

## МОДЕЛИ ХАРАКТЕРИСТИК ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Е. Л. Шапорина, к.ф.-м. н. П. М. Тишин, д. т. н. С. А. Нестеренко, И. Г. Милейко

Одесский национальный политехнический университет  
Украина, г. Одесса  
sh\_el\_1@ukr.net

*В работе приведены модели основных характеристик функционирования компьютерных сетей, полученные с использованием аппарата нечетких множеств. На базе полученных моделей сформированы показатели эффективности функционирования компьютерных сетей.*

*Ключевые слова: компьютерная сеть, математическая модель, показатель эффективности, нечеткие множества.*

Современные компьютерные сети (КС) развиваются как мультисервисные гетерогенные системы и используют новые информационные и телекоммуникационные технологии. Это требует разработки новых моделей их функционирования и методов их анализа и проектирования. Существующие модели функционирования КС базируются на использовании, как правило, точных значений сетевых параметров. На практике получение точных значений параметров для таких сложных систем, какими являются современные КС, представляется весьма трудоемкой задачей, что существенно усложняет использование данного класса моделей.

В работе рассматривается построение моделей основных характеристик функционирования КС с использованием аппарата нечетких множеств. Использование данного подхода устраняет проблему получения четких значений сетевых параметров.

В работе используется декомпозиционный подход к анализу и проектированию КС. В соответствии с данным подходом сеть рассматривается в виде множества узлов коммутации [1, 2]. В качестве узлов коммутации рассматриваются коммутаторы и маршрутизаторы, на базе которых строятся коммуникационные системы современных КС. Для узлов коммутации (УК) сформированы показатели эффективности, которые используются в задачах анализа и синтеза рациональных структур КС.

В соответствии с данным подходом КС представляется в виде множества УК. Моделью УК является узел, имеющий одну входную линию по которой поступает входной поток заявок с интенсивностью  $\lambda$ , и  $n$  линий связи выходящих из УК (рис. 1). При этом под одним входным потоком понимается суперпозиция всех входных потоков УК. Входной поток распределяется по  $n$  линиям связи и порождает в каждой линии трафик с интенсивностями  $\lambda_j, j = 1, n$ .

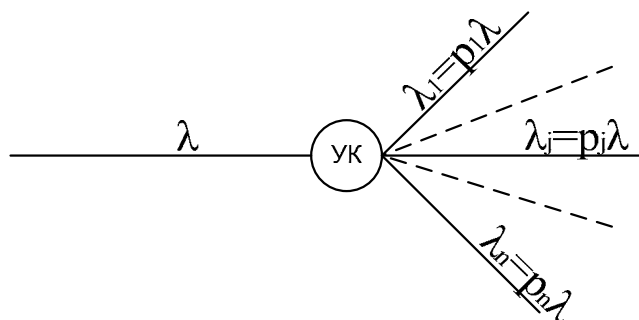


Рис. 1. Схема распределения потока информации в УК

Каждая линия связи рассматривается как система массового обслуживания с некоторой интенсивностью обслуживания  $\mu_j$ , что позволяет множество линий связи рассматривать как сеть систем массового обслуживания. Предполагается, что в сети действует стохастический алгоритм, управляющий распределением пакетов по линиям связи так, что из общего трафика  $\lambda$ , поступающего на узел в  $j$ -ю линию связи, выделяется некоторая доля

$$\lambda_j = p_j \lambda \quad (1)$$

и выполняется условие:

$$\sum_{j=1}^n p_j = 1, \quad p_j \geq 0, \quad j = \overline{1, n} \quad (2)$$

Для данной задачи оптимизации важными показателями эффективности работы сети являются вероятность своевременного выполнения транзакции через узел  $Q_j$  и среднее время транзакции через узел  $T_j$ , которые определяются следующими соотношениями:

$$Q_j(p_j) = \frac{\mu_{эj} - \lambda p_j}{\mu_{эj} - \lambda p_j + v_{эj}}, \quad (3)$$

$$T_j(p_j) = \frac{\mu_{эj} T_j^H k_j^H + 1}{\mu_{эj} - \lambda p_j}. \quad (4)$$

Параметры в выражениях (3) и (4) определяются следующим образом:

$$k_j^r = \frac{T_j^H}{T_j^H + T_j^H}, \quad k_j^H = 1 - k_j^r, \quad \mu_{эj} = \mu_j k_j^r,$$

$$f_j = \frac{k_j^H}{k_j^r + \frac{1}{v_j T_j^H}}, \quad v_j = \frac{1}{T_j^C}, \quad v_{эj} = v_j + \mu_{эj} f_j$$

где  $\mu_{эj}$  — средняя интенсивность обслуживания в  $j$ -й линии связи;

$v_{эj}$  — средняя интенсивность старения информации в  $j$ -й линии связи;

$k_j^H$  — коэффициент простоя  $j$ -й линии связи;

$k_j^r$  — коэффициент готовности  $j$ -й линии связи;

$f_j$  — коэффициент ненадежности  $j$ -й линии связи;

$T_j^H$  — среднее время простоя;

$T_j^H$  — среднее время исправной работы;

$T_j^C$  — среднее время старения информации.

Множество показателей, которые позволяют оценить эффективность функционирования данной подсистемы, можно представить в виде

$$Q(p) = \sum_{j=1}^n p_j Q_j(p_j) \Rightarrow \overline{\max}_{\{p_j\}};$$

$$T(p) = \sum_{j=1}^n p_j T_j(p_j) \Rightarrow \overline{\min}_{\{p_j\}}.$$

Такие параметры, как время простоя  $T_j^H$ , время исправной работы  $T_j^H$ , время старения информации  $T_j^C$  и интенсивность нагрузки  $\lambda_j$  в  $j$ -й линии связи часто не могут быть определены точно.

Представим их в виде нечетких величин, которые определены каждая на своем полном ортогональном семантическом пространстве (ПОСП) [3], с функциями принадлежности трапецеидального типа, удовлетворяющими соотношениям:

$$T_j^{\Pi} \Rightarrow \tilde{T}_k^{\Pi} \in \Pi_{T^{\Pi}}, T_j^{\text{И}} \Rightarrow \tilde{T}_k^{\text{И}} \in \Pi_{T^{\text{И}}}, T_j^{\text{С}} \Rightarrow \tilde{T}_k^{\text{С}} \in \Pi_{T^{\text{С}}}, \lambda_j \Rightarrow \tilde{\lambda}_j \in \Pi_{\lambda}$$

$$\mu_k^{T^{\text{И}}}(T_j^{\text{И}}) = \begin{cases} 0, & T_j^{\text{И}} \leq T_{kb}^{\text{И}}, T_j^{\text{И}} \geq T_{ke}^{\text{И}} \\ \frac{T_j^{\text{И}} - T_{kb}^{\text{И}}}{T_{kb1}^{\text{И}} - T_{kb}^{\text{И}}}, & T_{kb}^{\text{И}} < T_j^{\text{И}} < T_{kb1}^{\text{И}} \\ 1, & T_{kb1}^{\text{И}} \leq T_j^{\text{И}} \leq T_{ke1}^{\text{И}} \\ \frac{T_j^{\text{И}} - T_{ke}^{\text{И}}}{T_{ke1}^{\text{И}} - T_{ke}^{\text{И}}}, & T_{ke1}^{\text{И}} < T_j^{\text{И}} < T_{ke}^{\text{И}} \end{cases}, \quad k = 1..K_{T^{\text{И}}}, \quad (5a)$$

$$\mu_k^{T^{\Pi}}(T_j^{\Pi}) = \begin{cases} 0, & T_j^{\Pi} \leq T_{kb}^{\Pi}, T_j^{\Pi} \geq T_{ke}^{\Pi} \\ \frac{T_j^{\Pi} - T_{kb}^{\Pi}}{T_{kb1}^{\Pi} - T_{kb}^{\Pi}}, & T_{kb}^{\Pi} < T_j^{\Pi} < T_{kb1}^{\Pi} \\ 1, & T_{kb1}^{\Pi} \leq T_j^{\Pi} \leq T_{ke1}^{\Pi} \\ \frac{T_j^{\Pi} - T_{ke}^{\Pi}}{T_{ke1}^{\Pi} - T_{ke}^{\Pi}}, & T_{ke1}^{\Pi} < T_j^{\Pi} < T_{ke}^{\Pi} \end{cases}, \quad k = 1..K_{T^{\Pi}}, \quad (5b)$$

$$\mu_k^{T^{\text{С}}}(T_j^{\text{С}}) = \begin{cases} 0, & T_j^{\text{С}} \leq T_{kb}^{\text{С}}, T_j^{\text{С}} \geq T_{ke}^{\text{С}} \\ \frac{T_j^{\text{С}} - T_{kb}^{\text{С}}}{T_{kb1}^{\text{С}} - T_{kb}^{\text{С}}}, & T_{kb}^{\text{С}} < T_j^{\text{С}} < T_{kb1}^{\text{С}} \\ 1, & T_{kb1}^{\text{С}} \leq T_j^{\text{С}} \leq T_{ke1}^{\text{С}} \\ \frac{T_j^{\text{С}} - T_{ke}^{\text{С}}}{T_{ke1}^{\text{С}} - T_{ke}^{\text{С}}}, & T_{ke1}^{\text{С}} < T_j^{\text{С}} < T_{ke}^{\text{С}} \end{cases}, \quad k = 1..K_{T^{\text{С}}}, \quad (5c)$$

$$\mu_k^{\lambda}(\lambda_j) = \begin{cases} 0, & \lambda_j \leq \lambda_{kb}, \lambda_j \geq \lambda_{ke} \\ \frac{\lambda_j - \lambda_{kb}}{\lambda_{kb1} - \lambda_{kb}}, & \lambda_{kb} < \lambda_j < \lambda_{kb1} \\ 1, & \lambda_{kb1} \leq \lambda_j \leq \lambda_{ke1} \\ \frac{\lambda_j - \lambda_{ke}}{\lambda_{ke1} - \lambda_{ke}}, & \lambda_{ke1} < \lambda_j < \lambda_{ke} \end{cases}, \quad k = 1..K_{\lambda}, \quad (5d)$$

где через  $\Pi_{T^{\Pi}}, \Pi_{T^{\text{И}}}, \Pi_{T^{\text{С}}}, \Pi_{\lambda}$  обозначаются ПОСП для параметров  $T_j^{\Pi}, T_j^{\text{И}}, T_j^{\text{С}}, \lambda_j$ . А через  $K_{T^{\Pi}}, K_{T^{\text{И}}}, K_{T^{\text{С}}}, K_{\lambda_j}$  количество термов, входящих в соответствующие ПОСП.

Вследствие нечеткого описания величин, функции принадлежности которых описаны соотношениями (5), величины, описанные соотношениями (3—4), являются нечеткими переменными, функции принадлежности которых можно вычислить. Полученные нечеткие величины будут иметь также трапецеидальные функции принадлежности, которые можно описать соответствующей четверкой значений:

$$\begin{aligned}\tilde{k}_j^\Gamma &= (k_{jb}^\Gamma, k_{jb_1}^\Gamma, k_{je_1}^\Gamma, k_{je}^\Gamma), \quad \tilde{k}_j^\Pi = (k_{jb}^\Pi, k_{jb_1}^\Pi, k_{je_1}^\Pi, k_{je}^\Pi), \\ \tilde{\mu}_{\alpha j} &= (\mu_{\alpha b}^j, \mu_{\alpha b_1}^j, \mu_{\alpha e_1}^j, \mu_{\alpha e}^j), \quad \tilde{f}_j = (f_{jb}, f_{jb_1}, f_{je_1}, f_{je}), \\ \tilde{v}_j &= (v_{jb}, v_{jb_1}, v_{je_1}, v_{je}), \quad \tilde{v}_{\alpha j} = (v_{\alpha b}^j, v_{\alpha b_1}^j, v_{\alpha e_1}^j, v_{\alpha e}^j),\end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned}k_{jb}^\Gamma &= \frac{T_{jb}^И}{T_{jb}^И + T_{je}^\Pi}, \quad k_{jb_1}^\Gamma = \frac{T_{jb_1}^И}{T_{jb_1}^И + T_{je_1}^\Pi}, \quad k_{je_1}^\Gamma = \frac{T_{je_1}^И}{T_{je_1}^И + T_{jb_1}^\Pi}, \quad k_{je}^\Gamma = \frac{T_{je}^И}{T_{je}^И + T_{jb}^\Pi}; \\ k_{jb}^\Pi &= 1 - k_{je}^\Gamma, \quad k_{jb_1}^\Pi = 1 - k_{je_1}^\Gamma, \quad k_{je_1}^\Pi = 1 - k_{jb_1}^\Gamma, \quad k_{je}^\Pi = 1 - k_{jb}^\Gamma; \\ \mu_{\alpha b}^j &= \mu_{jb} k_{jb}^\Gamma, \quad \mu_{\alpha b_1}^j = \mu_{jb_1} k_{jb_1}^\Gamma, \quad \mu_{\alpha e_1}^j = \mu_{je_1} k_{je_1}^\Gamma, \quad \mu_{\alpha e}^j = \mu_{je} k_{je}^\Gamma; \\ f_{jb} &= \frac{k_{jb}^\Pi}{k_{je}^\Gamma + \frac{1}{v_{jb} T_{jb}^\Pi}}, \quad f_{jb_1} = \frac{k_{jb_1}^\Pi}{k_{je_1}^\Gamma + \frac{1}{v_{jb_1} T_{jb_1}^\Pi}}, \quad f_{je_1} = \frac{k_{je_1}^\Pi}{k_{jb_1}^\Gamma + \frac{1}{v_{je_1} T_{je_1}^\Pi}}, \quad f_{je} = \frac{k_{je}^\Pi}{k_{jb}^\Gamma + \frac{1}{v_{je} T_{je}^\Pi}}; \\ v_{jb} &= \frac{1}{T_{je}^C}, \quad v_{jb_1} = \frac{1}{T_{je_1}^C}, \quad v_{je_1} = \frac{1}{T_{jb_1}^C}, \quad v_{je} = \frac{1}{T_{jb}^C}; \\ v_{\alpha b}^j &= v_{jb} + \mu_{\alpha b}^j f_{jb}, \quad v_{\alpha b_1}^j = v_{jb_1} + \mu_{\alpha b_1}^j f_{jb_1}, \quad v_{\alpha e_1}^j = v_{je_1} + \mu_{\alpha e_1}^j f_{je_1}, \quad v_{\alpha e}^j = v_{je} + \mu_{\alpha e}^j f_{je}.\end{aligned}$$

Предложенные модели основных характеристик функционирования компьютерных сетей, полученные с использованием аппарата нечетких множеств, позволяют решить проблему, связанную с большой трудоемкостью получения точных значений параметров для таких сложных систем, какими являются современные КС. Полученные на их основе показатели эффективности позволяют использовать их в задачах анализа и синтеза КС произвольной структуры.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Дымарский Я. С. Задачи и методы оптимизации сетей связи.— Санкт Петербург: 2005.
2. Захаров Г. П., Симонов М. В. Методы расчета многоканальных двухполосных систем передачи данных // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТПС.— 1974.— Вып. 5.
3. Тишин П. М., Ботнарь К. В. Нечеткие модели сетей связи // Холодильная техника и технология.— Одесса: ВЦ ОДАХ.— 2009.— № 8.— С. 60—67.

E. L. Shaporina, P. M. Tishin, S. A. Nesterenko, I. G. Mileyko

#### **Performance model of computer networks functioning in the uncertainty conditions.**

The paper presents models of the main characteristics of computer networks functioning, obtained using fuzzy sets. On the basis of the obtained models performance efficiency of computer networks are formulated.

Keywords: *computer network, mathematical model, the performance indicator, fuzzy sets.*