

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УЗЛА КОММУТАЦИИ ТКС С УЧЕТОМ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ

Постановка задачи

Современные телекоммуникационные сети (ТКС) используются для своевременной и качественной доставки различных типов информации между абонентами сети. К их числу стоит отнести, прежде всего, видеоконференцсвязь, ТВ, видеотелефон, цветное факсимиле, видеопочту, поиск видеоинформации, большинство из которых являются услугами с комплексным предоставлением информации и в соответствии с рекомендациями ИТУ-Т определяются как мультимедиа.

В работе будет предложен подход к решению задач динамической управления в ТКС с учетом качества обслуживания абонентов. Важность поставленных задач диктует необходимость применения для их решения целостного подхода, базирующегося на использовании системы математических моделей, адекватно описывающих структуру ТКС и протекающие в ней процессы информационного обмена.

Цель статьи – разработка модели узла коммутации ТКС с учетом требований по качеству обслуживания абонентов сети.

Основной материал

Для уточнения формулировки задачи анализа характеристик рассмотрим для примера математическую модель сети на уровне морфологического описания ТКС, тогда ее математическую модель можно представить в виде неориентированного графа $G(\{M\}, \{L\})$, где $\{M\}$ – множество вершин; $\{L\}$ – множество дуг. Вершины соответствуют узлам коммутации ТКС.

а дуги – каналам передачи информации между узлами коммутации: при этом топология графа соответствует топологической структуре ТКС. Обозначим $E(i)$ – совокупность узлов коммутации k , где $(i, k) \in L$; $I(i)$ – совокупность узлов коммутации l такая, что $(l, i) \in L$.

Обозначим через $\|H\| = [h_{ij}]$ матрицу связности (инциденций) графа G . Элементы матрицы $\|H\|$:

$$h_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если существует дуга} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (1)$$

Каждому ребру $(i, j) \in \{L\}$ припишем следующий набор морфологических характеристик: C_{ij} – пропускная способность канала связи (i, j) ; l_{ij} – длина канала связи (i, j) .

Вершины графа G считаются пронумерованными в некоторой последовательности. Каждой вершине $i \in \{M\}$ приписан следующий набор характеристик: t_i – время обработки пакета на i -м УК; W_i – суммарная емкость памяти, выделяемая для очередей пакетов на i -м УК; $E(i)$ – число выходных каналов; $I(i)$ – число входных каналов; μ_i^p – интенсивность обслуживания p -го типа трафика; закон распределения времени обслуживания.

На вход i -го узла коммутации поступает P типов трафика предназначенного для j -го узла коммутации с интенсивностью λ_{ij}^p . К доставке каждого $p \in P$ из типов трафика предъявляются свои требования по качеству обслуживания (рис. 1).

Для передачи потоков информации между различными парами узлов сети образуются пути (маршруты).

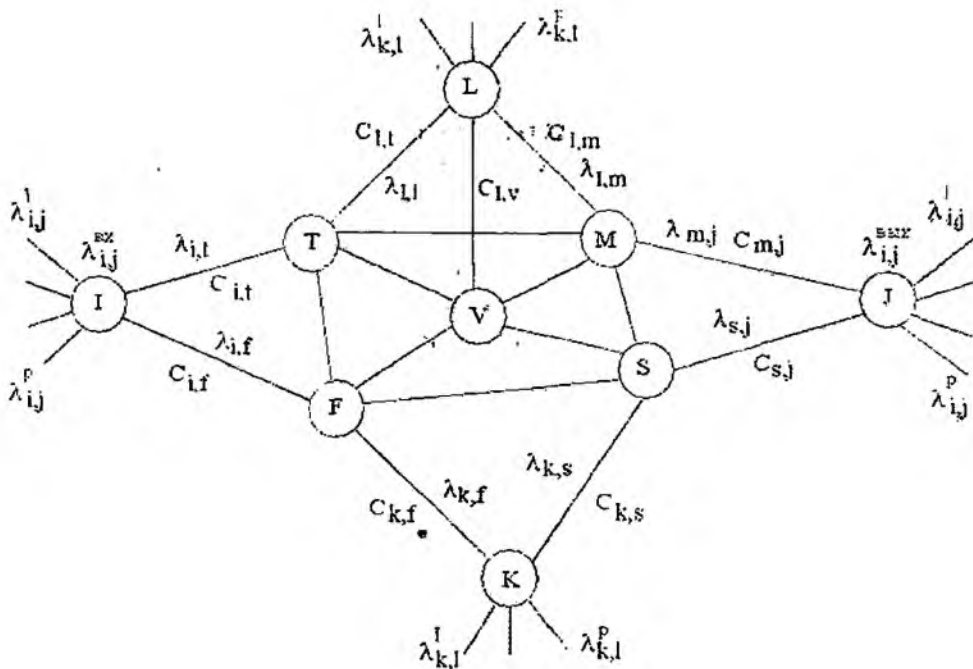


Рис 1

Путем π_{ij} между начальным i -м и конечным j -м узлами сети называется такая последовательность УК и каналов связи, в которой ни один узел не встречается дважды. Путь π_{ij} характеризуется длиной, числом промежуточных участков, пропускной способностью, определяемой минимальной пропускной способностью каналов связи из множества каналов, входящих в состав пути. Для полноты морфологического описания ТКС необходимо описать модель трафика сети. Поскольку основным назначением ТКС является обеспечение требуемого качества обслуживания пользователей, которое заключается в реализации их требований на передачу информации, будем считать, что поток, поступающие в сеть, определяют нагрузку ТКС. В общем случае входящий в УК сети поток является случайным. Модель трафика определяется законом распределения интервалов между моментами поступлений пакетов, законом распределения числа пакетов, адресом источника и получателя.

Рассмотрим процесс обработки информационного потока p -го типа в тракте передачи (i, j) более подробно (рис 2)

Функционирование узла коммутации можно описать в виде уравнения

$$N_{i,j}^p(r + \Delta t) = N_{i,j}^p(r) + \lambda_{i,j}^{p,ex}(r)\Delta t + \lambda_{i,j}^{p,mp}(r)\Delta t - \lambda_{i,j}^{p,ex}(r)\Delta t - \lambda_{i,j}^{p,om}(r)\Delta t, \quad (2)$$

где $\Delta t = t_{j+1} - t_j$; $\lambda_{i,j}^{p,ex}(r)$ – входной поток p -типа между узлами i и j в момент времени r ; $\lambda_{i,j}^{p,mp}(r)$ – транзитный поток p -типа между узлами i и j в момент времени r ; $\lambda_{i,j}^{p,om}(r)$ – выходной поток p -типа между узлами i и j в момент времени r ; $\lambda_{i,j}^{p,om}(r)$ – отброшенный поток p -типа между узлами i и j в момент времени r .

Входной поток $\lambda_{i,j}^{p,ex}(r)$ может быть допущен в сеть со скоростью $u_{i,j}^p(r)$ или не допущен в сеть, если недостаточно ресурсов для его качественного обслуживания (тогда $u_{i,j}^p(r) = 0$). Поступление входного потока можно описать при помощи функции $\lambda_{i,j}^{p,ex}(r)$, которая имеет вид

$$\lambda_{i,j}^{p,ex}(r)\Delta t = \begin{cases} 0, & \text{если поток не допущен} \\ \lambda_{i,j}^{p,ex}(r)\Delta t, & \text{при } \lambda_{i,j}^{p,ex}(r)\Delta t \leq u_{i,j}^p(r)\Delta t + \delta_{i,j}^p(r) \\ u_{i,j}^p(r)\Delta t + \delta_{i,j}^p(r), & \text{при } \lambda_{i,j}^{p,ex}(r)\Delta t > u_{i,j}^p(r)\Delta t + \delta_{i,j}^p(r) \end{cases} \quad (3)$$

где $\delta_{i,j}^p(r)$ – параметр, характеризующий допустимое превышение входного трафика $\lambda_{i,j}^p$.

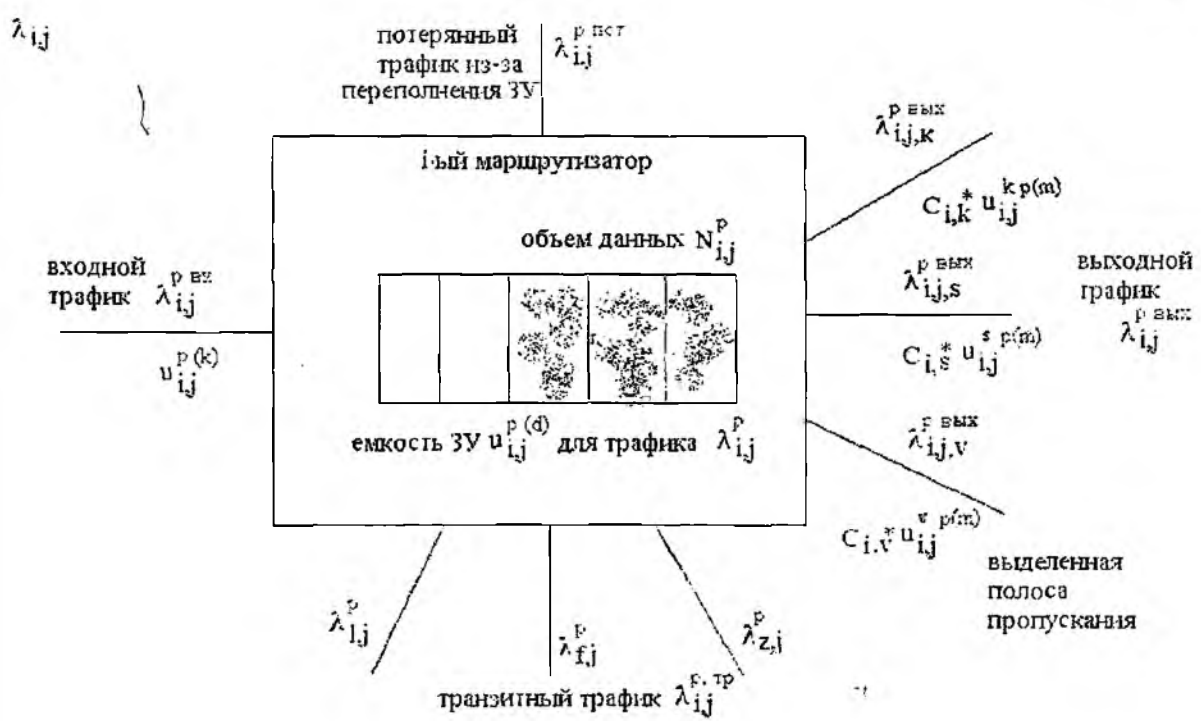


Рис 2

На узел *i* от смежных узлов для узла *j* поступает транзитный трафик $\lambda_{i,j}^{p, \text{мп}}(r)$, который можно представить в виде

$$\lambda_{i,j}^{p, \text{мп}}(r) = \sum_{l \in I(i)} \lambda_{l,i}^p(r). \tag{4}$$

Входной и транзитный потоки размещаются в ЗУ на узле *i* для дальнейшей передачи. Тогда общий поток $\lambda_{i,j}^p(r)$ можно представить в виде выражения

$$\lambda_{i,j}^p(r) = \lambda_{i,j}^{p, \text{мп}}(r) + \lambda_{i,j}^{p, \text{вх}}(r) \tag{5}$$

Для передачи трафика $\lambda_{i,j}^p(r)$ из общего объема ЗУ (W_i) выделяется емкость $w_{i,j}^p$. Текущее значение объема данных, находящегося в ЗУ ($N_{i,j}^p$) можно описать в виде функции $N_{i,j}^p(r)$, которая имеет следующий вид

$$N_{i,j}^p(r) = \begin{cases} N_{i,j}^p(r), & \text{при } N_{i,j}^p(r) \leq w_{i,j}^p(r) \\ w_{i,j}^p(r), & \text{при } N_{i,j}^p(r) > w_{i,j}^p(r) \end{cases} \tag{6}$$

Причем для параметра $w_{i,j}^p(r)$ должно выполняться ограничение

$$w_{i,j}(r) \geq \sum_{p \in P} w_{i,j}^p(r). \tag{7}$$

В свою очередь, данные, находящиеся в ЗУ $N_{i,j}^p(r)$, распределяются по выходным каналам для дальнейшей передачи *e* выходным каналам, где $e \in E(i)$. Поток $\lambda_{i,j}^p(r)$ после распределения по *e* выходным каналам передаются с интенсивностью $\lambda_{i,j}^{e,p}(r)$. Для этого в выходных каналах выделяется соответствующая часть пропускной способности

$$C_{i,e}^* \phi_{i,j}^{e,p}(r), \text{ для любых } e \in E(i), \tag{8}$$

где $C_{i,e}$ – пропускная способность канала между смежными узлами *i* и *e*; $\phi_{i,j}^{e,p}(r)$ – маршрутная переменная (часть пропускной способности канала передачи данных (*i, e*), выде-

ленная для p -го типа данных, передаваемых в тракте передачи (i, j) . Ввиду ограниченной пропускной способности трактов передачи имеет место ограничение

$$\sum_{j \in M} \sum_{p \in P} \varphi_{i,j}^{e,p}(r) \leq 1 \quad (9)$$

Тогда объем исходящего (входящего) трафика можно описать в виде функции

$$\lambda_{i,j}^{e,p}(r) \Delta t = \begin{cases} \lambda_{i,j}^{e,p}(r) \Delta t, & \text{при } \lambda_{i,j}^{e,p}(r) \Delta t \leq \varphi_{i,j}^{e,p}(r) C_{i,e} \Delta t + \delta_{i,j}^{e,p}(r) \\ \varphi_{i,j}^{e,p}(r) C_{i,e} \Delta t + \delta_{i,j}^{e,p}(r), & \text{при } \lambda_{i,j}^{e,p}(r) \Delta t > \varphi_{i,j}^{e,p}(r) C_{i,e} \Delta t + \delta_{i,j}^{e,p}(r) \end{cases} \quad (10)$$

где $\delta_{i,j}^{e,p}(r)$ – параметр, характеризующий допустимое превышение выходного трафика $\lambda_{i,j}^{e,p}(r)$

В процессе функционирования узла коммутации часть информационного потока может быть потеряна вследствие переполнения ЗУ ($\lambda_{i,j}^{p,nom}(r)$). Согласно теории массового обслуживания поток, потерянной информации из-за переполнения ЗУ можно определить следующим образом:

$$\lambda_{i,j}^{p,nom}(r) = \frac{1 - (\rho_{i,j}^p)}{1 - (\rho_{i,j}^p)^{M_{i,j}^p + 2}} * (\rho_{i,j}^p)^{M_{i,j}^p + 1} * \lambda_{i,j}^p(r), \quad (11)$$

где $\rho_{i,j}^p = \frac{\lambda_{i,j}^p(r)}{\mu_{i,j}^p(r)}$ – коэффициент загрузки направления (i, j) , $\mu_{i,j}^p(r)$ – поток обслуженных заявок

Тогда уравнение (2) можно представить в виде

$$N_{i,j}(r+1) = N_{i,j}(r) + \lambda_{i,j}(r) * \Delta t - \sum_{e \in E(i)} \lambda_{i,j}^{e,p}(r) \Delta t - \frac{1 - (\rho_{i,j}^p(r))}{1 - (\rho_{i,j}^p(r))^{M_{i,j}^p + 2}} * (\rho_{i,j}^p(r))^{M_{i,j}^p + 1} * \lambda_{i,j}(r) \Delta t, \quad (12)$$

где $i, j \in M, i \neq j, \Delta t = t_{i,j} - t_{i,j-1}$

Составив уравнения (2) для всех пар узлов (i, j) и для всех типов потоков p можно определить время задержки $T_{i,j}^p$, которое на i -м узле будет находиться пакет p -го типа, предназначенный для j -го узла. Согласно теореме Литтла

$$T = \frac{N}{\lambda} \quad (13)$$

Среднее время нахождения пакета на i -м узле будет находиться пакет p -го типа, предназначенный для j -го узла можно определить

$$T_{i,j}^p = \frac{N_{i,j}^p}{\lambda_{i,j}^p * \frac{1 - (\rho_{i,j}^p)}{1 - (\rho_{i,j}^p)^{M_{i,j}^p + 2}} * (\rho_{i,j}^p)^{M_{i,j}^p + 1}} \quad (14)$$

Тогда среднее время доставки пакета через сеть определяется маршрутом доставки π_j

$$T_{\pi_j} = \sum_{i \in \pi_j} T_{i,j}^p = \sum_{i \in \pi_j} \frac{N_{i,j}^p}{\lambda_{i,j}^p * \frac{1 - (\rho_{i,j}^p)}{1 - (\rho_{i,j}^p)^{M_{i,j}^p + 2}} * (\rho_{i,j}^p)^{M_{i,j}^p + 1}} \quad (15)$$

Для определения других характеристик качества обслуживания необходима оценка пропускной способности маршрута. Выходной поток на i -м узле p -го типа, предназначенный для j -го узла $\lambda_{i,j}^{p,вых}(r)$, можно выразить через входной поток $\lambda_{i,j}^p(r)$:

$$\lambda_{i,j}^{p,вых}(r) = \frac{1 - (\rho_{i,j}^p)^{M_{i,j}^p + 1}}{1 - (\rho_{i,j}^p)^{M_{i,j}^p + 2}} \lambda_{i,j}^p(r), \quad (16)$$

В свою очередь, вероятность потери пакета на i -м узле p -го типа, предназначенного для j -го узла $P_{i,j}^{p, \text{loss}}(r)$, можно представить в следующем виде.

$$P_{i,j}^{p, \text{loss}}(r) = \frac{1 - (\rho_{i,j}^p(r))}{1 - (\rho_{i,j}^p(r))^{W_{i,j}^p + 2}} * (\rho_{i,j}^p(r))^{W_{i,j}^p + 1}. \quad (17)$$

Следовательно, интенсивность выходного потока и общая вероятность потери пакета на маршруте π_j можно представить так:

$$\lambda_{i,j}^{p, \text{out}}(r) = \prod_{i,j \in \pi_j} \frac{1 - (\rho_{i,j}^p(r))^{W_{i,j}^p + 1}}{1 - (\rho_{i,j}^p(r))^{W_{i,j}^p + 2}} \lambda_{i,j}^p(r). \quad (18)$$

$$P_{i,j}^{p, \text{loss}}(r) = \prod_{i,j \in \pi_j} \frac{1 - (\rho_{i,j}^p(r))}{1 - (\rho_{i,j}^p(r))^{W_{i,j}^p + 2}} * (\rho_{i,j}^p(r))^{W_{i,j}^p + 1}. \quad (19)$$

Таким образом, задав систему уравнений (2), (16), можно дать описание формальное описание функционирования ТКС

$$\left\{ \begin{aligned} N_{i,j}^p(r+1) &= N_{i,j}^p(r) + \lambda_{i,j}^p(r) * \Delta t - \sum_{v \in I(i)} \lambda_{i,v}^{s,p}(r) \Delta t - \frac{1 - (\rho_{i,j}^p(r))}{1 - (\rho_{i,j}^p(r))^{W_{i,j}^p + 2}} * (\rho_{i,j}^p(r))^{W_{i,j}^p + 1} * \lambda_{i,j}^p(r) \Delta t \\ \lambda_{i,j}^{p, \text{out}}(r) &= \frac{1 - (\rho_{i,j}^p(r))^{W_{i,j}^p + 1}}{1 - (\rho_{i,j}^p(r))^{W_{i,j}^p + 2}} \lambda_{i,j}^p(r) \end{aligned} \right. \quad (20)$$

где $p = \overline{1, P}$; $i = \overline{1, M}$; $j = \overline{1, M}$.

Каждый поток $\lambda_{i,j}^p$ предъявляет различные требования по качеству доставки информации через ТКС в соответствии с логикой предоставляемой службы. Можно предположить, что требования по качеству обслуживания не зависят от конкретной пары абонентов, участвующих в информационном обмене, а зависят только от типа предоставляемой службы.

Пусть для потоков каждой службы $\lambda_{i,j}^p$ необходимо выполнение требований по качеству обслуживания, которые можно представить в виде следующих ограничений:

$C_{\text{тек}}^i \geq C_{\text{тр}}^i$ для всех возможных потоков.

$T_{\text{тек}}^i \leq T_{\text{тр}}^i$ для всех возможных потоков,

$\tau_{\text{тек}}^i \leq \tau_{\text{тр}}^i$, для всех возможных потоков,

$P_{\text{шт}}^i \leq P_{\text{шт тр}}^i$ для всех возможных потоков.

$P_{\text{шт}}^i \leq P_{\text{шт тр}}^i$ для всех возможных потоков. •

Требования, предъявляемые к качеству обслуживания трафика $\lambda_{i,j}^p$, можно представить в виде вектора

$$q^p = (C^p, T^p, \tau^p, P_{\text{шт}}^p, P_{\text{шт тр}}^p). \quad (21)$$

Тогда требования ко всем потокам можно описать в виде матрицы

$$q = \begin{vmatrix} q^1 & \dots & q^p & \dots & q^n \end{vmatrix}. \quad (22)$$

Каждый элемент q представляет собой требования по отдельным показателям обслуживания для каждого типа трафика. Так, например, при передаче данных особое внимание уделяется времени доставки и вероятности потери информации, а при передаче мультимедийного трафика главными показателями качества доставки является время доставки и джиттер.

Если хотя бы одно из требований не выполняется, то будем считать, что доставить такой поток ТКС не может. Для отдельных потоков требования по различным показателям

качества могут быть неопределенными. В таком случае будем считать, что данный показатель не влияет на информационную ценность потока. Такой параметр не является ограничивающим при выделении ресурсов ТКС данному потоку. Количество строк в матрице q определяется количеством показателей качества обслуживания, которые определяют качество передачи потоков в ТКС.

Каждый поток $\lambda_{i,j}^p$ имеет текущие значения указанных показателей качества обслуживания, которые можно представить в виде вектора $\alpha_{i,j}^p$ и имеющего ту же размерность, что и вектор q^p . Тогда выполнение s -го требования для p -го потока $q_{p,s}$ можно представить в виде

$$\alpha_{p,s} \leq q_{p,s}. \quad (23)$$

Неравенство (23) должно выполняться для всех элементов вектора.

При выделении ресурсов ТКС для потока $\lambda_{i,j}^p$, необходимо, чтобы выполнялись условия, указанные выше. Таким образом, предложенная модель системы динамического управления ТКС позволяет учитывать требования абонентов сети по качеству обслуживания.

Выводы

Проанализировано функционирование системы динамического управления ТКС. Предложена модель динамического управления ТКС, которая позволяет распределять ресурсы ТКС с учетом требований по качеству обслуживания абонентов сети. В дальнейшем предполагается разработать более детальную модель системы динамического управления ТКС.

Список литературы: 1. *Поповский В. В.* Модель управления реструктуризацией телекоммуникационной сети // Радиотехника: Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. 2004. Вып. 138. С. 25-31. 2. *Лосев Ю. И., Руккас К. М.* Алгоритм функционирования многоагентной системы динамического управления компьютерными сетями // Вісник Харк. нац. ун-ту. Серія „Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління”. 2005. Вип. 5 (№703). С. 165-172. 3. *Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 2-е изд. / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер* СПб.: Питер, 2003. 864 с. 4. *Vila P., Marzo J. L., Fabregat R., Harle D.* “A multi-agent Approach to Dynamic Virtual Path Management in ATM Network.” IMPACT’99 Workshop. Seattle December 1999. 5. *H. Yamaki, M. P. Wellman, T. Ishida* “A Market-Based Approach for Allocating QoS to Multimedia Applications”, ICMAS-96. 1996. P.385-392.

*Харьковский национальный
университет радиозлектроники*

Поступила в редколлегию 07.09.2008