

У статті запропоновано, в якості математичної моделі при розв'язку задач проектування сучасних телекомунікаційних систем, застосовувати багаторівневі графи. Наведені властивості багаторівневих графів та приклад постановки задачі синтезу структури телекомунікаційної системи

Ключові слова: багаторівнева мережа, багаторівневий граф, телекомунікаційна система, проектування

В статье предложено, в качестве математической модели при решении задач проектирования современных телекоммуникационных систем, использовать многоуровневые графы. Приведены свойства многоуровневых графов и пример постановки задачи синтеза структуры телекоммуникационной системы

Ключевые слова: многоуровневая сеть, многоуровневый граф, телекоммуникационная система, проектирование

In the given article proposed a mathematical model for solving modern telecommunication systems design problem with multi-layer graphs usage. In the article decrypted properties of multi-layer graphs and given example of telecommunication systems structural synthesis problem formulation

Keywords: multilayer network, multilayer graph, telecommunication system, network design

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕЛЕ- КОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОУРОВНЕВЫХ ГРАФОВ

Д. В. Агеев

Кандидат технических наук, доцент
Кафедра телекоммуникационных систем
Харьковский национальный университет
радиоэлектроники
пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166
Контактный тел.: (057) 705-25-46
E-mail: dm@ageyev.in.ua

Введение

В последнее время наблюдается бурное развитие информационных технологий, что связано с переходом от постиндустриального общества к информационному. Технической основой построения информационного общества является Глобальная информационная инфраструктура, включающая в свой состав телекоммуникационную подсистему. От телекоммуникационной подсистемы требуется обеспечение возможности передачи любого вида информации, из любой точки мира, в любое время. В настоящее время в качестве такой сети рассматриваются сети связи, построенные согласно концепции NGN. Удовлетворение выдвигаемых к телекоммуникационным системам требований возможно как за счет развития методов управления сетью, так и за счет развития методов проектирования.

Сети NGN ориентируются при своем построении на использование современных телекоммуникационных технологий, отличающуюся архитектурой от ранее используемых и не ограничиваются количеством предоставляемых услуг и видов передаваемой информа-

ции. Перечисленные свойства внедряемой сети выдвигают новые требования к проектированию. В процессе проектирования решаются такие задачи как: синтез структуры будущей системы, синтез топологии и выбор параметров элементов системы.

Современные телекоммуникационные системы строятся по принципу наложенных сетей, когда одна транспортная сеть обеспечивает прозрачную передачу информационных потоков другой сети, образующих ее логические связи, ее логическую структуру. Таким образом, современные телекоммуникационные системы имеют многоуровневую структуру, образуемую иерархией технологий.

В данной статье предложена математическая модель структуры современных телекоммуникационных систем, которая учитывает их многоуровневую природу и позволяет комплексно решать задачи проектирования на всех ее технологических уровнях. Это позволяет повысить эффективность проектирования и получать в результате структуру сети с меньшей стоимостью и с более эффективным использованием сетевых ресурсов.

Постановка проблемы и обзор подходов к ее решению

Современные телекоммуникационные системы обеспечивают передачу различных видов трафика. Передаваемый трафик включает, но не ограничивается, передачу IP трафика Интернет, корпоративного трафика различных компаний, передаваемого с использованием виртуальных частных сетей, видеотрафик и речевой трафик фиксированных и мобильных телефонных операторов. Для передачи всех этих видов трафика через сеть узлы сети должны быть оборудованы коммутационным оборудованием, обеспечивающим прием входящего трафика и его дальнейшую передачу по исходящим каналам связи.

Также каналы связи между узлами сети должны иметь достаточную пропускную способность, чтобы обеспечить передачу циркулирующих в сети информационных потоков.

При строительстве данных сетей или их модернизации перед сетевым провайдером возникает задача проектирования телекоммуникационной системы. Постановка задачи проектирования в общем виде заключается в определении множества узлов сети и каналов связи между ними (топологии сети), определении пропускных способностей каналов связи и параметров устанавливаемого в узлах сети оборудования, определении маршрутов передачи информационных потоков через сеть и величины потоков, передаваемых вдоль этих маршрутов.

Современные телекоммуникационные системы являются большими сложными системами, которые тяжело подаются математическому описанию. Телекоммуникационные системы строятся по иерархическому, многоуровневому принципу, как организационно, так и технологически.

Организационно телекоммуникационные системы делятся на уровни; при этом, более высокие уровни управляют и обеспечивают взаимодействие более низких в иерархии уровней. Уровни организационной иерархии обычно разделены территориально. Например, магистральный сегмент сети (WAN), региональная сеть (MAN) и локальная сеть (LAN).

Уровни технологической иерархии представляют собой наложенные сети, использующие различные технологии. Каждая связь в верхнем уровне использует один или несколько путей на более низком уровне. Например, IP-канал между двумя IP-маршрутизаторами может обеспечиваться одним или несколькими световыми потоками в нижележащей волоконно-оптической сети.

Известные ранее подходы при решении задач проектирования используют для учета многоуровневой природы современных телекоммуникационных систем последовательное решение задач проектирования для каждого из уровней отдельно. При этом результаты проектирования на одном из уровней являются исходными данными для остальных уровней сети. При этом в процессе проектирования не учитываются взаимосвязи и взаимозависимости между уровнями. В результате, итоговый вариант конфигурации сети не является оптимальным, а в ряде случаев может привести к нестабильной работе проектируемой сети при эксплуатации.

Для решения данной проблемы рядом авторов [1,2] предлагается использовать математическую модель многоуровневой сети, которая построена с использованием упорядоченного набора графов. Топология каждого графа может отличаться, они могут иметь разный набор ребер, при этом, как правило, множество вершин графа с большим индексом (графа более высокого уровня) является подмножеством вершин графа с индексом на единицу меньшим (нижележащего уровня). В работе [1] с использованием математической модели многоуровневой сети автором решается задача синтеза оптимальной согласно критерию минимум стоимости структуры сети с обеспечением ее живучести за счет резервирования пути доставки сообщения на различных ее уровнях.

В указанных выше работах при построении модели местоположения оборудования узлов, обеспечивающих функционирование вышележащих уровней, заранее известно. Однако на практике при решении задач проектирования современных телекоммуникационных систем часто возникает задача нахождения местоположения коммутационного оборудования.

В работе [3], посвященной решению задач нахождения кратчайшего пути от одного пункта до другого и обратно в условиях крупного города с использованием различных видов транспорта. Предлагаемая в работе математическая модель транспортных сетей города описывается графом, в состав которого входят подграфы, описывающие топологию каждой из транспортных сетей; в узлах, в которых возможна смена вида транспорта на другой, вводятся дополнительные вершины и ребра.

В данной статье предлагается объединить идеи, изложенные в указанных работах. Предлагаемая математическая модель представляет собой многоуровневый граф, в котором связь между уровнями обеспечивается дополнительными ребрами и вершинами. Рассмотрим предлагаемую модель подробнее.

Описание математической модели

Многоуровневая телекоммуникационная система описывается с помощью многоуровневого графа $\Gamma = (V, E)$, который включает в свой состав подграфы $\Gamma^l = (V^l, E^l)$. Подграф Γ^l описывает структуру сети на уровне l . Подграф $\Gamma^0 = (V^0, E^0)$ содержит вершины и ребра, которые обеспечивают связь подграфов Γ^l между собой. Таким образом, можно записать: $\Gamma = \bigcap_{l=0}^n \Gamma^l$.

На структуру графа $\Gamma = (V, E)$ накладывается дополнительное ограничение, которое заключается в том, что для каждого ребра $e^l = (i, j)^l$, $e^l \in E^l$ подграфа Γ^l существует путь $\pi = (v_i^1, \dots, v_j^1)$ между вершинами v_i^1 и v_j^1 , $v_i^1, v_j^1 \in V^1$, проходящий через подграф более низкого уровня: $\exists v_m^n \in \pi$, $v_m^n \in V^n$, $n < l$. Данное правило не выполняется только для подграфа самого нижнего уровня, $l = 1$.

Пример постановки задачи с использованием предложенной модели

Рассмотрим пример постановки задачи синтеза структуры сети с использованием описанной выше математической модели.

Синтезируемая сеть обеспечивает доступ абонентов сети к серверам. Необходимо определить местоположение серверов, топологию сети, пути передачи трафика, пропускные способности каналов связи. Местоположения абонентов известно.

Для решения задачи зададим исходный многоуровневый граф. Граф Γ имеет два уровня (содержит два подграфа Γ^1 и Γ^2). Подграф Γ^1 описывает физическую структуру сети, подграф Γ^2 – логическую.

В состав подграфа Γ^1 входят вершины и ребра – кандидаты на установку в них узлов коммутации и организацию каналов связи. В состав подграфа Γ^1 входят также узлы, моделирующие абонентов сети.

Подграф Γ^2 содержит вершину v_0^2 , моделирующую сервера и вершины, моделирующие абонентов сети. Подграф Γ^2 имеет радиальную топологию.

Подграфы Γ^1 и Γ^2 соединены ребрами E^0 , которые соединяют вершину v_0^2 и вершины v_i^1 подграфа Γ^1 , в которых возможна установка серверов. Вершины, моделирующие абонентские узлы в обоих подграфах, совпадают. Ребрам подграфа Γ^1 приписывается вес, равный затратам на их использование. Ребрам E^0 приписывается вес, равный затратам на установку оборудования сервера в узле сети, пропускные способности ребер E^0 равны производительности сервера.

Решение исходной задачи сводится к нахождению результирующих множеств E^0 , V^1 , E^1 таких, чтобы суммарный вес ребер был минимальный.

Заключение

Процесс проектирования современных мультисервисных телекоммуникационных систем требует

использования математических моделей его функционально-структурных свойств, которые наиболее полно описывают особенности данного класса систем.

В статье, в результате проведенного анализа структурных и функциональных свойств телекоммуникационных систем, предложено использовать для описания телекоммуникационных систем на этапе проектирования многослойные графы, которые являются частным случаем классических неплоских графов с рядом дополнительных ограничений.

Предложенный в статье многослойный граф позволяет более полно учесть технологическую и организационную иерархию мультисервисных телекоммуникационных систем.

Применение предложенной математической модели позволит решать большой круг задач возникающих в процессе проектирования, таких как определение мест размещения оборудования, физическая и логическая топология сети, задача распределения потоков и др.

Использование многослойных графов позволяет решать задачи проектирования иерархических и многоуровневых телекоммуникационных систем комплексно на нескольких их уровнях, что позволит повысить эффективность выбранного проектного решения по сравнению с последовательным решением задач проектирования на каждом из уровней сети.

Предложенный в статье подход может быть применен на практике при разработке систем автоматизации проектирования сетей NGN, для описания структуры проектируемой системы.

Литература

1. S. Orłowski, A.M.C.A. Koster, C. Raack, R. Wessly. Two-layer network design by branch-and-cut featuring MIP-based heuristics / Proceedings of the 3rd International Network Optimization Conference (INOC 2007), Spa, Belgium - 2007.
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, pp. 2565-2570.
3. Lozano A., Storchi G. Shortest viable path algorithm in multimodal networks / Transportation Research, part A, 35, 2001 - pp. 225-241.