

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО
СИНТЕЗА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ С ОБЕСПЕЧЕНИЕМ
КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ**

© 2013 г. А.В. ЛЕМЕШКО, В.Л. СТЕРИН

Харьковский национальный университет радиозлектроники, Украина

Введение

Решение задач структурно-функционального синтеза современных телекоммуникационных сетей (ТКС) должно производиться с учетом как технологических, так и экономических особенностей процесса проектирования. При этом надежный фундамент эффективного решения подобного рода задач может и должен закладываться на этапе их математического описания (моделирования) [1]. Важным требованием к процессу математического моделирования задач структурно-функционального синтеза ТКС является учет протяженности во времени (многоэтапности) процесса проектирования сетей, что предполагает необходимость использования динамических моделей, представленных дифференциальными (разностными) уравнениями состояния. Поэтому в рамках данной работы развивается парадигма, предложенная в работе [2] и основанная на описании рассматриваемого процесса системой линейных разностных и алгебраических уравнений в пространстве состояний. Дополнительно в структуру предложенной модели в виде дополнительных ограничений вводятся условия обеспечения качества обслуживания (Quality of Service, QoS) по скоростным и временным показателям. Формализация подобных условий в аналитическом виде стала возможной благодаря тензорному описанию ТКС [3].

Основная часть

Вероятную (в общем случае избыточную по своему содержанию) структуру ТКС можно охарактеризовать графом $G(R, L)$, множество вершин которого $R = R^* \cup R^{**}$ моделирует множество узлов оптимизируемой сети $R^* = \{R_i^*, i = \overline{1, N}\}$, где R_i^* – i -й узел транспортной сети, N – их общее число; а также множество абонентов (сетей доступа) $R^{**} = \{R_j^{**}, j = \overline{1, M}\}$, где R_j^{**} – j -й абонент (сеть доступа) ТКС, M – их общее число). Множество дуг $L = L^* \cup L^{**}$ графа описывает множество возможных трактов передачи между узлами ТКС $L^* = \{L_{i,j}^*, i, j = \overline{1, N}; i \neq j\}$ и линий доступа $L^{**} = \{L_{m,s}^{**}, m = \overline{1, M}; s = \overline{1, N}\}$ между абонентами и приграничными узлами ТКС, возможность создания которых заложена в ходе оптимизации (проектирования), т.е. $L_{i,j}^*$ – создаваемый тракт передачи (ТП) между i -м и j -м узлами транспортной сети, а $L_{m,s}^{**}$ – возможная линия доступа (ЛД) от m -го абонента до s -го узла транспортной сети.

Дополняя перечень вводимых обозначений, предположим, что в качестве известных также выступают следующие исходные данные: Q – общий объем капиталов-

вложений в создаваемую ТКС, измеряемый, например, в рублях; $Z = \{Z_{h,m}; h = \overline{1, H}; m = \overline{1, M}\}$ – множество потоков пакетов, поступающих в ТКС от отдельных абонентов или сетей доступа, причем $Z_{h,m}$ – h -й поток, поступающий от m -го абонента (сети доступа) до узел транспортной сети; K – число временных интервалов (этапов, стадий) в общем процессе структурно-функционального синтеза ТКС; $\Delta t = t_{k+1} - t_k$ – средняя длительность одного этапа структурно-функциональной оптимизации ТКС, t_k и t_{k+1} – времена начала и окончания k -го временного интервала; $b_{i,j}(k)$ – удельная стоимость ввода в строй единицы пропускной способности ТП $L_{i,j}^*$ сети на k -м временном интервале, измеряемая в руб/(бум/c); $k = \overline{1, K}$; $r_{h,m}(k)$ – средняя интенсивность входного потока $Z_{h,m}$ на k -м временном интервале (бум/c).

Кроме того, введем следующие обозначения для рассчитываемых в ходе структурно-функционального синтеза ТКС величин: $c_{i,j}(k)$ – пропускная способность создаваемого ТП $L_{i,j}^*$ на k -м временном интервале (бум/c); $q_{i,j}(k)$ – объем капиталовложений, направленный на наращивание ПС тракта передачи $L_{i,j}^*$ на k -м временном интервале (руб); $u_{i,j}(k)$ – доля капиталовложений, выделенная на k -м временном интервале на наращивание ПС ТП $L_{i,j}^*$.

Тогда динамику изменения структурных и функциональных параметров оптимизируемой ТКС в ходе решения задач выбора топологии (ВТ) и выбора пропускных способностей (ВПС) можно описать следующей системой разностных уравнений:

$$c_{i,j}(k+1) = c_{i,j}(k) + Qu_{i,j}(k)g_{i,j}(k), \quad (1)$$

где $i, j = \overline{1, N}; i \neq j$; $g_{i,j}(k) = 1/b_{i,j}(k)$, $\Delta c_{i,j}(k) = Qu_{i,j}(k)g_{i,j}(k)$ – приращение ПС ТП $L_{i,j}^*$ за k -й временной интервал.

В ходе решения задачи структурно-функционального синтеза ТКС необходимо обеспечить выполнение следующих важных условий-неравенств:

$$0 \leq \Delta c_{i,j}(k) \leq \Delta c_{i,j}^{\max}(k), \quad \sum_{k=1}^K \sum_{L_{i,j}} u_{i,j}(k) \leq 1. \quad (2)$$

В условии (2) параметр $\Delta c_{i,j}^{\max}(k)$ численно характеризует максимально возможную величину приращения ПС тракта передачи $L_{i,j}^*$ за k -й временной интервал.

С точки зрения формализации задач распределения потоков (РП) на уровнях доступа и транспортной сети в дополнение к вышеизложенному с каждым потоком кроме его средней интенсивности ($r_{h,m}(k)$) будет ассоциирован еще ряд ключевых параметров: $s_{h,m}$ и $d_{h,m}$ – узел-источник и узел-получатель пакетов потока $Z_{h,m} \in Z$ соответственно. С точки зрения решения данных задач в рамках общей проблемы структурно-функционального синтеза ТКС дополнительной управляющей (маршрутной) переменной будет служить величина $x_{i,j}^{h,m}(k)$, которая характеризует долю интенсивности потока $Z_{h,m} \in Z$, который протекает в тракте $L_{i,j}^*$ на k -м временном интервале. Пусть переменная $\alpha_{h,m}$ моделирует долю интенсивности потока $Z_{h,m} \in Z$, получившей отказ в обслуживании ТКС на k -м временном интервале. Для предотвращения воз-

можных потерь пакетов на сетевых узлах ТКС в ходе расчета маршрутных переменных $x_{i,j}^{h,m}(k)$ важно выполнить условия сохранения потока ($Z_{h,m} \in Z$):

$$\begin{cases} \sum_{j:L_{i,j}^* \in L^*} x_{i,j}^{h,m}(k) - \sum_{j:L_{i,j}^* \in L^*} x_{j,i}^{h,m}(k) = 0, & i \neq s_{h,m}, d_{h,m}; \\ \sum_{j:L_{i,j}^* \in L^*} x_{i,j}^{h,m}(k) - \sum_{j:L_{i,j}^* \in L^*} x_{j,i}^{h,m}(k) = 1 - \alpha_{h,m}(k), & i = s_{h,m}; \\ \sum_{j:L_{i,j}^* \in L^*} x_{i,j}^{h,m}(k) - \sum_{j:L_{i,j}^* \in L^*} x_{j,i}^{h,m}(k) = \alpha_{h,m}(k) - 1, & i = d_{h,m}, \end{cases} \quad (3)$$

а также условий недопущения перегрузки трактов передачи ТКС в ходе маршрутизации (распределения) потоков (РП):

$$\sum_{Z_{h,m} \in Z} r_{h,m}(k) x_{i,j}^{h,m}(k) \leq c_{i,j}(k); \quad L_{i,j}^* \in L^*. \quad (4)$$

В соответствии с физикой решаемой задачи (3), (4) на переменные $x_{i,j}^{h,m}(k)$ и $\alpha_{h,m}(k)$ накладываются такие ограничения:

$$0 \leq x_{i,j}^{h,m}(k) \leq 1 \quad \text{и} \quad 0 \leq \alpha_{h,m}(k) \leq 1. \quad (5)$$

Основываясь на результатах, полученных в работе [3], в качестве условий обеспечения QoS в предлагаемой модели целесообразно использовать неравенства:

$$r_{h,m}(k)(1 - \alpha_{h,m}) \leq \left(G_{\pi\eta}^{(4,1)} - G_{\pi\eta}^{(4,2)} \left[G_{\pi\eta}^{(4,4)} \right]^{-1} G_{\pi\eta}^{(4,3)} \right) \tau_{h,m}, \quad (6)$$

в которых $\tau_{h,m}$ – допустимая межконцевая средняя задержка пакетов потока $Z_{h,m}$.

Метрические параметры $G_{\pi\eta}^{(i,j)}$ в выражении (6) характеризуют особенности структурного построения ТКС, функциональные характеристики трактов передачи, моделей потоков и обслуживания пакетов на узлах ТКС. Для их расчета используется следующая методика. Например, если принять, что μ – цикломатическое число (число базисных контуров в сети), ϕ – ранг сети (число узловых пар), n – число трактов передачи в ТКС, также что тракт передачи моделируется, например, системой массового обслуживания типа M/M/1, то $G_v = \|g_v^{ij}\|$ – диагональная матрица размера $n \times n$, элементы главной диагонали которой рассчитываются согласно выражению $g_v^{ii} = \lambda_i (c_i - \lambda_i)$, в котором λ_i – интенсивность агрегированного потока в i -м тракте передачи, c_i – пропускная способность i -го тракта передачи в рассматриваемый момент времени. Тогда объект G представляет собой дважды контравариантный метрический тензор [3], проекции которого при смене координатной системы его рассмотрения (из системы координат трактов передачи в систему координат контуров и узловых пар) преобразуются следующим образом:

$$G_{\pi\eta} = A^t G_v A,$$

где A – матрица ковариантного преобразования размера $n \times n$, $[\cdot]^t$ – операция транспонирования матрицы.

$$\text{Представляя } G_{\pi\eta} = \left\| \begin{array}{c|c} G_{\pi\eta}^{(1)} & G_{\pi\eta}^{(2)} \\ \hline G_{\pi\eta}^{(3)} & G_{\pi\eta}^{(4)} \end{array} \right\|, \quad \text{где } G_{\pi\eta}^{(1)}, G_{\pi\eta}^{(4)} \text{ – квадратные подматрицы}$$

размера $\mu \times \mu$ и $\phi \times \phi$ соответственно, $G_{\pi\eta}^{(2)}$ – подматрица размера $\mu \times \phi$, $G_{\pi\eta}^{(3)}$ – подматрица размера $\phi \times \mu$. Таким образом, искомые параметры из выражения (6) являются

слагаемыми матрицы $G_{\pi\eta}^{(4)} = \begin{vmatrix} G_{\pi\eta}^{(4,1)} & | & G_{\pi\eta}^{(4,2)} \\ \hline & & \\ G_{\pi\eta}^{(4,3)} & | & G_{\pi\eta}^{(4,4)} \end{vmatrix}$, причем $G_{\pi\eta}^{(4,1)}$ – первый элемент

матрицы $G_{\pi\eta}^{(4)}$, который является скаляром, определяя, тем самым, размерность остальных компонентов данной матрицы.

В работе предлагается к использованию критерий, связанный с минимизацией следующего стоимостного функционала:

$$J = \sum_{k=1}^K \sum_{Z_{h,m} \in Z} \sum_{L_{i,j}^* \in L^*} f_{i,j}^{h,m}(k) x_{i,j}^{h,m}(k) + \sum_{k=1}^K \sum_{L_{i,j}^* \in L^*} a_{i,j}(k) c_{i,j}(k) + \sum_{k=1}^K \sum_{Z_{h,m} \in Z} w_{h,m}(k) r_{h,m}(k) \alpha_{h,m}(k), (7)$$

в котором $f_{i,j}^{h,m}(k)$ – маршрутная метрика ТП $L_{i,j}^*$ при передаче трафика $Z_{h,m}$ на k -м временном интервале; $a_{i,j}(k)$ – относительная стоимость использования единицы пропускной способности тракта передачи $L_{i,j}^*$ на k -м временном интервале; $w_{h,m}(k)$ – удельная прибыль от обслуживания потока $Z_{h,m}$ на k -м временном интервале, измеряемая в руб/(бит/с).

Заключение

Выражения (1)-(7) в целом описывают процесс структурно-функционального синтеза ТКС в динамике на уровне согласованного решения задач ВТ, ВПС ТП, РП и ограничения потока, поступающего в сеть. Новизна модели по сравнению с результатом, полученным в работе [2], состоит, во-первых, в том, что не требуется предварительное решение задачи распределения капиталовложений между этапами проектирования, что является несомненно достоинством предложенной модели. Во-вторых, введение в модель условия (6) позволило изначально получать решения, в рамках которых гарантировались заданные значения ключевых показателей QoS – скорости и средней задержки пакетов. В ранее известных решениях [1] для обеспечения заданных значений данных показателей качества обслуживания процесс расчетов приобретал итерационный характер. Кроме того, модификация также коснулась критерия оптимальности, в рамках которого теперь производится учет условных затрат на оптимизацию процессов ВТ, ВПС ТП, РП и ограничения потоков, поступающего в ТКС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pióro M., Medhi D. Routing, Flow, and Capacity Design in Communication and Computer Networks, Morgan Kaufmann. – 2004, 765 p.
2. Lemeshko O., Sterin V. Design and structural-functional optimization transport telecommunication network. 2013 XIIth international conference «The experience of designing and application of cad systems in microelectronics», Polyana-Svalyava-(Zakarpattya). – 2013, p. 208-210.
3. Лемешко А.В., Евсеева О.Ю. Тензорная модель многопутевой маршрутизации с гарантиями качества обслуживания одновременно по множеству разнородных показателей [Электронный ресурс] // Проблемы телекоммуникацій. – 2012, № 4 (9), с. 16-31. – Режим доступа: http://pt.journal.kh.ua/2012/4/1/124_lemeshko_tensor.pdf