Запропоновано рішення задач управління трафіком в мережі NGN з використанням тензорних методів. Розглянута задача управління трафіком в мережі за допомогою тензорної моделі, яка представлена в системі координат гілок, базисних контурів та вузлових пар

Ключові слова: управління, трафік, тензорний метод

Предложено решение задач управления трафиком в сети NGN с применением тензорных методов. Рассмотрена задача управления трафиком в сети с помощью тензорной модели, представленной в системе координат ветвей, базисных контуров и узловых пар

Ключевые слова: управление, трафик, тензорный метод

Solution of traffic management problems with the help of tensor methods in NGN networks has been proposed. Traffic management problem in the network with the help of tensor model, represented in coordinate system of branches, basis contours and nodal pairs has been considered

Key words: management, traffic, tensor method

УДК 621.391

ТЕНЗОРНЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ТРАФИКОМ С ПОДДЕРЖКОЙ СЕТЕВЫХ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ

И.В. Стрелковская
Доктор технических наук, профессор, декан факультета
Кафедра высшей математики*
Контактный тел.: (048) 723-55-95, (048) 700-03-70
E-mail: dekanat-is@rambler.ru

И.Н. Соловская
Доцент
Кафедра коммутационных систем
*Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова, ул. Кузнечная 1, Одесса, Украина, 65029
Контактный тел.: 050-598-05-58
E-mail: i.solovskaya@onat.edu.ua

1. Введение

Современные телекоммуникационные сети развиваются в направлении внедрения сетей следующего поколения NGN (Next Generation Network), основой которых является использование пакетных технологий для передачи различных видов трафика по единой сетевой инфраструктуре с обеспечением механизмов QoS (Quality of Service). Вопросы гарантированного качества обслуживания QoS играют определяющую роль при внедрении сетей нового поколения NGN, а выбор сетевой технологии для реализации NGN основывается на критерии наличия механизмов обеспечения заданного уровня QoS. Поэтому при проектировании сетей нового поколения, основной из основных задач, которая требует решения, является задача управления сетевым трафиком. Решение этой задачи состоит в обеспечении необходимых параметров качества обслуживания, таких как пропускная способность, минимальные значения задержек и потерь пакетов при максимальной и сбалансированной загрузке ресурсов сети [1,2].

В качестве механизма управления сетевыми ресурсами используем технологию инжиниринга трафика Traffic Engineering (TE), которая использует методы и механизмы достижения сбалансированной загрузки ресурсов сети за счет рационального выбора прохождения трафика в сочетании с маршрутизацией и использованием функций перераспределения и ограничения потоков трафика. Исходными данными для выбора путей в ТЕ являются характеристики сети, такие как топология, производительность маршрутизаторов и связывающих их трактов, а также пропускные способности сетевых объектов [1,2].

2. Постановка задачи

В настоящей работе рассматривается задача управления трафиком в сети с помощью тензорной модели, представленной в системе координат ветвей, базисных контуров и узловых пар.

Использование тензорных методов анализа позволяет выполнять одновременную оценку структурных характеристик и функциональных свойств рассматриваемой сетевой модели, прогнозировать состояние сети на определенном промежутке времени с учетом топологии сети, а также учитывать особенности используемых протоколов [3-4, 6-9].

При известных значениях пропускных способностей в трактах сети, необходимо получить значения максимальных длин очереди пакетов и значения временных задержек в сетевых узлах и трактах сети, а также в заданных контурах сети с помощью тензорных методов анализа при условии отсутствия задержек в контурах сети.

3. Тензорный метод решения задач управления трафиком

Рассмотрим решение задачи управления трафиком в сети NGN на примере фрагмента телекоммуникационной сети, состоящей из пяти маршрутизаторов соединенных семью трактами передачи (рис. 1). Представим структурную модель сети в виде ориентированного взвешенного графа G(N,V), где $N=\{N_j, j=\overline{1,5}\}$ – множество вершин которого состав ляют узлы сети – маршрутизаторы, а $V=\{v_i, i=\overline{1,7}\}$ – множество дуг, моделирующих ветви сети, представленные трактами сети. По аналогии с тензорным подходом, предложенным Г. Кроном и развитым в работах [3,4,6-9], структура исходной анализируемой сети (рис. 1) описывается одномерным симплициальным комплексом. При этом эта структура является дискретным семимерным пространством.

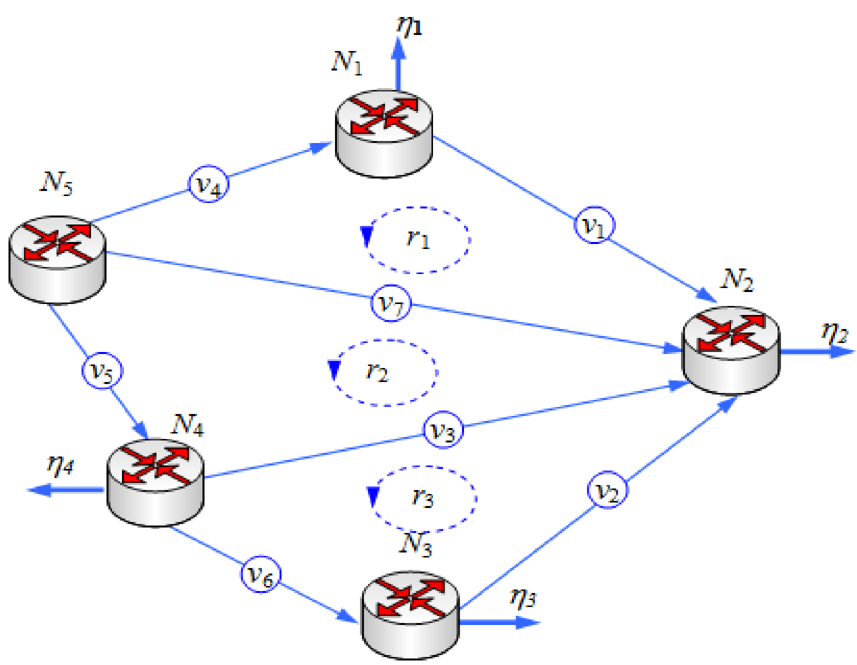

Рис. 1. Структурная схема фрагмента телекоммуникационной сети

Опишем введенное семимерное пространство с помощью тензоров, что позволит одновременно исследовать структурные свойства и функциональные характеристики рассматриваемого фрагмента телекоммуникационной сети. Рассмотрим две системы координат (СК): первая – система координат ветвей сети $v_i, i=\overline{1,7}$, а вторая – система координат неза висимых контуров $r_l, l=\overline{1,3}$ и узловых пар сети $\{N_j, N_k\}, j,k=\overline{1,5}$ [3,4].

Согласно рассматриваемого фрагмента телекоммуникационной сети, представленного в виде графа G(N,V), выберем в качестве остова сети дерево ,(N_5,N_1), (N_5,N_2), (N_2,N_4), (N_4,N_3), которое связывает все узлы сети. Хордами являются ветви графа v_1,v_2,v_5.

Произвольно зададим на структуре сети три базисных замкнутых контура. Контур r_1:{(N_2,N_1), (N_1,N_5), (N_5,N_2)}, контур r_2: {(N_2,N_5), (N_5,N_4), (N_4,N_2)} и контур r_3: {(N_2,N_4), (N_4,N_3), (N_3,N_2)}. Также зададим на структуре сети четыре независимых разомкнутых пути - пары узлов для опорного заданного узла N_5, заданное мно жеством узловых пар η: $\eta_1=\{N_5,N_1\}$, $\eta_2=\{N_5,N_2\}$, η_3={N_5,N_3}и η_4={N_5,N_4} . Тогда общее количество ветвей равно:

$$v=r+\eta \tag{1}$$

Где ν– общее количество ветвей, r – общее количество замкнутых контуров, а η – количество узловых пар.

Запишем систему уравнений зависимости между узловыми парами ηp, $p=\overline{1,4}$ и ветвями сети νi, $i=\overline{1,7}$

$$\begin{cases}\eta_1=-v_1+v_4;\\ \eta_2=v_1+v_2+v_3+v_7;\\ \eta_3=-v_2+v_6;\\ \eta_4=-v_3+v_5-v_6.\end{cases}$$

Аналогично запишем систему уравнений зависимости для базисов замкнутых контуров ri, $l=\overline{1,3}$ и ветвей сети νi, $i=\overline{1,7}$.

$$\begin{cases}r_1=v_1\\ r_2=v_5\\ r_3=v_2\end{cases}.$$

Согласно структурной модели рассматриваемой сети и заданных направлений передачи трафика формируем базисные матрицы координатного преобразования между заданными системами координат. Обозначим через $B_v^{r\eta}$ – матрицу ковариантного преобразования при переходе от систем координат базисных контуров и узловых пар к системе координат ветвей сети и через $B_{r\eta}^v$ – матрицу контравариантного преобразования при переходе от систем координат ветвей сети к системе координат базисных контуров и узловых пар.

Матрица $B_{r\eta}^v$ имеет вид:

$$
B_{r\eta}^{v} = \begin{array}{c} \\ \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \\ \nu_4 \\ \nu_5 \\ \nu_6 \\ \nu_7 \end{array}
\begin{array}{c}
\begin{array}{ccccccc} r1 & r2 & r3 & h1 & h2 & h3 & h4 \end{array} \\
\begin{pmatrix}
-1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 1 & -1 & 0 & 0 & -1 & -1 \\
-1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
1 & -1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1
\end{pmatrix}
\end{array}. \qquad (2)
$$

Согласно [3,4] матрицы преобразования $B_{r\eta}^{v}$ и $B_{v}^{r\eta}$ связаны между собой условием ортогональности:

$$B_{r\eta}^{v} \cdot (B_{v}^{r\eta})^{t} = I \quad , \qquad (3)$$

где I – единичная матрица, а t - знак транспонирования матрицы.

Согласно (2) и (3) найдем матрицу ковариантного преобразования $B_{v}^{r\eta}$:

$$
B_{v}^{r\eta} = \begin{pmatrix}
-1 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 1 & 0 & 1 & -1 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\
0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0
\end{pmatrix}. \qquad (4)
$$

В качестве метрики сети выбираем интенсивность нагрузки в трактах сети, а в качестве функционального уравнения, характеризующего параметры функционирования сети, используем тензорное обобщение формулы Литтла [5]:

$$h_{v}^{i} = l_{v}^{i} \tau_{i}^{v} \quad (\, i = \overline{1,m} \,), \qquad (5)$$

где h_{v}^{i} – длина очереди, в которой помещаются пакеты для передачи в i-ом тракте; τ_{i}^{v} – средняя задержка пакетов в i-м тракте; l_{v}^{i} – интенсивность трафика в i-м тракте; m – общее число трактов.

В качестве воздействующей (возбуждающей) переменной в уравнении (5) выступает величина h_{v}^{i}, а в качестве переменной отклика – задержка τ_{i}^{v} [3,4]. Исходя из постулата первого обобщения Крона [3], форма записи уравнений (5), характеризующих поведение отдельных элементов сети, должна соответствовать уравнению поведения сети в целом, что обуславливает замену системы скалярных уравнений (5) векторно-матричным уравнением.

Тогда (5) представляется в тензорном виде:

$$H = L \cdot T \,, \qquad (6)$$

где H – одновалентный ковариантный тензор, характеризующий длину очереди пакетов, L– дважды контравариантный тензор интенсивностей трафика в базисных путях сети, T – одновалентный ковариантный тензор, являющийся вектором задержек передачи пакетов.

Функциональное уравнение (5) в системе координат ветвей v имеет вид:

$$H_{v} = L_{v} \cdot T_{v} \,, \qquad (7)$$

где вектор $H_{v} = \begin{pmatrix} h_{1}^{v} & h_{2}^{v} & \ldots & h_{\rho}^{v} \end{pmatrix}^{t}$ определяет длину очереди в системе координат ветвей сети, $T_{v} = \begin{pmatrix} \tau_{1}^{v} & \tau_{2}^{v} & \ldots & \tau_{\rho}^{v} \end{pmatrix}^{t}$ - вектор задержек передачи пакетов в ветвях сети, $L_{v} = \begin{pmatrix} l_{v}^{ij} \end{pmatrix}$ – диагональная матрица интенсивностей трафика в ветвях сети, которая имеет диагональную структуру,ρ - ранг сети, причем ρ=n-1, где n – количество узлов сети.

Уравнение (5) в системе координат независимых контуров и узловых пар имеет вид:

$$H_{r\eta} = L_{r\eta} \cdot T_{r\eta} \,, \qquad (8)$$

где T_{η}, $H_{r\eta}$ и $L_{r\eta}$ – проекции тензоров T, H и L в базисе контуров rl, $l = \overline{1,3}$ и узловых пар ηp, $p = \overline{1,4}$, причем $H_{r\eta} = \begin{pmatrix} h_{1}^{r\eta} & h_{2}^{r\eta} & \ldots & h_{\rho}^{r\eta} \end{pmatrix}^{t}$ и $T_{r\eta} = \begin{pmatrix} \tau_{1}^{r\eta} & \tau_{2}^{r\eta} & \ldots & \tau_{\rho}^{r\eta} \end{pmatrix}^{t}$ – векторы, соответственно, длин очередей и задержек передачи пакетов в базисе контуров и узловых пар, а $L_{r\eta}$ – диагональная матрица интенсивностей трафика в системе координат независимых контуров и узловых пар сети ρ-го порядка.

Исходя из законов координатного преобразования при переходе от системы координат отдельных ветвей сети к системе координат базисных контуров и узловых пар, определим в качестве контравариантного тензора – тензор интенсивности трафика, а в качестве ковариантного – тензор средних задержек пакетов [3,4].

Основываясь на постулате первого обобщения Крона [3], правило преобразования дважды контравариантного тензора интенсивностей трафика в базисных путях сети в системе координат ветвей L_{v}:

$$L_{v} = (B_{r\eta}^{v})^{t} \cdot L_{r\eta} \cdot B_{r\eta}^{v} \quad , \qquad (9)$$

где $B_{r\eta}^{v}$ – матрица координатного преобразования при переходе от систем координат ветвей к системе координат базисных контуров и узловых пар, L_{v} – дважды контравариантный метрический тензор пропускных способностей узлов сети [3,4]. Тензор L_{v} имеет вид:

$$
L_{r\eta} = \begin{array}{c} \\ \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \\ \nu_4 \\ \nu_5 \\ \nu_6 \\ \nu_7 \end{array}
\begin{array}{c}
\begin{array}{ccccccc} r1 & r2 & r3 & h1 & h2 & h3 & h4 \end{array} \\
\left(\begin{array}{ccc|cccc}
l_{11} & l_{12} & l_{13} & l_{14} & l_{15} & l_{16} & l_{17} \\
l_{21} & l_{22} & l_{23} & l_{24} & l_{25} & l_{26} & l_{27} \\
l_{31} & l_{32} & l_{33} & l_{34} & l_{35} & l_{36} & l_{37} \\
\hline
l_{41} & l_{42} & l_{43} & l_{44} & l_{45} & l_{46} & l_{47} \\
l_{51} & l_{52} & l_{53} & l_{54} & l_{55} & l_{56} & l_{57} \\
l_{61} & l_{62} & l_{63} & l_{64} & l_{65} & l_{66} & l_{67} \\
l_{71} & l_{72} & l_{73} & l_{74} & l_{75} & l_{76} & l_{77}
\end{array}\right)
\end{array}
= \begin{pmatrix} L_{r\eta}^{1} & | & L_{r\eta}^{2} \\ --- & | & --- \\ L_{r\eta}^{3} & | & L_{r\eta}^{4} \end{pmatrix},
$$

(10)

где $L^1_{r\eta} = \begin{pmatrix} l_{11} & l_{21} & l_{13} \\ l_{21} & l_{22} & l_{23} \\ l_{31} & l_{32} & l_{33} \end{pmatrix}$, $L^2_{r\eta} = \begin{pmatrix} l_{14} & l_{15} & l_{16} & l_{17} \\ l_{24} & l_{25} & l_{26} & l_{27} \\ l_{34} & l_{35} & l_{36} & l_{37} \end{pmatrix}$,

$L^3_{r\eta} = \begin{pmatrix} l_{41} & l_{42} & l_{43} \\ l_{51} & l_{52} & l_{53} \\ l_{61} & l_{62} & l_{63} \\ l_{71} & l_{72} & l_{73} \end{pmatrix}$, $L^4_{r\eta} = \begin{pmatrix} l_{44} & l_{45} & l_{46} & l_{47} \\ l_{54} & l_{55} & l_{56} & l_{57} \\ l_{64} & l_{65} & l_{66} & l_{67} \\ l_{74} & l_{75} & l_{76} & l_{77} \end{pmatrix}$

Аналогично запишем правило преобразования дважды контравариантного тензора интенсивностей трафика L_v в системе координат контуров и узловых пар:

$$L_{r\eta} = (B_v^{r\eta})^t \cdot L_v \cdot B_v^{r\eta}, \qquad (11)$$

где $B_v^{r\eta}$ – матрица ковариантного преобразования при переходе от систем координат базисных контуров и узловых пар к системе координат ветвей сети, а L_v – дважды контравариантный метрический тензор пропускных способностей ветвей сети.

Преобразование вектора длин очередей из системы координат ветвей в систему координат контуров и узловых пар имеет вид [3,4]:

$$H_v = B^v_{r\eta} \cdot H_{r\eta}, \qquad (12)$$

где H_v – проекция тензоров в базисе ветвей, характеризующая длину пакетной очереди в базисе ветвей, $B_v^{r\eta}$ – матрица координатного преобразования при переходе от систем координат ветвей к системе координат базисных контуров и узловых пар, $H_{r\eta}$– вектор длины пакетной очереди в базисе контуров и узловых пар. При этом вектор $H_{r\eta}$ может быть представлен в виде:

$$H_{r\eta} = \begin{pmatrix} H_r \\ --- \\ H_\eta \end{pmatrix}. \qquad (13)$$

Компонентами вектора $H_{r\eta}$ в системе координат независимых контуров является $H_r = \begin{pmatrix} h_1^r & h_2^r & \dots & h_\rho^r \end{pmatrix}^t$. Аналогично для систем координат узловых пар $H_\eta = \begin{pmatrix} h_1^\eta & h_2^\eta & \dots & h_\rho^\eta \end{pmatrix}^t$.

Аналогично преобразование вектора задержек передачи пакетов из системы координат независимых ветвей сети в систему координат контуров и узловых пар имеет вид:

$$T_v = B_v^{r\eta} \cdot T_{r\eta}, \qquad (14)$$

где T_v – проекция тензоров в базисе ветвей, заданная вектором задержек передачи пакетов в базисе ветвей, $B_v^{r\eta}$ - матрица координатного преобразования при переходе от систем координат базисных контуров и узловых пар к системе координат ветвей сети, $T_{r\eta}$ – вектор задержек передачи пакетов в базисе контуров и узловых пар.

Вектор временных задержек, определенный в системе координат контуров и узловых пар $T_{r\eta}$, может быть представлен в виде:

$$T_{r\eta} = \begin{pmatrix} T_r \\ --- \\ T_\eta \end{pmatrix}, \qquad (15)$$

где $T_r = \begin{pmatrix} \tau_1^r & \tau_2^r & \dots & \tau_\rho^r \end{pmatrix}^t$ и $T_\eta = \begin{pmatrix} \tau_1^\eta & \tau_2^\eta & \dots & \tau_\rho^\eta \end{pmatrix}^t$.

Тогда, учитывая выражения (10), (13) и (15) имеет вид:

$$\begin{pmatrix} H_r \\ --- \\ H_\eta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L^1_{r\eta} & | & L^2_{r\eta} \\ --- & | & --- \\ L^3_{r\eta} & | & L^4_{r\eta} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} T_r \\ --- \\ T_\eta \end{pmatrix}, \qquad (16)$$

что позволяет найти значения максимальной длины пакетной очереди и значения временных задержек в сетевых узлах, трактах, а также контурах рассматриваемой сети при условии отсутствия задержек в контурах сети.

4. Пример решения задачи управления трафиком

Применяя вышеизложенный тензорный метод, решим задачу управления трафиком с обеспечением необходимых параметров качества обслуживания. Для этого определим величины максимальных длин пакетных очередей H_η, H_v, H_r и значения временных

задержек T_η, T_v, T_r в сетевых узлах, трактах и

контурах сети соответственно для заданного на рис. 1 фрагмента телеком-муникационной сети.

В качестве исходных данных полагаем известными пропускные способности ветвей сети, заданные матрицей L_v

$$L_v = \begin{pmatrix} 200 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 300 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 700 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 400 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 500 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 600 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 100 \end{pmatrix}. \qquad (17)$$

и значения длин пакетной очереди в сетевых узлах, заданные в виде координат вектора H_η

$$H_\eta = \begin{bmatrix} 0 & 100 & 0 & 0 \end{bmatrix}^t \qquad (18)$$

Для решения поставленной задачи используя (4), (11) и (17) найдем матрицу пропускных способностей $L_{r\eta}$

$$L_{r\eta}=\left(\begin{array}{ccc|cccc} 200 & 0 & 0 & 200 & -200 & 0 & 0\\ 0 & 500 & 0 & 0 & 0 & 0 & 500\\ 0 & 0 & 300 & 0 & 300 & -300 & 0\\ \hline 200 & 0 & 0 & 600 & -200 & 0 & 0\\ -200 & 0 & 300 & -200 & 1300 & -300 & -700\\ 0 & 0 & -300 & 0 & -300 & 900 & -600\\ 0 & 500 & 0 & 0 & -700 & -600 & 1800 \end{array}\right) \qquad (19)$$

Ввиду известной длины пакетной очереди между заданной парой узлов, заданной в виде координат вектора H_η и полученной матрицы пропускных способностей $L_{r\eta}$, определим величину задержки пакетов T_η на каждом узле сети.

Рассчитаем величины задержки пакетов на каждом узле сети. Определим значение вектора T_η. Для этого используем равенство (16). Имеем

$$H_\eta = L^3_{r\eta}\cdot T_r + L^4_{r\eta}\cdot T_\eta. \qquad (20)$$

Исходя из условия задачи, полагаем, что в заданных контурах отсутствует задержка пакетов, $T_r=0$, что гарантирует одинаковое время задержки вдоль каждой ветви и отсутствие зацикливания пакетов в контуре. Тогда, учитывая, что $T_r=0$ получим

$$T_\eta = \left(L^4_{r\eta}\right)^{-1} H_\eta\ . \qquad (21)$$

Тогда, согласно (16), (18), (19) и (21) получим

$$T_\eta = \begin{pmatrix} 600 & -200 & 0 & 0\\ -200 & 1300 & -300 & -700\\ 0 & -300 & 900 & -600\\ 0 & -700 & -600 & 1800 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 0\\ 100\\ 0\\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.060\\ 0.180\\ 0.137\\ 0.116 \end{pmatrix}. \qquad (22)$$

Определим порядок загруженности очередей пакетами в контурах сети H_r. Используем равенство (16). Имеем

$$H_r = L^1_{r\eta}\cdot T_r + L^2_{r\eta}\cdot T_\eta. \qquad (23)$$

С учетом того, что $T_r = 0$, из (23) следует, что

$$H_r = L^2_{r\eta}\cdot T_\eta. \qquad (24)$$

Используя (16), (19), (22) и (24) определим H_r

$$H_r \approx \begin{pmatrix} 200 & -200 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 500\\ 0 & 300 & -300 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{0.060}\\ \mathbf{0.180}\\ \mathbf{0.137}\\ \mathbf{0.116} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -24.0\\ 58.0\\ 12.9 \end{pmatrix} \qquad (25)$$

Найдем значение вектора временных задержек в системе координат контуров и узловых пар $T_{r\eta}$, используя (16),

$$T_{r\eta} = \left(L_{r\eta}\right)^{-1} H_{r\eta} \quad \text{или} \quad \begin{pmatrix} T_r\\ ---\\ T_\eta \end{pmatrix} = \left(L_{r\eta}\right)^{-1} \begin{pmatrix} H_r\\ ---\\ H_\eta \end{pmatrix}, \qquad (26)$$

где значения $L_{r\eta}$, H_r и H_η определяются формулами (16), (18), (19), (24) и (26) соответственно.

$$T_{r\eta} \approx \left(\begin{array}{c} -0.01200\\ -0.24430\\ 0.00005\\ \hline 0.06000\\ 0.18000\\ 0.16193\\ 0.14043 \end{array}\right). \qquad (27)$$

Определим значения временных задержек пакетов в системе координат ветвей сети, используя выражения (4), (14) и (27). Находим координаты вектора T_v для каждой ветви рассматриваемой структуры сети:

$$T_v \approx \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & -1 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1\\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \left(\begin{array}{c} -0.01200\\ -0.24430\\ 0.00005\\ \hline 0.06000\\ 0.18000\\ 0.16193\\ 0.14043 \end{array}\right) = \left(\begin{array}{c} 0.13200\\ 0.01812\\ 0.03957\\ \hline 0.06000\\ 0.11600\\ 0.02150\\ 0.18000 \end{array}\right). \qquad (28)$$

Тогда, используя выражения (7), (17) и (28) определим порядок загруженности очередей пакетами H_v на узлах сети:

$$H_v = \begin{pmatrix} 200 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 300 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 700 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 400 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 500 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 600 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 100 \end{pmatrix} \left(\begin{array}{c} 0.13200\\ 0.01812\\ 0.03957\\ \hline 0.06000\\ 0.11600\\ 0.02150\\ 0.18000 \end{array}\right) = \begin{pmatrix} 26.400\\ 5.436\\ 27.699\\ 24.000\\ 58.000\\ 12.900\\ 18.000 \end{pmatrix}. \qquad (29)$$

Таким образом, решена задача управления сетевыми ресурсами в сети при условии обеспечения сетевых параметров качества обслуживания. Найдены значения временных задержек пакетов и длин пакетных очередей в сетевых узлах и трактах сети, а также заданных контурах сети в зависимости от заданной пропускной способности в трактах сети и условии отсутствия задержек пакетов в контурах сети. Результаты решения показаны на рис. 2.

5. Выводы

1. Предложено использование тензорной модели, которая позволяет рассматривать структуру сети с помощью двух систем координат одновременно: системы координат ветвей сети и системы координат базисных контуров и узловых пар. Такой способ рассмотрения сети позволяет получить необходимые значения характеристик качества функционирования сети.

2. Продемонстрирована практическая реализация тензорного метода управления трафиком в сети NGN, показана возможность совместного математического моделирования структурных свойств и функциональных характеристик сети.

3. Применение тензорных моделей при решении задач управления трафиком в сети NGN позволило обеспечить получение в аналитическом виде результатов эффективного использования сетевых ресурсов при условии обеспечения их сбалансированной загрузки с гарантированным минимальным временем доставки пакетов.

4. Приведен пример решения задачи управления трафиком, который позволяет определить максимальную длину очереди пакетов и значения временных задержек в сетевых узлах и трактах сети, а также контурах сети в зависимости от заданной пропускной способности.

5. Рассмотренный метод решения сетевых задач дает возможность применять тензорные методы для решения различных сетевых задач, прогнозировать состояние сети на определенном промежутке времени с учетом топологии сети и особенности функционирования используемых протоколов.

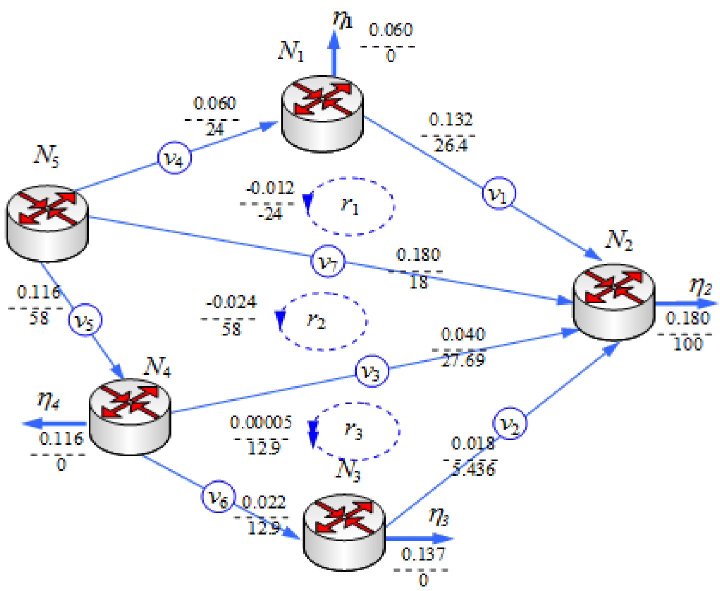

Рис. 2. Результаты решения задачи управления сетевыми ресурсами

Литература

1. Воробієнко П.П. Телекомунікаційні та інформаційні мережі. Підручник для вищих навчальних закладів [Текст] / П.П. Воробієнко, Л.А. Нікітюк, П.І. Резніченко. – К.: СММІТ-КНИГА, 2010. – 640 с.
2. Росляков А.В. Сети следующего поколения NGN [Текст] / Под редакцией А.В. Рослякова. – М.: Эко-Трендз, 2008 – 424 с.
3. Крон Г. Тензорный анализ сетей [Текст] / Г. Крон; [под ред. Л.Т. Кузина, П.Г. Кузнецова; пер. с англ.]. – М.: Сов. Радио, 1978. – 720 с.
4. Петров А.Е. Тензорная методология в теории систем [Текст] / А.Е. Петров. – М.: Радио и связь, 1985. – 152 с.
5. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. Пер. с англ. [Текст] / Пер. И.И. Грушко. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.
6. Лемешко А.В. Адаптация тензорных решений задачи многопутевой маршрутизации к дейтаграммным сетям [Текст] / А.В. Лемешко, Т.И. Григорьева // Наукові праці ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2003. – № 1. – С. 72-76.
7. Стрелковская И.В. Применение теории моделей и тензорного анализа при моделировании телекоммуникационных систем [Текст] / И.В. Стрелковская, Т.И. Григорьева // Радиотехника: Всеукр. науч.-техн. сб., Вып. 148, 2007. – С. 102-106.
8. Стрелковская И.В. Использование тензорного метода при расчете ТКС, представленной узловой сетью [Текст] / И.В. Стрелковская, И.Н. Соловская // Электронное научное специализированное издание - журнал «Проблемы телекоммуникаций», Харьков, ХНУРЕ, 2010. – № 1 (1). – http://pt.journal.kh.ua
9. Стрелковская И.В. Решение задач управления трафиком в сетях MPLS-TE с использованием тензорных моделей [Текст] / И.В. Стрелковская, И.Н. Соловская, Смаглюк Г.Г. // Цифрові технології. Збірник наукових праць. – Одеса, 2010. – Вип. 8. – С. 57-65.