

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ В ВИДЕ МНОГОСЛОЙНОГО ГРАФА

Игнатенко А.А., Агеев Д.В.

Харьковский национальный университет
радиоэлектроники, Украина.

E-mail: tcs@kture.kharkov.ua

Abstract

Considered in the paper is the overlaid nature of modern telecommunication networks and expediency of usage the multi-layer graph model for its design. Infocommunication system synthesis problem based on the representation of the designed system as an overlay network. The model used in the form of a multilayer graph allows to synthesis infocommunication systems as a single coherent entity. General statement of design problem is given. The design method in general using multi-layer graph model and its application for a typical information and telecommunication system is proposed.

Введение

Современные телекоммуникационные системы строятся по принципу наложенных сетей и при решении задач проектирования необходимо найти структуру сети на всех ее уровнях. Известные подходы решения задач проектирования используют для учета многоуровневой природы систем последовательный синтез каждого уровня отдельно. Результаты синтеза одного уровня являются исходными данными для остальных уровней. При этом не учитываются взаимосвязи и взаимозависимости между уровнями. В результате, итоговый вариант конфигурации не является оптимальным.

Известно решение данной проблемы базирующееся на применении модели многослойной сети [1, 2]. Однако данная модель имеет четкое соответствие вершин графа, описывающего каждый из уровней. В то же время большое количество систем имеет межуровневые связи более сложной природы, для которых приведенная выше модель теряет свою адекватность. Для устранения данного недостатка предлагается модель, базирующаяся на многослойном графе [3, 4].

Постановка задачи

В постановку задачи проектирования информационно-телекоммуникационных систем можно описать следующим образом:

- $U = \{u_i\}$ - множество пользователей;
- $S = \{s_i\}$ - множество серверов;
- $Z = \{z_i\}$ - множество промежуточных узлов;
- $B = \{b_i\}$ - множество каналов;
- $C(b_i)$ - пропускные способности каналов;
- $P(s_i)$ - производительность серверов;

Необходимо определить подмножество абонентов сети закрепленных за каждым из серверов $U_A(s_i) \subset U$, подмножество каналов связи входящих в результирующую топологию сети $B_A \subset B$, маршруты передачи потоков так чтобы обеспечивался минимум суммарной величины передаваемых по сети потоков:

$$\sum_i \gamma(b_i^A) \rightarrow \min.$$

Метод решения

Используя методику [5], проектирование типовой информационно-телекоммуникационной системы можно представить следующим образом.

1. Выделим в системе три уровня (подграфы):

- уровень взаимодействия с услугой (Γ^3);
- уровень взаимодействия абонентов с серверами и серверов между собой (Γ^2);
- уровень физической топологии системы, уровень физического взаимодействия между собой абонентов, узлов доступа и серверов (Γ^1).

2. На уровне взаимодействия абонентов с услугой вершины a_i^3 графа Γ^3 соответствуют абонентам сети (или группам абонентов подключенным к одному и тому же узлу доступа). Вершина v_0^3 моделирует предоставление услуги. Граф Γ^3 будет иметь топологию «звезда»:

$$e_i^3 = (v_0^3, a_i^3), \quad e_i^3 \in E^3, \quad i = 1, \dots, N_A,$$

где N_A – количество абонентов (групп абонентов).

На уровне взаимодействия абонентов с серверами и серверов между собой топология будет почти полно связная, т.к. изначально предполагается, что каждый сервер может взаимодействовать с другими серверами, а каждый абонент может получать контент с любого сервера. При этом абоненты между собой не связаны никак, следовательно, между вершинами графа, соответствующим абонентам, ребер не будет.

$$\begin{aligned} \forall v_i^2, a_j^2, \quad \exists e^2 = (v_i^2, a_j^2), \\ \forall v_i^2, v_j^2, \quad i \neq j \quad \exists e^2 = (v_i^2, v_j^2), \\ \forall a_i^2, a_j^2, \quad \nexists e^2 = (a_i^2, a_j^2) \end{aligned}$$

Наконец, самый нижний уровень описывает физическое взаимодействие между собой серверов, абонентов и узлов доступа.

3. Многослойный граф моделирует наложенные сети – соответственно, каждая функциональная единица на каждом уровне имеет отражение на другом прилегающем уровне. Такое отражение на многослойном графе выражается множеством ребер $E = \{e_i\}$, соединяющих соответствующие друг другу функциональные единицы (вершины) на прилегающих уровнях многослойного графа.

4. Для описания функциональных характеристик моделируемой системы воспользуемся потоковой моделью на многослойном графе [6]. На данном этапе для упрощения будем оперировать лишь значением величины потока, пренебрегая задержками и другими параметрами элементов телекоммуникационных систем. Поток, протекающий вдоль ребра, связывающего группу абонентов с услугой равен сумме потоков всех сессий, инициализированных абонентами:

$$\gamma(e_i^3) = \sum_n \gamma(S_n(a_i^3))$$

При проектировании вершины v_0^3 на множество серверов V2 должно выполняться условие:

$$\sum_i P(v_i^2) = P(v_0^3),$$

где $P(N)$ – производительность узла.

При этом пропускные способности ребер связывающих вершины графов Γ^2 и Γ^3 , соответствующие абонента сети не ограничиваются, а для ребер связывающих вершину v_0^3 , $v_0^3 \in \Gamma^3$ и вершины $v_i^2, v_i^3 \in \Gamma^3$ пропускная способность равна производительности сервера, на который проектируется это:

$$\begin{aligned} c(e(a_i^3, a_i^2)) &= \infty, \\ c(e(v_0^3, v_i^2)) &= P(v_i^2) \end{aligned}$$

Пропускные способности ребер $e_{ij}^1 = (v_i^1, v_j^1)$, $e_{ij}^1 \in \Gamma^1$ на нижнем слое графа Γ^1 должны быть больше или равны величине потока протекающего по ним:

$$c(e_{ij}^1) \geq \gamma(e_{ij}^1).$$

Далее необходимо описать потоковую модель на многослойном графе [6]. Процесс передачи информационных потоков через сеть моделируется протеканием потока по ребрам графа. В случае использования многослойного графа ребра подразделяются на две группы:

- ребра, соединяющие вершины одного и того же слоя;
- ребра, соединяющие вершины разных слоев многослойного графа.

В первом случае ребра графа моделируют процессы, происходящие на одном и том же уровне логического представления сети. Во втором случае – влияние процессов, происходящих на одном логическом уровне, на процессы другого уровня.

При этом должен выполняться закон сохранения потока.

Применение указанной потоковой модели позволяет учесть взаимосвязи между величинами потоков на различных уровнях и ограниченность пропускной способности (производительности) различных элементов системы.

Подграф самого нижнего уровня Γ^1 представляет собой избыточный граф, включающий все промежуточные узлы и узлы доступа. Его избыточность дает возможность решать задачу

- синтеза топологии сети на избыточном графе;
- задача нахождения пути с заданными характеристиками на графе существующей топологии.

В результате применения линейного, линейно-целочисленного программирования может быть получен результирующий граф, состоящий только из тех ребер, по которым пройдет трафик, т.е. множество каналов связи $B = \{B_{ij}\}$.

Задача синтеза топологии на избыточном графе в данном случае заключается в распределении потоков в многослойном графе так, чтобы с учетом ограничений на пропускную способность ребер находился подграф минимального веса.

Заключение

Современные мультисервисные телекоммуникационные системы требуют при своем проектировании определения ее структуры одновременно на нескольких ее уровнях, образуемых наложенными сетями. Для комплексного решения данной задачи в работе предложено использовать математическую модель многослойного графа, что позволяет получать более эффективной структуру проектируемой системы в сравнении с последовательным проектированием от уровня к уровню

При постановке задач проектирования телекоммуникационных систем широко применяется потоковая модель, которая учитывает распределение потоков вдоль маршрутов передачи трафика и позволяет определить их величины для различных элементов системы. Потоковая модель также широко применяется для формулировки условий связности проектируемой сети.

Литература:

1. Orlowski S., Koster A.M.C.A., Raack C., Wessäly R. Two-layer network design by branch-and-cut featuring MIP-based heuristics // 3rd International Network Optimization Conference (INOC 2007). - Spa, Belgium, 2007. - P. 114–119.
2. Capone A., Carello G., Matera R. Multi-Layer Network Design with Multicast Traffic and Statistical Multiplexing // IEEE Global Telecommunications Conference (IEEE GLOBECOM). - Washington, USA, 2007. - P. 2565–2570.
3. Агеев Д.В. Моделирование современных телекоммуникационных систем многослойными графами [Электронный ресурс] // Проблемы телекоммуникаций. - 2010. - № 1 (1). - С. 23–34. - Режим доступа: http://pt.journal.kh.ua/2010/1/1/101_ageyev_simulation.pdf.
4. Haidara Abdalla, Ageyev D.V. Application of Multi-layer Graphs In the Design of MPLS Networks // XIth International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Science, TCSET'2012. - Lviv-Slavske, Ukraine : Lviv Polytech. Nat. Univ., 2012. - P. 336–337.
5. Ageyev D.V., Ignatenko A.A. Describing and Modeling of Video-on-Demand Service with the Usage of Multi-Layer Graph // XIth International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Science, TCSET'2012. - Lviv-Slavske, Ukraine : Lviv Polytech. Nat. Univ., 2012. - P. 340 – 341.
6. Агеев Д.В. Метод проектирования телекоммуникационных систем с использованием потоковой модели для многослойного графа [Электронный ресурс] // Проблемы телекоммуникаций. - 2010. - № 2 (2). - С. 7 – 22. - Режим доступа: http://pt.journal.kh.ua/2010/2/2/102_ageyev_layer.pdf.