

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL OPTIMIZATION OF TRANSPORT TELECOMMUNICATION NETWORK

Lemeshko O.V., Sterin V.L.
Kharkiv National University of Radioelectronics
14, Lenin Ave., Kharkiv, 61166, Ukraine
Ph.: (057) 7021320, e-mail: avlem@ukr.net

Abstract — A dynamic model of the structural and functional optimization telecommunications transport network at the state space is proposed. The model describes the process of coordinated tasks by the choice of topology (CT) and channel bandwidth (CCB), flow distribution (FD) and limit traffic (LT) entering the transport network. The model features the capability of solving the problem of distribution of investment between the stages of optimization in concert with the objectives of CT, CCB, FD and LT, which is an advantage of the proposed solution. The use of the criterion of optimal solution considering the total cost of the structural and functional optimization of transport telecommunication network is justified.

СТРУКТУРНАЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

Лемешко А. В., Стерин В. Л.
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
14, пр. Ленина, Харьков, 61166, Украина
тел.: (057) 7021320, e-mail: avlem@ukr.net

Аннотация — Предложена динамическая модель структурной и функциональной оптимизации транспортной телекоммуникационной сети, представленная в пространстве состояний. Модель описывает процесс согласованного решения задач по выбору топологии (ВТ) и пропускных способностей трактов передачи (ВПС ТП), распределения потоков (РП) и ограничения трафика (ОТ), который поступает в транспортную сеть. В модели заложена возможность решения задачи распределения капиталовложений между этапами оптимизации согласовано с задачами ВТ, ВПС ТП, РП и ОТ, что является преимуществом предлагаемого решения. Обоснован к применению критерий оптимальности предлагаемых решений, учитывающий суммарные затраты на структурную и функциональную оптимизацию транспортной телекоммуникационной сети.

I. Введение

Современные транспортные телекоммуникационные сети (ТТКС) де-факто являются одними из наиболее сложных искусственно созданных систем как в организационном плане, так и техническом отношении. Поэтому при решении задач структурной и функциональной оптимизации ТТКС, проводимой с целью повышения качества обслуживания (Quality of Service, QoS), важно располагать эффективными средствами моделирования подобных сетей [1].

Важно учесть, что процесс структурной и функциональной оптимизации ТТКС является динамическим процессом, т.е. протекающим во времени, и не должен описываться статическими моделями. Поэтому в рамках данной работы развивается парадигма, предложенная в работе [2] и основанная на описании рассматриваемого процесса динамическими моделями, представленными в пространстве состояний разностными уравнениями.

II. Основная часть

Тогда 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) ТТКС, M — их общее число). Множество дуг $L = L^* \cup L^{**}$ графа описывает множество возмож-

ных трактов передачи между узлами ТТКС $L^* = \{L_{i,j}^*, i, j = \overline{1, N}; i \neq j\}$ и линий доступа $L^{**} = \{L_{m,s}^{**}, m = \overline{1, M}; s = \overline{1, N}\}$ между отдельными абонентами (сетями доступа) и приграничными узлами ТТКС, 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. В общем случае граф $G(R, L)$ является многосвязным, но не полным.

Дополняя перечень вводимых обозначений, предположим, что в качестве известных также выступают следующие исходные данные: Q — общий объем капиталовложений в создаваемую ТТКС, измеряемый, например, в гривнах; $Z = \{Z_{h,m}; h = \overline{1, H}; m = \overline{1, M}\}$ — множество трафиков, поступающих в ТТКС от отдельных абонентов или сетей доступа, причем $Z_{h,m}$ — h -й трафик, поступающий от m -го абонента (сети доступа) до узел транспортной сети; K — число временных интервалов (этапов, стадий) в общем процессе структурно-функциональной оптимизации ТТКС; $\Delta t = t_{k+1} - t_k$ — средняя длительность одного этапа структурно-функциональной оптимизации ТТКС, 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 $грн/(бит/c)$; $k = \overline{1, K}$; $a_{i,j}(k)$ — коэффициент потерь (снижения) пропускной способности ТП $L_{i,j}^*$ за k -й временной интервал; $r_{h,m}(k)$ — средняя интенсивность входного трафика $Z_{h,m}$ на k -м временном интервале ($бит/c$).

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

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

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

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-функциональной оптимизации ТТКС 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 трафиком 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 трафика $Z_{h,m} \in Z$ соответственно. С точки зрения решения данных задач в рамках общей проблемы структурно-функциональной оптимизации ТТКС дополнительной управляющей (маршрутной) переменной будет служить величина $x_{i,j}^{h,m}(k)$, которая характеризует долю интенсивности трафика $Z_{h,m} \in Z$, который протекает в тракте $L_{i,j}^*$ на k -м временном интервале. Пусть переменная $\alpha_{h,m}$ моделирует долю интенсивности трафика $Z_{h,m} \in Z$, получившей отказ в обслуживании ТТКС на k -м временном интервале. Для предотвращения возможных потерь пакетов на сетевых узлах ТТКС 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 ТТКС в ходе маршрутизации трафика (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:

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

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

$$J = \sum_{k=1}^K \sum_{Z_{h,m} \in Z} \sum_{L_{i,j} \in L^*} f_{i,j}^{h,m}(k)x_{i,j}^{h,m}(k) + \sum_{k=1}^K \sum_{L_{i,j} \in L^*} a_{i,j}(k)c_{i,j}(k) + \sum_{k=1}^K \sum_{Z_{h,m} \in Z} w_{h,m}(k)r_{h,m}(k)\alpha_{h,m}(k), \quad (6)$$

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 трафика $Z_{h,m}$ на k -м временном интервале, измеряемая в $грн/(бит/c)$.

III. Заключение

Выражения (1) — (6) в целом описывают процесс структурно-функциональной оптимизации ТТКС в динамике на уровне согласованного решения задач ВТ, ВПС ТП, РП и ограничения трафика, поступающего в ТТКС. Новизна модели по сравнению с результатом, полученным в работе [2], состоит в том, что не требуется предварительное решение задачи распределения капиталовложений между этапами оптимизации, что является несомненно достоинством предложенной модели. Кроме того, модификация также коснулась критерия оптимальности, в рамках которого теперь производится учет условных затрат на оптимизацию процессов ВТ, ВПС ТП, РП и ограничения трафика, поступающего в ТТКС.

IV. References

- [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. *XIth international conference «The experience of designing and application of cad systems in microelectronics»*, Polyana-Svalyava-(Zakarpattya), 2013, pp. 208-210.