной граф для первого варианта организации обратной связи будет иметь вид, изображенный на рис. 1, где $P_{прi}$ – вероятность правильного приема кадра по i -му каналу; $P_{ооi}$ – вероятность обнаружения ошибки в кадре, передаваемом по i -му каналу; $P_{помi}$ – вероятность потери кадра передаваемого по i -му каналу; $P_{ноi}$ – вероятность необнаружения ошибки в кадре, передаваемом по i -му каналу.

Для формализованного представления вероятностно-временного графа, как показано в [4], целе-

сообразно использовать структуры семантико-числовой спецификации (СЧС). При формальной семантико-числовой спецификации вероятностно-временной граф может быть представлен в формате Сопряженно-Внешних Множеств (СВМ) с помощью двух структур данных: Базовой структуры состояний BF и Структуры связей состояний CF.

Тогда, СЧС, соответствующая ВВГ, изображенному на рис. 1, приведена в табл. 1, 2.

Таблица 1

Базовая структура (BF) ВВГ, описывающего функционирование М-канального тракта

N	TYP	NSJ	SJD	NWJ	WJD	RES
0	1	0	3	0	1	H
1	0	3	1	1	3	1
2	0	4	1	4	3	2
3	0	5	1	7	3	3
4	2	6	2	10	1	M
5	2	8	2	11	1	ОШ
6	2	10	2	12	1	ОШ
7	2	12	2	13	1	ОШ

Таблица 2

Структура связей (CF) ВВГ, описывающего функционирование М-канального тракта

NN	SJD	SPJD	PSJD	TSJD	JWD	WPJD	PWJD	TWJD
0	1	1	$P_{оо1}+P_{пот1}$	$ZT_{та}$	-1	1	1	Zn/M
1	2	2	$P_{оо2}+P_{пот2}$	$ZT_{та}$	2	0	$P_{оо1}+P_{пот1}$	$ZT_{та}$
2	-1	3	$P_{оо3}+P_{пот3}$	$ZT_{та}$	3	2	$P_{пр1}$	0
3	-1	0	1	Zn/M	-1	5	$P_{но1}$	0
4	-1	1	$P_{пр1}$	0	5	0	$P_{оо2}+P_{пот2}$	$ZT_{та}$
5	-1	2	$P_{пр2}$	0	6	3	$P_{пр2}$	0
6	7	3	$P_{пр1}$	0	-1	6	$P_{но2}$	0
7	-1	4	1	0	8	0	$P_{оо3}+P_{пот3}$	$ZT_{та}$
8	9	1	$P_{но1}$	0	9	4	$P_{пр1}$	0
9	-1	5	1	0	-1	7	$P_{но1}$	0
10	11	2	$P_{но2}$	0	-1	4	1	0
11	-1	6	1	0	-1	5	1	0
12	13	3	$P_{но1}$	0	-1	6	1	0
13	-1	7	1	0	-1	7	1	0

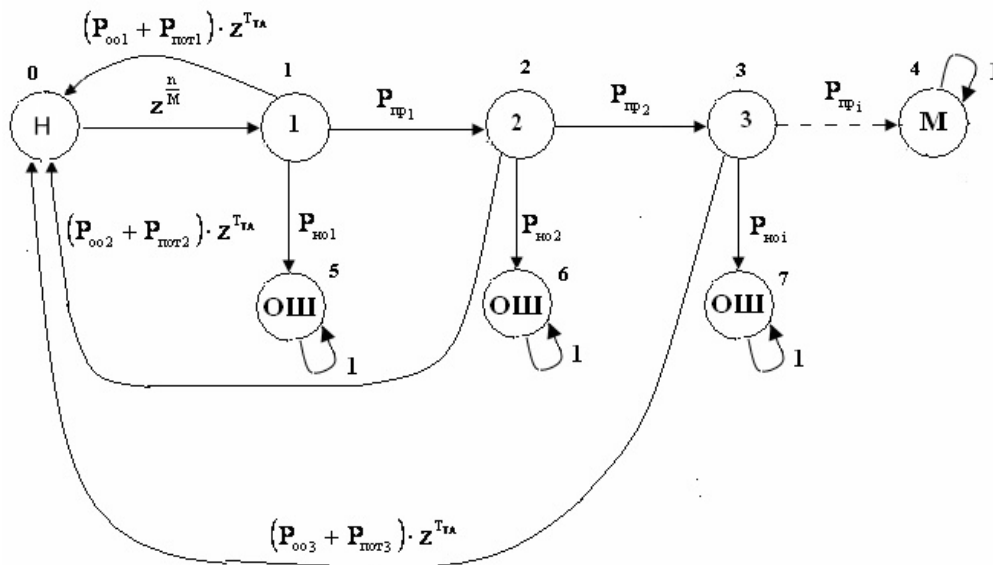


Рис. 1. ВВГ, описывающий функционирование М-канального тракта

Рассматриваемый на рис. 1 ВВГ путем эквивалентных преобразований приводится к виду (рис. 2).

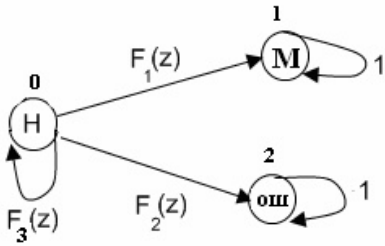


Рис. 2. Преобразованный ВВГ

На этом графе обозначено

$$F_1(z) = z^{n/M_k} \cdot \prod_{i=1}^{M_k-1} P_{np_i};$$

$$F_2(z) = z^{n/M_k + T_{TA}} \cdot \sum_{j=1}^{M_k-1} (P_{oo_j} + P_{nom_j}) \cdot \prod_{i=1}^{M_k-1} P_{np_i};$$

$$F_3(z) = z^{n/M_k} \cdot \sum_{j=1}^{M_k-1} (P_{no_j}) \cdot \prod_{i=1}^{M_k-1} P_{np_i}.$$

Если преобразования проводятся автоматически, как показано в [2], то СЧС, соответствующая преобразованному графу, будет иметь вид табл. 3, 4.

Исходя из данного представления, можно определить среднее время доставки, которое определяется по формуле [2]:

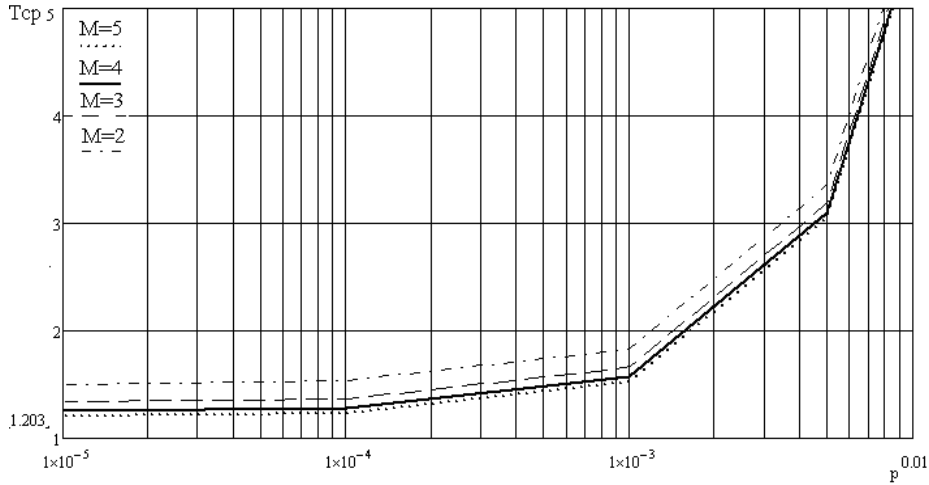


Рис. 3. Зависимость $T_{cp} = f(p)$ при длине сообщения 64 бита

Вероятностно-временной граф для второго варианта организации обратной связи изображен на рис. 4. СЧС, соответствующая ВВГ второго варианта организации обратной связи, приведена в табл. 5, 6.

Производящая функция для приведенного на рис. 4 ВВГ равна

$$F(z) = (P_{npMk} + P_{noMk}) / (1 - P_{ooMk} \cdot z^{T_{TA}}).$$

На этом ВВГ обозначено

$$P_{npMk}(z) = z^{n/Mk} \cdot \prod_{i=1}^{Mk-1} P_{np_i};$$

$$F_{noM}(z) = z^{n/Mk} \cdot \sum_{i=1}^{Mk-1} Ck_{Mk}^i \cdot P_{no_i}^i \cdot (1 - P_{no_i})^{Mk-i};$$

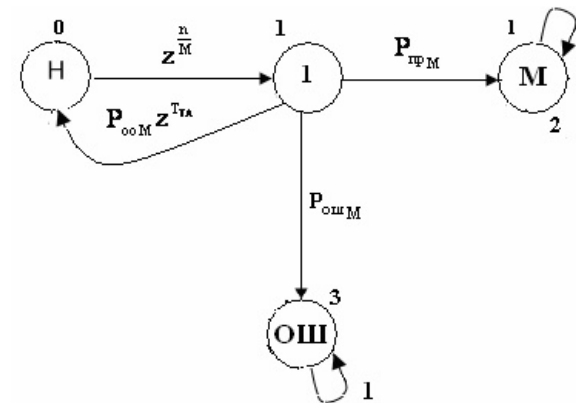


Рис. 4. Граф второго варианта организации обратной связи

Таблица 3

Базовая структура (BF), описывающая преобразованный ВВГ

N	TYP	NSJ	SJD	NWJ	WJD	RES
0	1	0	1	0	3	H
1	2	1	2	3	1	M
2	2	3	2	4	1	ош

Таблица 4

Структура связей (CF), описывающая преобразованный ВВГ

NN	SJD	SPJD	FSJD	JWD	WPJD	FWJD
0	-1	0	$F_{3(z)}$	1	0	$F_{3(z)}$
1	2	0	$F_{1(z)}$	2	1	$F_{1(z)}$
2	-1	1	1	-1	2	$F_{2(z)}$
3	4	0	$F_{2(z)}$	-1	1	1
4	-1	2	1	-1	2	1

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

По данному выражению построены графики зависимости среднего времени передачи от вероятности искажения одного бита при различных значениях числа каналов (рис. 3). Из приведенных графиков видно, что среднее время передачи существенно возрастает при увеличении вероятности искажения одного бита (p) более 10^{-4} и может быть ограничивающим фактором числа используемых каналов.

Таблица 5

Базовая структура (BF) ВВГ
второго варианта организации обратной связи

N	TYP	NSJ	SJD	NWJ	WJD	RES
0	1	0	1	0	1	H
1	0	1	1	1	3	1
2	2	2	2	4	1	M
3	2	4	2	5	1	OШ

Таблица 6

Структура связей (CF) ВВГ
второго варианта организации обратной связи

NN	SJD	SPJD	PSJD	TSJD	JWD	WPJD	PWJD	TWJD
0	-1	1	$P_{ооМ}$	$Z^{1га}$	-1	1	1	$Z^{п/М}$
1	-1	0	1	$Z^{п/М}$	2	0	$P_{ооМ}$	$Z^{1га}$
2	3	1	$P_{прМ}$	0	3	2	$P_{прМ}$	0
3	-1	2	1	0	-1	3	$P_{ошМ}$	0
4	5	1	$P_{ошМ}$	0	-1	2	1	0
5	-1	3	1	0	-1	3	1	0

$$F_{ооМ_0}(z) = z^{\frac{n}{M_k}} \cdot \sum_{i=1}^{M_k-1} C_{k_{M_k}}^i \cdot (P_{ооi} + P_{потi})^i \times (1 - P_{ооi} - P_{потi})^{M_k-i}$$

Среднее время доставки определяется по (1).

На рис. 5 приведены зависимости относительного времени передачи от вероятности ошибки в канале для второго варианта организации обратной связи.

Из приведенных графических зависимостей видно, что, как и в первом варианте организации обратной связи с уменьшением вероятности ошибки до 10^{-4} относительное среднее время резко уменьшается. При дальнейшем уменьшении величины p среднее время доставки уменьшается незначительно. При этом необходимо отметить, что реализация второго варианта существенно проще первого.

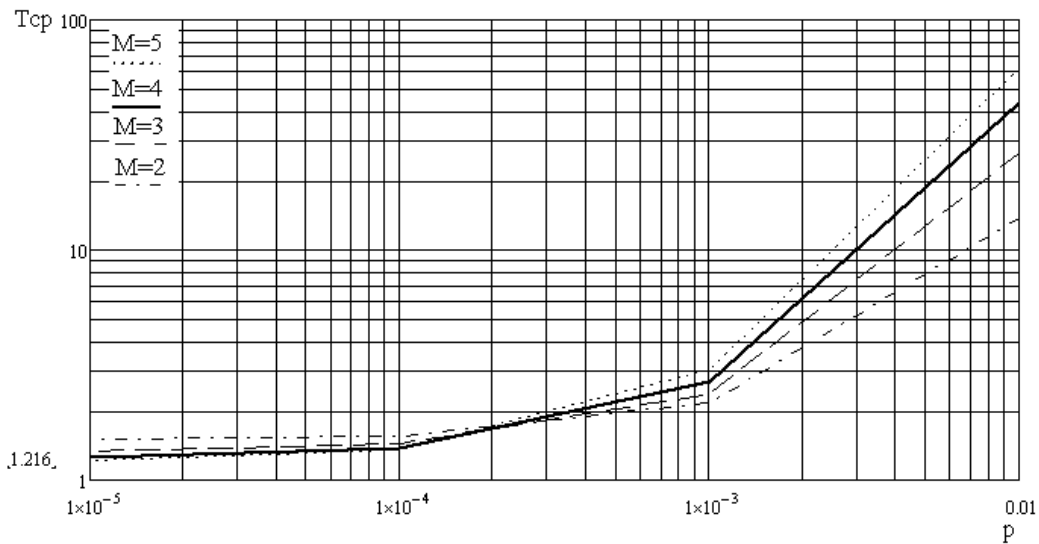


Рис. 5 – Зависимость $T_{ср} = f(p)$ при длине сообщения 64 бита

Выводы

В статье разработаны модели управления мультимаршрутным потоком данных при восстановлении потерянных и искаженных сообщений. Модели построены на основе использования 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. Разработанный метод позволяет оценить среднее время доставки сообщений с учетом числа используемых каналов и их состояния.

В результате имеется возможность сравнивать, и обосновано выбирать наиболее эффективный вариант информационного обмена при мультимаршрутной передаче.

Список литературы

1. Шварц М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ. В 2 ч. : пер. с англ. / М. Шварц. – М. : Наука, 1992. – Ч. 1. – 336 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. Руккас. – Х. : ХНУ имени В. Н. Каразина, 2011. – 204 с.
3. Адаптивная компенсация помех в каналах связи / [Ю.И. Лосев, А.Г. Бердников, Э.Ш. Гойхман и др.]; под ред. Ю.И. Лосева. – М. : Радио и связь, 1988. – 208 с.
4. Шматков С.И. Формальное представление вероятностно-временных графов анализа протоколов компьютерных сетей с помощью семантико-числовой спецификации / С.И. Шматков // Системы обробки інформації – Х. : ХУПС, 2013. – Вип. 2(109) – С. 239-241.

Поступила в редколлегию 29.06.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В. П. Ляшенко, Кременчугский национальный университет им. М. Острог радского, Кременчуг.

**МОДЕЛІ ВІДНОВЛЕННЯ ВТРАЧЕНИХ І СПОТВОРЕНИХ ПОВІДОМЛЕНЬ
ПРИ МУЛЬТИМАРШРУТНІЙ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ**

С.І. Шматков

У статті розроблені моделі управління мультимаршрутним потоком даних при відновленні втрачених і спотворених повідомлень. Моделі побудовані на основі використання ймовірнісно-часових графів та апарату виробляючих функцій. В якості засобів формального представлення запропоновано використати структури семантико-числової специфікації. Розроблені моделі дозволяють обґрунтовано вибирати найбільш ефективний варіант інформаційного обміну при мультимаршрутній передачі.

Ключові слова: комп'ютерні мережі, мультимаршрутна передача, ймовірнісно-часові графи, семантико-числова специфікація..

**MODELS OF RECOVERING LOST AND CORRUPTED MESSAGES
AT MULTIPATH DATA TRANSMISSION IN COMPUTER NETWORKS**

S.I. Shmatkov

In the article developed models of control multipath data flow when recovering lost and corrupted messages. The models constructed on the basis of using probabilistic-time graphs and generating functions apparatus. Proposed to use semantic numerical specification as a formal representation means. The developed models can reasonably choose the most efficient way of information exchange at multipath transmission.

Keywords: computer networks, multipath transmission, probabilistic-time graphs, semantic numerical specification.