

Об улучшении региональной телекоммуникационной сети

Марк Ш. Левин*, Александр В. Сафонов**

**Институт проблем передачи информации, Российская академия наук
Большой Каретный пер. 19, Москва 127994, Россия
email: mslevin@acm.org*

***ЗАО "Компания ТрансТелеКом",
Тестовская ул. 8, Москва 123317, Россия,
email: alexander.v.safonov@gmail.com*

Поступила в редколлегию 18.08.2010

Аннотация—В статье рассматривается задача компонентного улучшения региональной телекоммуникационной сети, включая выявление узких мест, улучшение компонентов и расширение системы за счет добавления компонентов. В качестве базовых комбинаторных моделей используются многокритериальное ранжирование и многокритериальная задача блочного рюкзака. Множество требований (критериев) к улучшаемой системе включает надежность, производительность, управление и мониторинг, также учитываются прочие особенности. Решение основано на использовании комбинированной двухэтапной эвристической схемы решения (ранжирование локальных проектных вариантов улучшения и построение блочного рюкзака). Для ранжирования применяется метод порогов несравнимости (типа Electre), для построения блочного рюкзака используется "жадная" (greedy) эвристика. Рассмотрены два варианта процесса улучшения исходной сети: (1) частичное перепроектирование, (2) полностью новое проектирование. Предложенный подход проиллюстрирован реалистичным примером региональной (городской) телекоммуникационной сети, изначально состоящей из 10 типов узлов.

1. ВВЕДЕНИЕ

В последние два десятилетия задача улучшения существующих систем (reengineering) становится все более и более важной ([6], [7], [9], [11], [12], [17], [19], [20], [24] [28]). В данной статье рассматривается задача компонентного улучшения региональной (городской) телекоммуникационной сети, включая следующие этапы: (1) выявление узких мест, (2) улучшение компонентов и/или (3) расширение системы за счет добавления компонентов. В работе в качестве базовых комбинаторных оптимизационных моделей используются многокритериальное ранжирование (multicriteria ranking/sorting) ([2], [4], [11], [18], [30]) и многокритериальная задача блочного рюкзака (multicriteria multiple choice knapsack problem) ([16], [17], [20], [21], [27]). Множество требований (критериев) к улучшаемой системе включает надежность, производительность, управляемость. Процесс решения задачи улучшения исследуемой системы основан на использовании комбинированной двух-этапной эвристической схемы решения: (а) ранжирование локальных проектных вариантов улучшения и (б) формирование блочного рюкзака. Для ранжирования применяется метод порогов несравнимости (типа Electre), для построения блочного рюкзака используется "жадная" (greedy) эвристика. Вычисления проведены на основе программ авторов, разработанных в среде MatLab (<http://www.mathworks.com/>). Рассмотрены два варианта процесса улучшения исходной сети: (1) частичное перепроектирование, (2) полностью новое проектирование [20]. Предложенный многокритериальный проектный подход иллюстрируется реалистичным численным прикладным примером на основе региональной (городской) телекоммуникационной сети, состоящей из 10 узлов (Рис. 1).

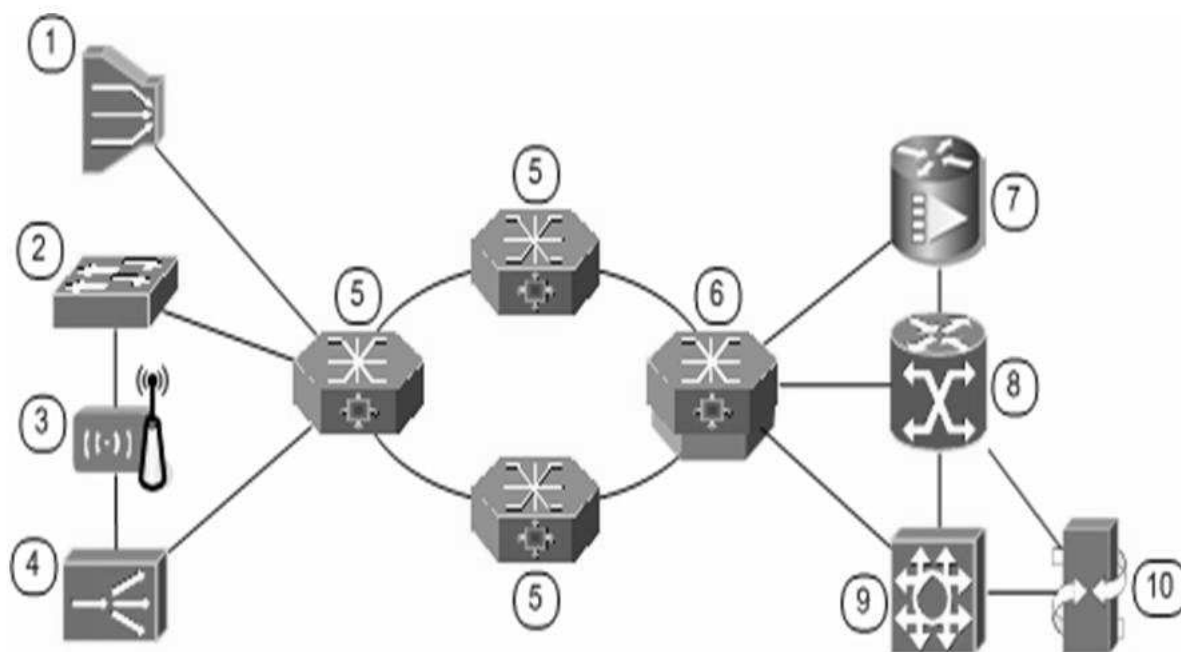


Рис. 1. Пример региональной (городской) сети (10 узлов)

Типы оборудования, используемого в примере городской сети, указаны в таблице 1. Таблицы 2 и 3 содержат, в качестве примера, перечень основных телекоммуникационных устройств фирмы Cisco (сайт фирмы Cisco [5]). Очевидно, что может быть использовано аналогичное оборудование и других производителей.

Таблица 1. Типы устройств

№.	Типы оборудования в региональной (городской) сети
1.	Устройства, обеспечивающие подключение по технологии ADSL2
2.	Коммутаторы, обеспечивающие Ethernet-подключение абонентов
3.	Устройства беспроводного доступа (WiMAX)
4.	Устройства, обеспечивающие подключение по технологии PON
5.	Коммутатор опорной сети с поддержкой MPLS
6.	Высокопроизводительный коммутатор опорной сети с поддержкой MPLS
7.	Устройство управления абонентским доступом (ISG/BRAS)
8.	Маршрутизатор - L3VPN & BGP - бордер
9.	Программный коммутатор (softswitch)
10.	Шлюз для стыковки с ТФОП

Таблица 3. Коммуникационные устройства (часть 2)

Таблица 2. Коммуникационные устройства (часть 1)

№	Устройства	Обозначение
1.	Cisco Catalyst 3560G-24TS-S	1.1
2.	Cisco Catalyst 3560G-24TS-E	1.2
3.	Cisco Catalyst 3560G-24PS-S	1.3
4.	Cisco Catalyst 3560G-24PS-E	1.4
5.	Cisco Catalyst 3750G-24T-S	1.5
6.	Cisco Catalyst 3750G-24T-E	1.6
7.	Cisco Catalyst 3750G-24TS-S	1.7
8.	Cisco Catalyst 3750G-24TS-E	1.8
9.	Cisco Catalyst 3750G-24TS-1U-S	1.9
10.	Cisco Catalyst 3750G-24TS-1U-E	1.10
11.	Cisco Catalyst 3750G-24PS-S	1.11
12.	Cisco Catalyst 3750G-24PS-E	1.12
13.	Cisco Catalyst 3750G-16TD-S	1.13
14.	Cisco Catalyst 3750G-16TD-E	1.14
15.	Cisco Catalyst 3750G-12S-S	1.15
16.	Cisco Catalyst 3750G-12S-E	1.16
17.	Cisco 828 + flash to 32MB	2.1
18.	Cisco 878 + flash to 36MB	2.2
19.	Cisco 1803	2.3
20.	Cisco 1841 + WIC-1SHDSL	2.4
21.	Cisco 2801 + WIC-1SHDSL	2.5
22.	Cisco 2811 + WIC-1SHDSL	2.6
23.	Cisco 2821 + WIC-1SHDSL	2.7
24.	Cisco 2851 + WIC-1SHDSL	2.8
25.	Cisco 2811 + WIC-1SHDSL-V2	2.9
26.	Cisco 2821 + WIC-1SHDSL-V2	2.10
27.	Cisco 2851 + WIC-1SHDSL-V2	2.11
28.	Cisco Catalyst 2960-48TC	3.1
29.	Cisco Catalyst 2960-48TT	3.2
30.	Cisco Catalyst 2960G-24TC x2	3.3
31.	Cisco Catalyst 2950SX-48-SI	3.4
32.	Cisco Catalyst 2950T-48-SI	3.5
33.	Cisco Catalyst 2950G-48	3.6
34.	Cisco Catalyst 2950G-24 & Cisco Catalyst 2950G-12	3.7
35.	Cisco Catalyst 2950T-24 & Cisco Catalyst 2950G-12	3.8
36.	Cisco Catalyst 3750G-48TS-S	3.9
37.	Cisco Catalyst 3750G-48TS-E	3.10
38.	Cisco Catalyst 3750G-48PS-S	3.11
39.	Cisco Catalyst 3750G-48PS-E	3.12
40.	Cisco Catalyst 3750-48TS-S	3.13
41.	Cisco Catalyst 3750-48TS-E	3.14
42.	Cisco Catalyst 3750-48PS-S	3.15
43.	Cisco Catalyst 3750-48PS-E	3.16
44.	Cisco Catalyst 3560G-48TS-S	3.17
45.	Cisco Catalyst 3560G-48TS-E	3.18
46.	Cisco Catalyst 3560G-48PS-S	3.19
47.	Cisco Catalyst 3560G-48PS-E	3.20
48.	Cisco Catalyst 3560-48TS-S	3.21
49.	Cisco Catalyst 3560-48TS-E	3.22
50.	Cisco Catalyst 3560-48PS-S	3.23
51.	Cisco Catalyst 3560-48PS-E	3.24
52.	Cisco Catalyst 3750-TS-S	4.1
53.	Cisco Catalyst 3750-TS-E	4.2
54.	Cisco Catalyst 3750-PS-S	4.3
55.	Cisco Catalyst 3750-PS-E	4.4
56.	Cisco Catalyst 3560-TS-S	4.5
57.	Cisco Catalyst 3560-TS-E	4.6
58.	Cisco Catalyst 3560-PS-S	4.7
59.	Cisco Catalyst 3560-PS-E	4.8
60.	Cisco Catalyst 2960-TC	4.9
61.	Cisco Catalyst 2960-TT	4.10
62.	Cisco Catalyst 2950SX-SI	4.11
63.	Cisco Catalyst 2950G	4.12
64.	Cisco Catalyst 2960G-24TC	5.1
65.	Cisco Catalyst Express 500G-12TC	5.2
66.	Cisco Catalyst 2950G-24	5.3

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ, МОДЕЛИ, СХЕМА РЕШЕНИЯ

2.1. Задача и критерии

Требования к сети являются основой для формирования списка параметров устройств, которые оцениваются. При этом следует заметить, что список оцениваемых параметров существенным образом связан с типом узла телекоммуникационной сети.

В данной работе используются группы критериев (т.е., кластеры критериев)-. Это позволяет проводить оценку для разных типов узлов по абсолютно разным параметрам, которые являются актуальными именно для рассматриваемых типов оборудования. При этом необходимо следить за нормировкой получающейся оценки (в рамках шкалы от 1 до 10). Фрагмент набора параметров для узла №6 (Высокопроизводительного коммутатора опорной сети с поддержкой MPLS) приведен в таблице 4.

Таблица 4. Соответствие параметров оценки и групп критериев для узла 6

№.	Характеристика устройства	Группа критериев
1.	Поддержка резервирования блока управления	Надежность
2.	Поддержка резервирования блока питания	Надежность
3.	Поддержка RPR (IEEE 802.17)	Надежность
4.	Поддержка MPLS TE/FRR	Надежность
5.	Поддержка graceful restart для протоколов маршрутизации	Надежность
6.	Поддержка интерфейсов 10Gigabit Ethernet	Производительность
7.	Наличие не менее 3 уровней привилегий пользователей	Производительность
8.	Поддержка удаленного доступа по SSH/SSL/TLS	Управление
9.	Поддержка управления по SNMP (v2c.v3)	Управление
10.	Поддержка модели IP QoS по ITU-T Y.1541	Управление
11.	Поддержка организации стэков VLAN по IEEE 802.1ad	Производительность
12.	Наличие системы управления графическим представлением	Производительность
13.	Возможность объединения в стэк	Производительность
14.	Поддержка не менее 128000 MAC-адресов в FDB	Производительность

Параметры оценки объединяются в соответствии с тем, к какой группе кластеризованных критериев они относятся (это отражено во втором столбце вышеприведенной таблицы 4). На основе инженерного анализа было выделено 4 группы критериев: (1) производительность C_1 , (2) управление и мониторинг C_2 , (3) надежность C_3 , (4) прочие C_4 . Дополнительно будет использоваться стоимость оборудования (R) (т.е. цена устройства, сокращенная на заданный множитель).

2.2. Предварительное рассмотрение множества возможных вариантов

Отметим, что каждому типу узла рассматриваемой региональной телекоммуникационной сети (всего 10 типов узлов, рисунок 1 и таблица 1) соответствует определенная группа устройств в общем наборе. Таким образом, имеется 10 групп устройств. Далее опишем подробнее соответствующие инженерные требования, перечислим подходящее оборудование и оценим его по 4 критериям. Несмотря на то, что схема сети основана на примере Cisco (сайт фирмы Cisco Corp. [5]), может рассматриваться и оборудование различных производителей. Отметим, что в Далее в таблицах вместо полного наименования устройства будет указываться его "индекс". Укажем подробнее характеристики типов оборудования из таблицы 1:

1. Устройства, обеспечивающие подключение по технологии ADSL2+. Необходимо обеспечить 1000 портов ADSL2+, распределенных в отношении 40:60 между моделями DSLAM с <128 и >128 портов.

2. Коммутаторы, обеспечивающие Ethernet-подключение абонентов. Необходимо обеспечить 10000 портов FastEthernet. Для непосредственного подключения абонента используются 24-портовые (FE) коммутаторы с 2 GE-аплинками, цепочки (по 5) из которых объединяются на коммутаторах с GE-портами. Загрузка последних - 80% портовой емкости (с учетом дублированного GE-аплинка к опорной сети). Соединение коммутаторов - по одномодовому оптоволокну с использованием 10Base-LX SFP.

3. Устройства беспроводного доступа (WiMAX). Необходимо обеспечить 300 подключений, для 80% из них необходимо предусмотреть абонентские устройства (WiMAX CPE).

4. Устройства, обеспечивающие подключение по технологии PON. Необходимо обеспечить 1500 PON-подключений: 1000 EPON и 500 GPON. Предусмотреть абонентские устройства (PON CPE) с интерфейсами FastEthernet. Для EPON 90% CPE - indoor+RF, 10% CPE - outdoor; для GPON 50% CPE - indoor, 50% CPE - indoor с интерфейсами E1.

5. Коммутатор опорной сети с поддержкой MPLS. Необходимы не менее 12 интерфейсов GigabitEthernet (SFP). Поддержка EoMPLS.

6. Высокопроизводительный коммутатор опорной сети с поддержкой MPLS. Необходимы не менее 16 интерфейсов GigabitEthernet (SFP) и 4 10GigabitEthernet (XFP). Поддержка EoMPLS. Модульность конструкции. Возможность не менее 3-кратного расширения по числу интерфейсов.

7. Устройство управления абонентским доступом (ISG/BRAS). Необходима поддержка предоставления как pre-paid, так и post-paid сервисов. Поддержка интерактивного применения политик. Наличие Ethernet интерфейсов общей производительностью не менее 10 Гбит/с для подключения мультисервисной сети. Наличие решения по пользовательскому portalу.

8. Маршрутизатор с поддержкой MPLS, BGP - бордер. Необходимы не менее 4 интерфейсов GigabitEthernet. Поддержка механизмов иерархического QoS. Поддержка BGPv4 с не менее чем 3 full-view таблицами маршрутизации.

9. Программный коммутатор (softswitch). Class 5. Поддержка протоколов SIP, H.248, H.323, MGCP. Поддержка SIGTRAN и OKC7. Поддержка интеллектуальных услуг и дополнительных голосовых сервисов (в т.ч. IP Centrex). Емкость 50000 номеров.

10. Шлюз для сопряжения с ТфОП. Не менее 8 интерфейсов E1. Поддержка протоколов M2UA и IUA встроенным шлюзом сигнализации.

В таблице 5 представлены устройства и их оценки по 4-м критериям и по стоимости (группы оборудования 1-10, фрагмент).

Таблица 2. Устройства и их оценки (группы 1-10, фрагмент)

No.	C_1	C_2	C_3	C_4	R	No.	C_1	C_2	C_3	C_4	R	No.	C_1	C_2	C_3	C_4	R
1.1	7	4	6	5	2398	4.4	5	6	7	5	1895	7.5	9	7	6	8	11745
1.2	7	6	6	6	4395	4.5	6	7	8	6	2495	7.6	8	5	8	6	3498
1.3	7	4	6	5	2798	5.3	6	7	8	6	1498	8.1	8	7	8	6	4495
2.2	7	6	6	6	4795	5.4	6	7	8	7	2423	8.3	8	5	7	7	4248
2.3	8	5	8	6	2998	5.5	6	7	8	7	3723	8.5	8	7	7	7	5245
2.4	8	7	8	7	4995	5.6	8	7	8	6	1498	8.6	8	5	7	7	3998
2.5	8	5	7	6	3748	5.7	8	7	8	7	2423	8.7	8	7	7	7	5995
2.6	8	7	7	7	5745	5.8	8	7	8	7	3723	9.2	8	7	6	8	6745
3.1	8	5	8	7	3498	5.9	5	4	6	5	2248	9.4	8	7	6	8	6745
3.2	8	7	8	8	5495	6.1	5	4	6	5	1248	9.6	7	5	9	6	2498
3.3	8	5	7	6	3898	6.2	6	4	5	6	3295	9.7	7	7	9	6	3495
3.4	8	7	7	7	5895	6.3	5	5	5	5	1998	9.8	7	5	7	7	3248
3.5	7	5	7	8	5998	6.4	5	5	5	5	1248	10.2	7	7	7	7	4245
3.6	7	7	7	9	7995	6.5	5	5	6	5	2248	10.3	8	5	8	7	5495
3.7	6	5	9	7	3998	6.7	4	7	6	5	2395	10.4	8	7	8	7	7490
3.8	6	7	8	8	4498	7.1	4	7	6	4	1795	10.5	8	5	7	8	6645
4.1	3	4	4	4	949	7.2	9	5	7	7	6998	10.6	8	7	7	8	8640
4.2	4	4	4	4	1045	7.3	9	7	7	7	10995	10.8	7	5	9	7	3995
4.3	5	5	5	4	1695	7.4	9	5	6	8	7748						

Необходимо подчеркнуть, что все вышеприведенные оценки по критериям C_1 , C_2 , C_3 , C_4 основаны на степени соответствия технических характеристик устройств выдвинутым требованиям, т.е., оцениваемым параметрам (оценивание базировалось на спецификациях производителей и мнениях экспертов).

2.3. Базовые оптимизационные модели

Приведем краткое описание двух используемых базовых комбинаторных задач: (1) многокритериальное ранжирование или групповое ранжирование, сортировка (multicriteria ranking/sorting) ([2], [4], [11], [18], [30]), (2) многокритериальная задача блочного рюкзака (multicriteria multiple choice knapsack problem) ([16], [17], [20], [21], [27]). Первая задача является базовой во многих задачах принятия решений и используется как вспомогательная во многих многокритериальных (векторных) оптимизационных задачах. Вторая задача последние несколько лет активно используется при построении конфигураций модульных систем, например: программных комплексов [27], коммуникационных систем ([17], [20]), электронных блоков [27].

Пусть имеется множество исходных элементов (альтернатив) $H = \{1, \dots, i, \dots, t\}$, которые оцениваются по набору критериев $K = \{1, \dots, j, \dots, d\}$. Обозначим оценку альтернативы i по критерию j через $z_{i,j}$ (предполагается использование количественных и/или порядковых шкал). Матрица оценок $\{z_{i,j}\}$ представляет собой основу для построению частичного порядка на H . В данной работе используется частичный порядок в виде разбиения исходного множества элементов на линейно упорядоченные слои (т.е., слои качества). Такая задача называется часто групповым ранжированием, сортировкой (sorting). Таким образом ищется следующее разбиение: $H = \cup_{k=1}^m H(k)$, $|H(k_1) \cap H(k_2)| = 0$ при $k_1 \neq k_2$, $i_2 \preceq i_1 \quad \forall i_1 \in H(k_1), \forall i_2 \in H(k_2)$, $k_1 \leq k_2$. Подмножество элементов $H(k)$ соответствует уровню качества (слой) k и каждый элемент этого множества $i \in H$ получает приоритет r_i , которые равен номеру соответствующего слоя. Эта задача относится к классу слабоструктуризуемых (ill-structured) задач [26]. Для решения данной задачи используется версия метода порогов несравнимости из [18] (типа Electre [25]).

Многокритериальная задача блочного рюкзака рассматривается в виде следующей версии ([16], [20], [21]):

$$\begin{aligned}
 & (\max \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{q_i} c_{ij}^1 x_{ij}, \dots, \max \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{q_i} c_{ij}^p x_{ij}, \dots, \max \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{q_i} c_{ij}^r x_{ij}) \\
 & s.t. \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{q_i} a_{ij} x_{ij} \leq b, \sum_{j=1}^{q_i} x_{ij} = 1, i = \overline{1, m}; x_{ij} \in \{0, 1\}.
 \end{aligned}$$

Здесь исходное множество элементов разбито на m групп и из каждой группы выбирается не более одного представителя. ($x_{ij} = 1$ если элемент i в группе j выбран). Каждый элемент (т.е., пара индексов (ij)) характеризуется объемом требуемого ресурса a_{ij} и вектором значениями полезности $c_{ij}^p, p = \overline{1, r}$. Предполагаем, что указанные параметры являются неотрицательными. Данная задача относится к классу NP-трудных [8]. Для указанной многокритериальной задачи проводится поиск решений, эффективных по Парето ([20], [21]). Используется двухстадийная эвристическая схема решения [20]: (i) многокритериальное ранжирование множества исходных элементов i, j по векторам $(c_{ij}^1, \dots, c_{ij}^p, \dots, c_{ij}^r)$ для получения приоритетов; (ii) решение полученной однокритериальной задачи блочного рюкзака (приоритеты используются как оценки качества элементов) на основе “жадного” алгоритма. Вычислительный эксперимент по сравнению различных алгоритмов для многокритериальной задачи блочного рюкзака описан в [21].

3. ЧИСЛЕННЫЙ ПРИМЕР УЛУЧШЕНИЯ СЕТИ

Рассматриваемый численный пример городской телекоммуникационной сети приведен на рисунке 1. Рисунок 2 иллюстрирует подходы к улучшению рассматриваемой телекоммуникационной сети.

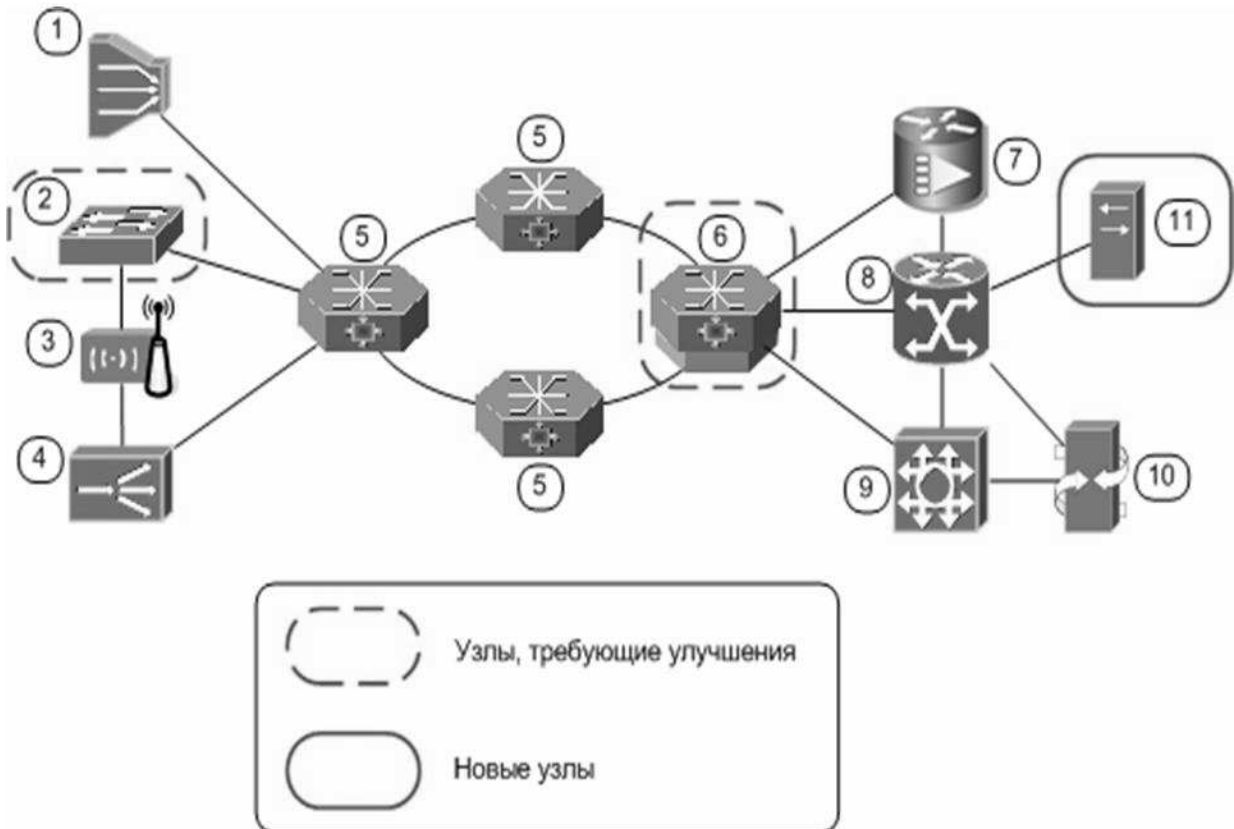


Рис. 2. Вариант улучшения региональной сети

Улучшение сети исследуется для трех различных исходных конфигураций, соответствующих разным уровням ресурсного ограничения (т.е., бюджета) (таблица 6). Для краткости будем обозначать их как случаи №1, №2 и №3 соответственно.

Таблица 6. Исходные варианты построения сети (при различных бюджетах)

Бюджет	Устройство, выбранное в группе No.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20000	1.1	2.1	3.5	4.4	5.1	6.1	7.5	8.10	9.1	10.5
40000	1.9	2.5	3.4	4.7	5.3	6.5	7.2	8.10	9.5	10.1
60000	1.6	2.9	3.3	4.6	5.4	6.9	7.4	8.6	9.9	10.7

Как упоминалось выше, используются два возможных подхода к решению задачи перепроектирования существующей телекоммуникационной сети ([17], [20]):

Стратегия 1 (частичное перепроектирование): перепроектирование только узлов, к которым предъявляются новые требования,

Стратегия 2(полное перепроектирование): перепроектирование для всех узлов (т.е., всей системы) с учетом новых требований.

3.1. Расчеты по улучшению сети

Рассматривается следующая типовая прикладная ситуация. С течением времени городская сеть выросла, что выдвинуло новые требования к сетевой инфраструктуре. Необходимы следующие улучшения:

1. Увеличить число FastEthernet-портов коммутаторов на 2000 (группа 2).
2. Увеличить в высокопроизводительном коммутаторе с поддержкой MPLS число интерфейсов Gigabit Ethernet на 16 (группа 6).
3. Установить пограничный контроллер сессий - SBC (группа 11).

На рисунке 2 отмечены те узлы в сети, которые требуют улучшения. Возможные следующие пути улучшения сети для удовлетворения возникших новых требований:

Путь I. Требуется сделать "мощнее" набор устанавливаемых Ethernet-коммутаторов, линейно увеличив их число (и, соответственно, затраты).

Путь II. Требуется доукомплектовать высокопроизводительный коммутатор с поддержкой MPLS, получив в итоге 32 интерфейса Gigabit Ethernet (SFP).

Этому требованию отвечают следующие варианты конфигурации узла: (а) линейная карта с 48 1GE портов, (б) 2 линейные карты с 24 1GE портов, каждая, (в) 2 линейные карты с 16 1GE портов каждая, (г) 2 линейные карты с 24 и 8 1GE портами соответственно. Таким образом, возможны следующие варианты действий для выполнения новых требований:

1. Установленное оборудование им уже удовлетворяет и мер предпринимать не надо.
2. Приобрести новую линейную карту в дополнение к уже установленному(-ым) устройству(-ам).
3. Приобрести новую линейную карту и заменить ей установленную ранее.

Путь III. Требуется установить пограничный контроллер сессий (SBC). Он должен обеспечивать NAT Traversal, H.323 GK/BtB, SIP Proxy/Redirect/B2B, поддерживать STUN и QoS для медиа-трафика.

3.2. Дополнительное оборудование

В таблице 7 приведены устройства, которые можно добавить в сеть для выполнения требования №3 (группа 11).

Таблица 7. Устройства для группы 11

No.	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	R
11.1	9	5	7	8	1170
11.2	9	7	7	7	3300
11.3	9	5	6	8	1020
11.4	9	7	6	8	4290
11.5	8	5	7	7	1500
11.6	8	7	7	7	2400
11.7	8	5	6	8	2190
11.8	8	7	6	8	3030
11.9	6	4	5	6	600

Необходимо подчеркнуть, что по требованиям №1 и №2 для групп #2 и #6, соответственно, никаких новых устройств не рассматривается, отличия заключаются лишь в требуемом ресурсе, а параметры оценки и, следовательно, оценки по критериям сохраняются (для группы 6 добавлению линейной карты к вариантам 6.1 и 6.5 соответствуют варианты 6.10 и 6.11).

3.3. Стратегия частичного перепроектирования

Во многих реальных прикладных ситуациях улучшения телекоммуникационной сети стратегия частичного перепроектирования представляется наиболее разумной. В этом случае сохраняются ранее сделанные инвестиции в оборудование и достаточно экономно расходуются дополнительный бюджет. При частичном перепроектировании затраты естественным образом фокусируются на узлах сети, действительно требующих улучшения для того, чтобы удовлетворить новым требованиям.

В данном случае требуется рассмотреть в соответствии с алгоритмом все возможные варианты выбора устройств в группе №11, а также в группах 2 и 6, не нарушающие наложенного ресурсного ограничения. Рассмотрим исходные варианты № 1, 2 и 3 из таблицы 6, заданные бюджетами в 20000, 40000 и 60000. Все варианты не удовлетворяют новым требованиям и требуют добавления нового устройства или замены старого более совершенным.

Для случаев № 1, 2 и 3 с несколькими ресурсными ограничениями были получены следующие предварительные результаты. (в результатах отражены варианты как замены, так и добавления нового устройства): таблица 8.

Таблица 8. Предварительные результаты (замена/добавление устройств)

Случай No.	Бюджет	Устройство, заменено/добавлено в группе No.							
		2 доб.	оценки	6 доб.	оценки	6 зам.	оценки	11 доб.	оценки
1	3000	2.1	(7, 5, 6, 6)	6.10	(5, 4, 6, 5)	6.3	(5, 5, 5, 5)	11.9	(6, 4, 5, 6)
	6000	2.1	(7, 5, 6, 6)	6.10	(5, 4, 6, 5)	6.3	(5, 5, 5, 5)	11.1	(9, 5, 7, 7)
	9000	2.1	(7, 5, 6, 6)	6.10	(5, 4, 6, 5)	6.3	(5, 5, 5, 5)	11.1	(9, 5, 7, 7)
2	3000	2.5	(8, 5, 7, 6)	6.11	(5, 5, 6, 5)	6.3	(5, 5, 5, 5)	11.9	(6, 4, 5, 6)
	6000	2.5	(8, 5, 7, 6)	6.11	(5, 5, 6, 5)	6.9	(5, 6, 5, 5)	11.1	(9, 5, 7, 7)
	9000	2.5	(8, 5, 7, 6)	6.11	(5, 5, 6, 5)	6.9	(5, 6, 5, 5)	11.1	(9, 5, 7, 7)
3	3000	2.9	(8, 6, 6, 6)	—	—	—	—	11.6	(8, 7, 7, 7)
	6000	2.9	(8, 6, 7, 7)	—	—	—	—	11.6	(8, 7, 7, 7)
	9000	2.9	(8, 6, 7, 7)	—	—	—	—	11.4	(9, 7, 6, 8)

Основываясь на полученных оценках, можно сделать вывод о том, что во всех случаях выгоднее добавить устройство, а не заменять уже установленное с целью удовлетворения новым требованиям. В нашем случае так получилось из-за небольшого экстенсивного роста требований в группах №2 и №6, а также появления новой группы №11. Кроме того, для группы №2, с учетом нецелесообразности использования оборудования 2 различных производителей, рассматривается только добавление. В других случаях может быть выгоднее провести замену, чем присоединять еще одно устройство. Отметим, что для случая №3 в группе 6 улучшение не требуется. В следующей таблице 9 приведены оптимальные варианты выбора устройств для добавления к существующей сети.

Таблица 9. Выбранные устройства при различных бюджетах (частичное перепроектирование)

Случай No.	Бюджет	Устройство, выбранное в группе No.		
		2	6	11
1	3000	2.1	6.10	11.9
	6000	2.1	6.10	11.1
	9000	2.1	6.10	11.1
2	3000	2.5	6.11	11.9
	6000	2.5	6.11	11.1
	9000	2.5	6.11	11.1
3	3000	2.9	—	11.6
	6000	2.9	—	11.6
	9000	2.9	—	11.4

3.4. Стратегия полного перепроектирования

Рассмотрим далее полное перепроектирование. В большинстве практических ситуаций оно часто не допустимо ввиду чрезвычайно больших затрат (в сравнении с частичным перепроектированием). Все-таки рассмотрим расчеты и для этого случая.

Необходимо рассмотреть устройства, перечисленные в таблицах 5 и 6, которые удовлетворяют новым требованиям. Таким образом, необходимо решить задачу, состоящую из нового набора для группы №11 и старых наборов для остальных групп (подробнее описанных в разделе 2.2), причем принципиально она полностью аналогична уже разобранной в выше.

Следующие результаты были получены при разных ресурсных ограничениях (бюджетах) для случаев № 1, 2 и 3: таблица 10.

Таблица 10. Выбранные устройства при различных бюджетах (полное перепроектирование)

Случай No.	Бюджет	Устройство, выбранное в группе No.										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	23000	1.1	2.1	3.5	4.4	5.1	6.5	7.5	8.6	9.1	10.5	11.9
	26000	1.1	2.3	3.5	4.2	5.1	6.5	7.5	8.3	9.1	10.5	11.9
	29000	1.4	2.5	3.5	4.4	5.3	6.5	7.2	8.10	9.5	10.4	11.1
3	43000	1.9	2.5	3.4	4.7	5.3	6.5	7.2	8.10	9.5	10.1	11.9
	46000	1.9	2.5	3.4	4.7	5.3	6.5	7.2	8.10	9.5	10.1	11.1
	49000	1.6	2.9	3.4	4.6	5.6	6.9	7.2	8.7	9.9	10.1	11.6
5	63000	1.6	2.9	3.3	4.6	5.4	6.9	7.4	8.7	9.9	10.7	11.1
	66000	1.6	2.9	3.3	4.6	5.4	6.9	7.4	8.7	9.9	10.7	11.6
	69000	1.6	2.9	3.3	4.6	5.4	6.9	7.4	8.7	9.9	10.7	11.4

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный в работе подход является полезным при анализе и компонентном улучшении (перепроектировании) существующих региональных телекоммуникационных сетей. Описанные примеры решения могут служить основой для улучшения реальных региональных (городских) сетей ввиду набирающих все большую популярность принципов модульного проектирования с разделением на функциональные уровни, что соответствует в т.ч. концепции

NGN (Next Generation Network). Поэтому вместо сотен и тысяч одинаковых устройств рассматривается дюжина типов узлов, а взаимосвязь и взаимовлияние одних узлов на другие ограничены (в частности, детальный расчет пропускной способности не производится, т.к. при проектировании известны требования узлов-"кирпичиков" по полосе/интерфейсам/etc). Использование многокритериальной оптимизационной модели (многокритериальная задача блочного рюкзака) существенно для учета многих, часто противоречивых требований к реальной телекоммуникационной сети.

Очевидно, что следует провести дальнейшие исследования:

1. исследование методов выявления узких мест в телекоммуникационных сетях;
2. специальный анализ систем требований к телекоммуникационным сетям (requirements engineering);
3. применение более сложных и адекватных моделей, например: (а) задача блочного рюкзака с несколькими ограничениями по ресурсам, (б) задача комбинаторного синтеза с учетом зависимости локальных улучшений сети между собой, (в) оптимизационные модели с учетом неопределенности (например, стохастические оптимизационные модели, модели на основе размытых множеств);
4. использование новых методов решения возникающей многокритериальной задачи блочного рюкзака, например: (а) новые эвристики и гибридные схемы решения, (б) методы искусственного интеллекта (в частности, на основе экспертных баз знаний);
5. применение предложенного подхода для задач адаптации существующих телекоммуникационных сетей (включая управление в режиме реального времени online);
6. исследование задач многостадийного проектирования телекоммуникационных сетей с точек зрения более сложных задач проектирования, анализа и моделирования, например: (а) задачи многостадийного проектирования ([11], [12]), (б) комбинаторная эволюция модульных систем и прогнозирование ([11], [12], [22], [23]);
7. исследование задач структурного улучшения телекоммуникационной сети (т.е., модификация/расширение топологии сети) ([1], [3], [6], [10], [24]).

Предварительный материал для данной статьи был подготовлен в рамках курса "Проектирование систем" (МФТИ, автор и лектор: М.Ш. Левин) ([13], [14], [15]) как лабораторная работа 6 (2005 г., студент: А.В. Сафонов) и как бакалаврская и магистерская работы А.В. Сафонова (2006 и 2008 гг., руководитель: М.Ш. Левин).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ahlund C., Zaslavsky A.V., Extending global IP connectivity for Ad Hoc networks. *Telecommunication Systems*, 2003, vol. 24, no. 2-4, pp. 221-250.
2. Белкин А.Р., Левин М.Ш., *Принятие решения: комбинаторные модели аппроксимации информации*, Москва: Наука/Физматлит, 1990.
3. Biedl T., Demaine E., Demine M., at al., A note on reconfiguring tree lckages: trees can lock. *Applied Discrete Math.*, 2002, vol. 117, no. 1-3, pp. 293-297.
4. Buede D.M., Software review. Overview of MCDA software market. *J. of Multi-Criteria Decision Analysis*, 1992, vol. 1, no. 1, pp. 59-61.
5. Cisco Systems corp., <http://www.cisco.com>
6. Collete Y., Siarry P., *Multiobjective Optimization. Principles and Case Studies*. London: Springer, 2003.
7. Davenport T.H., *Process Innovation: Reengineering Work through Information Technology*. Boston: Harvard Business School Press, 1993.

8. Garey M.R., Johnson D.S., *Computers and Intractability. The Guide to the Theory of NP-Completeness*, New York: W.H. Freeman & Company, 1979.
9. Hammer M., Champy J.A., *Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution*. New York: Harper Business Books, 1993.
10. Kuznetsov N.A., Levin M.Sh., Vishnevsky V.M., Some combinatorial optimization schemes for multi-Layer network topology. *Electronic Proc. of 17th IMACS World Congress 2005*, Paris, France, Paper T4-I-42-0486, 2005.
11. Levin M.Sh., *Combinatorial Engineering of Decomposable Systems*, Dordrecht: Kluwer, 1998.
12. Levin M.Sh., *Composite Systems Decisions*, New York: Springer-Verlag, 2006.
13. Levin M.Sh., Course 'System design: structural approach', *Proc. of 18th Int. Conf. on Design Theory and Methodology DTM2006*, Pennsylvania, DETC2006-99547, 475-484, 2006.
14. Левин М.Ш., О преподавании проектирования систем. *Информационные технологии и вычислительные системы*, вып. 2, 89-94, 2007.
15. Levin M.Sh., Student research projects in system design, *Proc. of 1st Int. Conf. CSEDU 2009*, Lisbon, 2009, pp. 291-295.
16. Levin M.Sh., Combinatorial optimization in system configuration design, *Autom. & Remote Control*, 2009, vol. 70, no. 3, 519-561.
17. Levin M.Sh., Towards communication network development (structural systems issues, combinatorial models), *Proc. of Region 8 IEEE Int. Conf. Sibircon-2010*, vol. 1, Irkutsk, 204-208, July 2010.
18. Левин М.Ш., Михайлов А.А., *Фрагменты технологии стратификации множества объектов*, Препринт, Москва: ИСА РАН, 1988.
19. Levin M.Sh., Danieli M.A., Hierarchical decision making framework for evaluation and improvement of composite systems. *INFORMATICA (Lith. Acad. of Sci.)*, 2005, vol. 16, no. 2, 213-240, 2005.
20. Левин М.Ш., Сафонов А.В., Проектирование и перепроектирование конфигурации оборудования в коммункационной сети. *Информационные технологии и вычислительные системы*, 2006, вып. 4, 63-73.
21. Левин М.Ш., Сафонов А.В., Эвристика для многокритериальной задачи блочного рюкзака. *Искусственный интеллект и принятие решений*, 2009, вып. 4, 53-64.
22. Levin M.Sh., Kruchkov O., Nadar O., Kaminsky E., Combinatorial systems evolution: Example of standard for multimedia information, *Informatica*, 2009, vol. 20, no. 4, 519-538.
23. Levin M.Sh., Andrushevich A., Kistler R., Klapproth A., Combinatorial evolution of ZigBee protocol, *Proc. of Region 8 IEEE Int. Conf. Sibircon-2010*, vol. 1, Irkutsk, 314-319, July 2010.
24. Noltmeier H., Wirth H.-C., Krumke S.O., Network design and improvement. *ACM Comput. Surv.*, 1999, vol. 32(3es), Art. no. 2.
25. Roy B., *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1996.
26. Simon H.A., Newell A., Heuristic problem solving: the next advance in operations research. *Operations Research*, 1958, vol. 6, no. 1, pp. 1-10.
27. Sousa J.P., Poladian V., Garlan D., Schmerl B., Shaw M., Task-based adaptation for ubiquitous computing. *IEEE Trans. on SMC - Part C*, 2006, vol. 36, no. 3, pp. 328-340.
28. Williams B.J., Carver J.C., Characterizing software architecture changes: A systematic review. *Information and Software Technology*, 2010, vol. 52, no. 1, 31-51.
29. Wood R., *Next-Generation Network Services*, Cisco Press, 2005.
30. Zapounidis C., Doumpos M., Multicriteria classification and sorting methods: A literature review. *EJOR*, 2002, vol. 138, no. 2, pp. 229-246.