

## ФОРМАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНО-ВРЕМЕННЫХ ГРАФОВ АНАЛИЗА ПРОТОКОЛОВ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ С ПОМОЩЬЮ СЕМАНТИКО-ЧИСЛОВОЙ СПЕЦИФИКАЦИИ

В статье рассмотрена задача формализации процесса анализа протоколов компьютерных сетей, представленных в виде вероятностно-временных графов. В качестве средств формального представления предложено использовать аппарат структур семантико-числовой спецификации. Показано, что использование разработанных предложений создает предпосылки к существенному сокращению вычислительной сложности процедуры анализа протоколов компьютерных сетей.

**Ключевые слова:** протоколы компьютерных сетей, вероятностно-временные графы, семантико-числовая спецификация.

### Актуальность статьи

Известно, что современные компьютерные (КС) сети представляют собой сложные программно-аппаратные системы. Дальнейшее их развитие ограничивается отсутствием моделей, которые учитывали бы все основные факторы, влияющие на эффективность функционирования систем данного класса. В настоящее время используются различные методы описания КС, основанные на различном математическом аппарате. Однако эти методы хорошо описывают только отдельные стороны их работы. Так для анализа протоколов сетей широко используются вероятностно-временные графы (ВВГ) и аппарат производящих функций [1]. Данный аппарат, как средство графического представления, ориентирован на работу пользователя в ручном режиме и визуально иллюстрирует работу используемых протоколов. Для целей обеспечения автоматизации анализа протоколов и компьютерного представления данных необходимо разработать соответствующие средства формализации. Статья посвящена решению этой задачи.

### Результаты исследования

Алгоритм обмена данными, положенный в основу того или иного протокола, можно представить набором некоторых состояний и возможных переходов из одного состояния в другое. При этом каждый из возможных переходов можно охарактеризовать вероятностью перехода, зависящей от структуры передаваемых данных и качества линии связи. Кроме того, на изменение состояния обычно требуется некоторое время. Следовательно, алгоритм обмена данными может быть представлен в виде графа, в котором вершины обозначают выделенные состояния, а дуги – возможные переходы, которые

характеризуются вероятностью перехода и временем изменения состояния. В рамках аппарата производящих функций можно построить ВВГ, описывающий с необходимой детализацией анализируемый процесс. Каждая дуга графа характеризуется вероятностью ее выбора  $P$  и временем перехода  $t$ . При этом вид функции дуги  $f(P, t)$  должен быть таким, чтобы при нахождении произведений функций вероятности умножались, а время суммировалось. Такая функция для каждой дуги имеет вид  $f(P, t) = P * Z^t$ , где  $Z$  – параметр, степень которого характеризует время выполнения операции [2].

Тогда функция последовательности  $k$  дуг может быть записана в виде:

$$F_{1,2,\dots,k}(z) = \prod_{i=1}^k P_i * Z^{T_i} . \quad (1)$$

Эквивалентная функция для  $m$  параллельных дуг может быть представлена в виде

$$F_{1,2,\dots,k}(z) = \sum_{j=1}^m P_j * Z^{T_j} . \quad (2)$$

Производящая же функция  $F(z)$ , соответствующая графу, есть сумма функций всех путей, соединяющих начальную и конечную вершины графа. Конечная вершина графа может быть разделена на две, соответствующие правильному приему информации и приему с ошибкой.

В этом случае производящая функция будет записана в следующем виде:

$$F(z) = F_{\text{пр}}(z) + F_{\text{ош}}(z) , \quad (3)$$

где  $F_{\text{пр}}(z)$  и  $F_{\text{ош}}(z)$  – функции дуг, соединяющих начальную вершину и вершины графа, обозначающие соответственно правильный прием и прием с ошибкой.

Для упрощения нахождения производящей функции ВВГ необходимо выполнить эквивалентные преобразования графа. При эквивалентных преобразованиях функции последовательно соединенных дуг заменяют одной функцией, равной произведению функций этих дуг (1). Параллельные дуги заменяют одной с функцией, которая равна сумме функций этих дуг графа (2).

В процессе эквивалентных преобразований возможно возникновение петель. Если функция петли  $f_1(z)$ , а выходящей дуги –  $f_2(z)$ , то функция эквивалентной дуги записывается в виде

$$f_3(z) = \frac{f_2(z)}{1 - f_1(z)}.$$

Из полученной производящей функции находят среднее время и дисперсию среднего времени выполнения исследуемого процесса:

$$P_{\text{пр}} = F_{\text{пр}}(z) \Big|_{z=1}, \quad (4)$$

$$T_{\text{ср}} = \frac{dF(Z)}{dZ} \Big|_{z=1}, \quad (5)$$

$$\sigma^2 = \frac{d^2F(Z)}{dZ^2} \Big|_{z=1} + \frac{dF(Z)}{dZ} \Big|_{z=1} - \left( \frac{dF(Z)}{dZ} \Big|_{z=1} \right)^2. \quad (6)$$

Для целей обеспечения автоматизации решения данной задачи и компьютерного представления данных предлагается использовать аппарат структур семантико-числовой спецификации (СЧС), который применялся в [3] для описания СИ-графов, как средства формализации решаемых задач.

Вероятностно-временной граф в рамках данного вида формализации определяется как конструкция, содержащая следующие элементы:

- множество  $PB = \{PB_j\}$  перенумерованных  $(0, 1, 2, \dots, j, \dots, n)$  вершин  $PB_j$ ;
- множество  $CB = \{CB_i\}$  перенумерованных направленных стрелок/ребер  $CB_i$   $(0, 1, 2, \dots, i, \dots, sn)$ , соединяющих вершины;
- каждой вершине  $PB_j$  поставлено в соответствие одно состояние сети;
- каждой стрелке/ребру  $CB$  поставлен в соответствие возможный переход из одного состояния в другое;
- вершины помечены типом соответствующего элемента (начальная, промежуточная, конечная);
- для каждой вершины задается количество входов (входных стрелок, называемых «сопряженными») и выходов (выходных стрелок, называемых «внешними»);
- каждой вершине  $PB_j$  поставлены во взаимно однозначное соответствие два множества вершин – «сопряженное множество  $SB_j$ » и «внешнее множество  $WB_j$ ».

Сопряженное множество  $SB_j$  для вершины  $PB_j$  – это множество номеров  $i$  «предшествующих» вершин  $PB_i$ .

Приведем конструктивное определение сопряженного множества  $SB$  ВВГ. Произвольной вершине  $PB_j$  ( $j = 0, 1, 2, \dots, p$ ) ВВГ поставим во взаимно однозначное соответствие сопряженное множество  $SB_j$  мощности  $sb_j = |SB_j|$ , определяемое как множество номеров  $i$  вершин  $PB_i$  ВВГ, инцидентных входным ребрам вершины  $PB_j$ , то есть, вершин  $PB_i$ , непосредственно связанных с вершиной  $PB_j$  ее входными ребрами.

Множество  $SB = \cup SB_j$ ,  $j = 0, 1, \dots, p$ , будем называть сопряженным множеством ВВГ.

Внешнее множество  $WB_j$  оператора  $PB_j$  – это множество номеров  $i$  «последующих» вершин  $PB_i$ .

Приведем конструктивное определение внешнего множества ВВГ. Введем для произвольной вершины  $PB_j$  ( $j = 0, 1, 2, \dots, n$ ) ВВГ внешнее множество  $WB_j$  мощности  $wb_j = |WB_j|$ , определяемое как множество номеров  $i$  вершин  $PB_i$  ВВГ, непосредственно связанных с вершиной  $PB_j$  ее выходными ребрами.

Множество  $WB = \cup WB_j$ ,  $j = 0, 1, \dots, p$  будем называть внешним множеством вероятностно-временного графа.

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 ВФВ и Структуры связей состояний СФВ.

Структура ВФВ включает следующие массивы данных:

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

где  $NB$  – номер вершины графа;

$ТУРВ$  – 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 CFB включает следующие массивы данных:

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

где NNB – номер связи по вероятности P и времени перехода между вершинами t 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 P;

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

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 P;

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

Используя данное представление, можно найти производящую функцию F(z). Как было указано выше, производящая функция, соответствующая ВВГ, является суммой функций всех путей, соединяющих начальную и конечные вершины графа. Вся информация о соединении вершин заложена в структурах данных формата СВМ в виде сопряженных (SB) и внешних (WB) множеств.

Оптимальная процедура решения этой задачи предполагает проведение полного перебора всех путей, соединяющих начальную и конечные вершины графа, расчета соответствующих производящих функций и их суммирование. Возможности по сокращению вычислительной сложности этой проце-

дуры заложены в ограничении количества рассматриваемых на каждом этапе вершин за счет только тех из них, которые входят в сопряженное множество соответствующей вершины.

В соответствии с разработанным методом, можно определить основные характеристики анализируемого протокола.

## Выводы

Таким образом, в статье предложено и обосновано использование аппарата структур семантико-числовой спецификации для формализации процесса анализа протоколов, представленных в виде вероятностно-временных графов. Предложенный метод позволяет автоматически, без участия человека, специфицировать эту графическую форму представления протоколов. Структура семантико-числовой спецификации позволяет существенно сократить вычислительную сложность процедуры анализа протоколов компьютерных сетей. Направление дальнейших исследований связано с использованием разработанного метода для анализа конкретных протоколов.

## Список литературы

1. 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.
2. Адаптивная компенсация помех в каналах связи / [Лосев Ю.И., Бердников А.Г., Гойхман Э.Ш., Сизов Б.Д.]; под. ред. Ю.И. Лосева. – М.: Радио и связь, 1988. – 208 с.
3. Поляков А.Г. Синтез и анализ параллельных процессов в адаптивных времяпараметризованных вычислительных системах / А.Г. Поляков, С.И. Шматков, Е.Г. Толстолужская, Д.А. Толстолужский: монография. – Х.: ХНУ имени В.Н. Каразина, 2012. – 670 с.

Поступила в редколлегию 4.02.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. М.Л. Угрюмов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е Жуковского «ХАИ», Харьков.

## ФОРМАЛЬНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЙМОВІРНІСНО-ЧАСОВИХ ГРАФІВ АНАЛІЗУ ПРОТОКОЛІВ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ ЗА ДОПОМОГОЮ СЕМАНТИКО-ЧИСЛОВОЇ СПЕЦИФІКАЦІЇ

С.І. Шматков

*У статті розглянута задача формалізації процесу аналізу протоколів комп'ютерних мереж, що представлені у вигляді ймовірнісно-часових графів. У якості засобів формального представлення запропоновано використовувати апарат структур семантико-числової специфікації. Показано, що використання розроблених пропозицій створює передпосилання до суттєвого скорочення обчислювальної складності процедури аналізу протоколів комп'ютерних мереж.*

**Ключові слова:** протоколи комп'ютерних мереж, ймовірнісно-часові графи, семантико-числова специфікація.

## THE FORMAL REPRESENTATION OF TIME-PROBABILITY GRAPHS OF THE COMPUTER NETWORKS PROTOCOL ANALYSIS USING SEMANTIC-NUMERICAL SPECIFICATION

S.I. Shmatkov

*In this paper we consider the problem of formalizing the process of computer networks protocol analysis, represented as time-probability graphs. As formal representation facilities is proposed to use the semantic-numerical specification structures device. It is shown that the using of the developed proposals creates prerequisites to a significant decrease of computational complexity of the computer networks protocol analysis procedure.*

**Keywords:** computer networks protocols, time-probability graphs, semantic-numerical specification.