

УДК 621.395

Ю.И. Лосев, К.М. Руккас, С.И. Шматков, Мохамед Саламе Абрахим Арабиат

Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков

## МОДЕЛЬ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Приведен анализ основных принципов функционирования компьютерной сети. На основе проведенного анализа разработана математическая модель компьютерной сети как объекта управления. Показано, что оптимальное управление компьютерной сетью является нелинейной и стохастической задачей. Предложенная модель имеет возможность учитывать выделение ресурсов сети для решения задач управления, что позволяет оценивать эффективность различных стратегий управления компьютерными сетями.

**Ключевые слова:** компьютерная сеть, управление компьютерными сетями, математическая модель.

### Введение

**Постановка задачи.** Одним из перспективных путей повышения эффективности функционирования компьютерных сетей является совершенствование методов динамического управления сетевыми ресурсами. Современные компьютерные сети (КС) являются сложными распределенными программно-аппаратными системами, предназначенными для передачи информационных потоков абонентов с заданными требованиями.

**Цель статьи.** Для разработки эффективной системы динамического управления современными и перспективными компьютерными сетями необходимо разработать математическую модель компьютерной сети как объекта управления, которая позволяла бы учитывать ограниченность сетевых ресурсов, а также особенности информационных потоков и требования по качеству обслуживания.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В настоящее время существует ряд моделей [1 – 5] компьютерных сетей, которые позволяют решить задачи оптимального распределения пропускных способностей каналов передачи данных КС между информационными потоками абонентов сети. Однако предложенные модели не позволяют решать задачи распределения емкости буферного запоминающего устройства (БЗУ). Кроме того, в предложенных моделях сложно учесть ограничения, связанные с требованиями качества обслуживания абонентов.

### Изложение основного материала

Компьютерная сеть является весьма сложной информационной структурой, обеспечивающей взаимодействие пользователей на основе единой системной идеологии, реализуемой в сетевых протоколах. Система управления сетью включает средства контроля и управления, которые осуществляют сбор информации о состоянии сети, обработку этой информации, решение задачи управления, отображение и контроль за приведением решения в исполнение на основе применяемых протоколов. Все ука-

занные ранее средства, определяющие компьютерную сеть как объект управления, рассредоточены и входят в состав промежуточных или конечных узлов коммутации. Поэтому модель структуры сети обычно представляется в виде неориентированного графа. Предполагается, что сеть включает множество узлов коммутации ( $N$ ). Узлы коммутации  $i$  и  $j$  соединены дугами (рис. 1). Каждая дуга характеризуется длиной  $l_{ij}$  и пропускной способностью  $C_{ij}$ . Все эти данные приводятся в матрицах длин  $h = |l_{ij}|$  и пропускных способностей  $C = |C_{ij}|$ . Известна матрица инцидентности узлов  $S = |S_{ij}|$ .

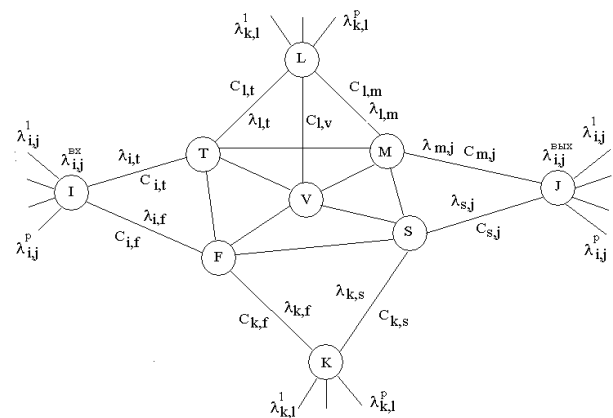


Рис. 1. Структура компьютерной сети

Узел характеризуется емкостью буферного запоминающего устройства (БЗУ)  $W_j$ , интенсивностью обслуживания поступающих заявок трафика  $T$ -го типа  $\lambda_j^T$  и надежностью  $Kr_j$  (коэффициент готовности). На узел поступает входной поток заявок от источников, находящихся на этом узле  $\lambda_{BXj}^T$ , и транзитный поток  $\lambda_{TP}^T = \sum_{i,j} \lambda_{TPji}^T$ . Интенсивность суммарного потока на узле равна

$$\lambda_{\Sigma j} = \sum_{T=1}^v \lambda_{\Sigma j}^T, \quad \sum_{m=1}^N C_m \leq C, \quad (5)$$

где  $v$  – число типов поступающих заявок.

В свою очередь,

$$\lambda_{\Sigma j}^T = \lambda_{BXj}^T + \sum_{i,j} \lambda_{Trij}^T.$$

На входе КС входной трафик, в зависимости от состояния сети, может быть допущен в сеть или заблокирован. Тогда интенсивность входного потока можно представить в следующем виде

$$\lambda_{BXj}^T = \sum_{\gamma \in \Gamma} \lambda_{BXj}^T \cdot X_{\gamma},$$

при  $X_{\gamma} = \begin{cases} 1, & \text{трафик допущен;} \\ 0, & \text{трафик не допущен,} \end{cases}$

где  $X_{\gamma}$  – параметр управления допуском в сеть  $\gamma$ -го трафика  $T$ -го типа.

Допущенный в сеть трафик должен быть передан с заданными параметрами качества. Для этого необходимо распределить ресурсы КС (выбрать маршрут или группу маршрутов доставки информации). Выбранный маршрут должен обеспечить передачу информации с заданными параметрами качества обслуживания. С математической точки зрения, задача динамического управления КС сводится к распределению ресурсов КС между абонентами сети с учетом качества обслуживания. Под ресурсами сети будем понимать пропускные способности каналов (вектор  $|C_{ij}|$ ), выделяемое время и емкость буферного запоминающего устройства (БЗУ) (вектор  $|W_{ij}|$ ). Тогда математическую модель распределения ресурсов КС можно представить в следующем виде:

$$S \cdot r_m = d_m, \quad (1)$$

$$\sum_{m=1}^N r_m \leq r, \quad (2)$$

$$T_d \leq T_{\text{доп}}; P_{\text{ош}} \leq P_{\text{ошдоп}}, \quad (3)$$

где  $S$  – матрица связности сети;

$r_m$  – вектор ресурсов КС, (пропускная способность каналов связи, емкость ЗУ) выделенный  $m$ -му потоку;

$d_m$  – вектор входных требований;

$P_{\text{ошдоп}}$  – допустимая вероятность ошибки.

При помощи уравнения (1) описываются ограничения, накладываемые топологией КС, а уравнения (3) описывают ограничения по качеству обслуживания трафика абонентов.

При решении задачи распределения пропускных способностей каналов (вектор  $C_{\Pi}$ ) между потоками абонентов, уравнения (1), (2) примут вид

$$S \cdot C_m = \lambda_m, \quad (4)$$

где  $C_m$  – матрица пропускных способностей, выделенных  $i$ -му потоку;

$\lambda_m$  – вектор размерности  $1 \times N$ , который определяет интенсивность входного и выходного трафика, а также задает входной и выходной узлы коммутации и определяется следующим образом:

$$\lambda_{ik} = \begin{cases} < 0, & \text{если } k \text{ узел – источник,} \\ > 0, & \text{если } k \text{ узел – приемник,} \\ 0. & \end{cases} \quad (6)$$

Ограничение на емкость ЗУ (вектор  $W$ ) определяется выражением

$$\sum_{m=1}^N W_m \leq W, \quad (7)$$

где  $W_m$  – матрица емкостей БЗУ, выделенных  $m$ -му потоку.

Для нахождения оптимального маршрута обычно в качестве показателя эффективности используют время доставки, пропускную способность, вероятность потери информации, вероятность своевременной доставки и т.п.

Показатель эффективности определяется в виде функционала (4).

Кроме ограничений, связанных с топологией КС и качеством обслуживания, существуют ограничения, связанные с алгоритмами функционирования КС, которые можно описать в следующем виде

$$\bar{x}(n+1) = f(\bar{x}(n), \bar{r}(n), \bar{\xi}(n)), \quad (8)$$

где  $\bar{x}(n+1)$  – вектор состояния КС на  $n+1$  шаге;

$\bar{r}(n)$  – вектор распределения ресурсов КС;  $\bar{\xi}(n)$  – вектор-функция, описывающая воздействие случайных факторов.

Состояние коммутационных устройств характеризуется состоянием буферных ЗУ, значением таблиц маршрутизации, временем обработки (нахождения) пакета на узле коммутации, вероятностью потери сообщения. Состояние каналов передачи характеризуется пропускной способностью канала, временем доставки сообщения, вероятностью потери сообщения, вероятностью ошибки в сообщении. Совокупность смежных каналов связи между двумя входными устройствами образуют направление связи. Состояние направления связи определяется скоростью передачи информации, вероятностями потери сообщения и вероятностью ошибки в сообщении. Абоненты КС определяются характеристиками входных потоков абонентов: интенсивностью поступления трафика, его объемом. Ранее было показано, что основными ресурсами, которые распределяются между абонентами сети, являются буферное ЗУ и пропускные способности каналов.

Обозначим БЗУ, находящееся на  $i$ -м узле коммутации,  $W_i$ . Тогда  $m$ -му потоку сети может быть выделено  $w_i^m$  емкость ЗУ на  $i$ -м узле коммутации. Причем для емкости ЗУ должны выполняться ограничения

$$\sum_{m \in N} w_i^m \leq W_i, 0 \leq w_i^m \leq W_i. \quad (9)$$

Обозначим пропускную способность, выделяемую  $m$ -му потоку в канале между  $i$ -м и  $j$ -м узлами коммутации,  $C_{ij}^m$ . Для данного ресурса должны выполняться следующие ограничения:

$$\sum_{m \in M} C_{ij}^m \leq C_{ij}, 0 \leq C_{ij}^m \leq C_{ij}. \quad (10)$$

Тогда динамику управления ресурсами компьютерной сети можно описать следующим образом

$$\begin{aligned} w_i^m(k+1) &= w_i^m(k) + \Delta w_i, \\ C_{ij}^m(k+1) &= C_{ij}^m(k) + \Delta C_{ij}, \end{aligned} \quad (11)$$

$$\lambda_{\sum j}(k+1) = \lambda_{BXj}(k) + \sum_{i,j} \lambda_{TPij}(k),$$

где  $\Delta w_i$  и  $\Delta C_{ij}$  – изменения на  $k+1$  шаге управления в распределении емкостей ЗУ и пропускных способностей каналов.

Состояние сети постоянно меняется, поэтому задачу распределения ресурсов необходимо периодически решать. Сетевые ресурсы на  $k$ -м шаге управления  $\bar{r}(k)$  выделяются непосредственно на доставку информации пользователей  $\bar{r}_{KC}(k)$  и на нужды системы динамического управления  $\bar{r}_{CДУ}(k)$ , причем выполняется следующее ограничение

$$\bar{r}_{KC}(k) + \bar{r}_{CДУ}(k) \leq \bar{r}(k). \quad (12)$$

Как правило, объем ресурсов, выделяемых на нужды СДУ, составляет не более 10% от общего объема ресурса, т. е.

$$\bar{r}_{CДУ}(k) \leq 0.1 \cdot \bar{r}(k). \quad (13)$$

Исходя из вышесказанного, задачу оптимального распределения сетевых ресурсов КС можно представить в следующем виде:

$$\max_{\bar{r}_{KC}(i)} \exists F(\bar{r}_{KC}(0), \bar{x}(1), \bar{r}_{KC}(1), \bar{x}(2), \dots, \bar{r}_{KC}(K-1), \bar{x}(K));$$

#### МОДЕЛЬ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ ЯК ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ

Ю.І. Лосев, К.М. Руккас, С.І. Шматков, Мохамед Саламе Абрахім Арабіат

*Наведено аналіз основних принципів функціонування комп'ютерної мережі. На основі проведеного аналізу розроблена математична модель комп'ютерної мережі як об'єкта управління. Показано, що оптимальне управління комп'ютерною мережею є нелінійною і стохастичною задачею. Запропонована модель має можливість враховувати виділення ресурсів мережі для вирішення задач управління, що дозволяє оцінювати ефективність різних стратегій управління комп'ютерними мережами.*

**Ключові слова:** комп'ютерна мережа, управління комп'ютерними мережами, математична модель.

#### COMPUTER NETWORK MODEL AS OBJECT OF CONTROL

U.I. Losev, K.M. Rukkas, S.I. Shmatkov, Mohammad Salameh Ibrahim Arabiat

*The analysis of the basic principles of operation of a computer network is presented. The mathematical model of the computer network as an object of control is developed on the basis of the analysis. It is shown that the optimal management of a computer network is a non-linear and stochastic problem. Proposed model is able to take into account the allocation of network resources for purpose of control that allows to evaluate the effectiveness of different management strategies for computer networks.*

**Keywords:** computer network, computer network control, mathematical model.

$$w_i^m(k+1) = w_i^m(k) + \Delta w_i;$$

$$C_{ij}^m(k+1) = C_{ij}^m(k) + \Delta C_{ij};$$

$$\lambda_{\sum j}(k+1) = \sum_{T=1}^V \sum_{\gamma \in \Gamma} \lambda_{BXj}^T \cdot X_\gamma + \sum_{i,j} \lambda_{TPij}(k);$$

$$S(k) \cdot C_m(k) = \lambda_m(k); \quad \sum_{m=1}^M W_m(k) \leq W(k);$$

$$\sum_{m=1}^M C_m(k) \leq C(k); \quad \bar{r}(k) \geq 0; \quad (14)$$

$$\bar{r}_{KC}(k) + \bar{r}_{CДУ}(k) \leq \bar{r}(k); \quad \bar{r}_{CДУ}(k) \leq 0.1 \cdot \bar{r}(k);$$

$$P_{Oш} \leq P_{OшДоп}; \quad T_D \leq T_{Доп},$$

где  $k$  – число временных шагов управления.

Предложенная модель может быть модифицирована с учетом различных способов организации передачи информации.

#### Заключение

В статье предложена математическая модель компьютерной сети, которая позволяет исследовать различные методы управления КС, а также оценивать их эффективность. Показано, что оптимальное управление компьютерной сетью является задачей нелинейного программирования.

#### Список литературы

1. Бертсекас Д. Сети передачи данных / Д. Бертсекас, Р. Галлагер. – М.: Мир, 1989. – 544 с.
2. Богуславский Л.В. Управление потоками данных в сетях ЭВМ / Л.В. Богуславский. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 168 с.
3. Захаров Г.П. Методы исследования сетей передачи данных / Г.П. Захаров. – М.: Радио и связь, 1982. – 208 с.
4. Мизин И.А. Сети коммутации пакетов / И.А. Мизин, В.А. Богатырев, А.П. Кулешиов. – М.: Радио и связь, 1986. – 408 с.
5. Шварц М. Сети ЭВМ: анализ и проектирование / М. Шварц. – М.: Радио и связь, 1981. – 334 с.

Поступила в редколлегию 27.04.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.Н. Жолткевич, Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков.