

В.В.Величко, Е.А.Субботин, В.П.Шувалов, А.Ф.Ярославцев

Телекоммуникационные системы и сети

Том 3. Мультисервисные сети

Под редакцией профессора В. П. Шувалова

2-е издание, стереотипное

*Допущено УМО по образованию в области
телекоммуникаций в качестве учебного пособия
для студентов вузов связи и колледжей.*

Москва
Горячая линия - Телеком
2015

УДК 621.39
ББК 32.88
Т31

Рецензент: доктор техн. наук, профессор *В. К. Трофимов*

Т31 Телекоммуникационные системы и сети: Учебное пособие / В 3 томах. Том 3. – Мультисервисные сети / В. В. Величко, Е. А. Субботин, В. П. Шувалов, А. Ф. Ярославцев; под редакцией профессора В. П. Шувалова. – 2-е изд., стереотип. – М.: Горячая линия–Телеком, 2015. – 592 с.: ил.

ISBN 978-5-9912-0484-2.

В третьем томе учебного пособия рассмотрены вопросы построения мультисервисных сетей связи (МСС). В компактном виде представлен материал по сетям доступа, транспортным сетям и сетям управления. Приведено описание таких технологий как Softswitch и MPLS и даны примеры построения сетей на их основе. Пособие содержит раздел по моделированию МСС с использованием аппарата сетей систем массового обслуживания.

Для студентов вузов связи и колледжей, может быть использовано работниками предприятий связи.

ББК 32.88

Адрес издательства в Интернет www.techbook.ru

Учебное издание

**Величко Вячеслав Витальевич, Субботин Евгений Андреевич,
Шувалов Вячеслав Петрович, Ярославцев Александр Федорович**

Телекоммуникационные системы и сети

Том 3 – Мультисервисные сети

Учебное пособие

2-е издание, стереотипное

Подписано в печать 08.11.2014. Формат 60х90/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 37. Тираж 500 экз. (1-й завод 100 экз.) Изд. № 140484.

ISBN 978-5-9912-0484-2 (Т.3)

© В. В. Величко, Е. А. Субботин,
В. П. Шувалов, А. Ф. Ярославцев, 2005, 2015
© Издательство «Горячая линия–Телеком», 2015

Предисловие

В последние годы наметился переход от разнородных телекоммуникационных сетей, каждая из которых была предназначена для оказания узкого круга услуг к сетям следующего поколения (Next Generation Network, NGN) или, так называемым, мультисервисным сетям. В таких сетях предоставляются услуги по передаче голоса, данных и видео, в них осуществлена конвергенция мобильных и фиксированных сетей.

Идеология построения таких сетей еще не сложилась, методики их проектирования еще не отработаны и это существенно усложняет задачу авторов, взявших на себя труд по написанию книги. Авторы не пытались дать готовые рецепты по построению таких сетей. Они видели свою задачу в том, чтобы представить современные подходы к решению проблем NGN. Помимо теоретического материала в книге в качестве примера дано описание решений для фиксированных и мобильных сетей от китайской компании ZTE, эволюция сетей доступа на примере разработок ISKRATEL.

Условно материал книги можно разделить на две части. Первая (гл. 1-15) охватывает вопросы построения мультисервисных сетей связи (МСС), во второй части (гл. 16-22) представлена методика моделирования МСС и примеры моделей.

Кроме авторов, указанных на титульном листе, в подготовке 3-го тома приняли участие доценты **В.Г. Фокин** (п. 3.2.1, п. 3.2.2, гл. 7) и **Н.В. Будылдина** (гл. 4, приложение 1), инженеры **В.Н. Гончаров** (гл. 8), **С.А. Твердохлеб** и **А.Ф. Киреев** (гл. 6), ген. директор Гипросвязь-Сибирь **В.В. Столяров** и профессор В.И. Мейкшан (гл. 17).

Авторы считают своим приятным долгом поблагодарить рецензента издания за ценные замечания, способствовавшие улучшению рукописи, а также Н.М. Гусельникову за неоценимую помощь в оформлении книги.

В заключение авторы выражают уверенность, что книга будет полезна широким слоям читателей, интересующихся вопросами построения сетей следующего поколения и просят присылать свои замечания по книге по адресу: 630102, Новосибирск, Кирова, 86, Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, профессор В.П. Шувалову.

Профессор В.П. Шувалов

Оглавление

Предисловие	3
Введение	4
Глава 1. Общая характеристика мультимедийного трафика	7
1.1. Классификация мультимедийного трафика	7
1.2. Общий подход к параметризации мультимедийного трафика	9
1.3. Понятие о самоподобном трафике	12
1.4. Параметры качества обслуживания мультимедийного трафика в сетях	17
1.5. Характеристика трафика в сетях связи Российской Федерации. Прогнозирование трафика	19
Контрольные вопросы	25
Список литературы	26
Глава 2. Услуги мультисервисных сетей связи и качество обслуживания	27
2.1. Виды услуг и особенности их реализации	27
2.2. Аспекты качества телекоммуникационных услуг	34
2.3. Соглашение об уровне обслуживания [4]	41
2.4. Единая ответственность перед конечным пользователем	44
Контрольные вопросы	53
Список литературы	53
Глава 3. Технологические аспекты построения мультисервисных сетей	54
3.1. Эталонная модель взаимодействия открытых систем	54
3.2. Физический уровень. Среда передачи	57
3.3. Физический уровень. Синхронная цифровая иерархия	74
3.4. Физический уровень. Волновое уплотнение (WDM, DWDM, CWDM)	78
3.5. Технологии канального, сетевого и транспортного уровней	81
Контрольные вопросы	97
Список литературы	98
Глава 4. Многопротокольная коммутация по меткам	100
4.1. Основы MPLS	100
4.2. Элементы сети MPLS	102
4.3. Некоторые особенности технологии MPLS	104
4.4. Виртуальные частные сети MPLS (VPN MPLS)	112
4.5. Обобщенная многопротокольная коммутация по меткам (GMPLS)	122
Контрольные вопросы	124
Список литературы	124
Глава 5. Объединение традиционной телефонной сети и пакетной сети на основе технологии Softswitch	125
5.1. Что такое Softswitch?	126
5.2. Обобщенная структура сети на основе Softswitch	128
5.3. Протоколы сигнализации в сетях на основе Softswitch. Краткий обзор	137
5.4. Примеры построения сетей с устройствами Softswitch	152
5.5. Оборудование для сетей на основе Softswitch от компании ZTE	158
5.6. Примеры использования Softswitch компании ZTE на сетях NGN	160
Контрольные вопросы	164
Список литературы	165

Глава 6. Качество обслуживания в IP-сетях	166
6.1. Стандарты QoS ITU-T для IP-сетей	166
6.2. Стратегии сосуществования IPv6 и IPv4 в сетях следующего поколения	181
6.3. Практический подход к обеспечению QoS на магистральных Internet [3]	202
6.4. Механизмы QoS в оптических IP-сетях [4]	215
Контрольные вопросы	227
Список литературы	227
Глава 7. Особенности построения сетей доступа	229
7.1. Модель, определения и архитектура сетей доступа	229
7.2. Средства и методы передачи сигналов в проводных электрических и оптических линиях	237
7.3. Технологии передачи по медным проводам xDSL	243
7.4. Технологии оптической передачи в волоконных световодах	245
7.5. Сеть доступа на базе сети кабельного телевидения	254
7.6. Эволюция сетей доступа на примере оборудования компаний Iskratel и ИскраУралТЕЛ	255
Контрольные вопросы	265
Список литературы	265
Глава 8. Управление мультисервисными сетями связи	266
8.1. Подходы к управлению сетями нового поколения	266
8.2. Биллинг услуг сетей нового поколения	285
Контрольные вопросы	290
Список литературы	290
Глава 9. Технические аспекты развития мобильных сетей связи третьего поколения	292
9.1. Стандартизация интерфейсов сетей IMT-2000	292
9.2. Распределение полос частот для IMT-2000	294
9.3. Основные подсистемы сети UMTS	297
9.4. Системная архитектура сети UMTS	301
9.5. Текущее развитие сетевой архитектуры UMTS	303
9.6. Особенности построения сети радиодоступа UTRAN	305
9.7. Радиоканалы сети радиодоступа UMTS	308
Контрольные вопросы	313
Список литературы	314
Глава 10. Архитектура сети радиодоступа	315
10.1. Архитектура системы	315
10.2. Архитектура сети UTRAN	318
10.3. Общая модель протокола для наземных интерфейсов UTRAN	320
10.4. Интерфейс Iu между сетями UTRAN и CN	323
10.5. Внутренние интерфейсы UTRAN	329
Контрольные вопросы	335
Список литературы	335
Глава 11. Управление качеством услуг подвижной связи третьего поколения	336
11.1. Стандартизация систем управления качеством	336
11.2. Требования к качеству услуг сетей связи	339
11.3. Особенности архитектуры UMTS	340
11.4. Функции управления качеством услуг в плоскости управления сети	342
11.5. Функции управления QoS в плоскости контроля	344
11.6. Функции управления QoS в плоскости пользователя	347
11.7. Классы качества предоставления услуг UMTS	348
Контрольные вопросы	352

Список литературы	353
Глава 12. Оборудование для мобильных сетей связи с кодовым разделением каналов поколения 3G от корпорации ZTE	354
12.1. Множественный доступ с кодовым разделением каналов	354
12.2. Оборудование CDMA от компании ZTE	359
12.3. Описание дополнительных услуг CDMA 1X компании ZTE	363
12.4. Решения компании ZTE для широкополосного доступа с кодовым разделением каналов (WCDMA)	367
Контрольные вопросы	372
Список литературы	372
Глава 13. Экономические аспекты развития 3G	373
13.1. Анализ экономического состояния сетей 3G	373
13.2. Инвестиционная оценка развития сетей подвижной связи при переходе от второго к третьему поколению	378
13.3. Политика операторов в продвижении и тарификации услуг 3G	386
Контрольные вопросы	393
Список литературы	393
Глава 14. Беспроводные локальные сети связи	394
14.1. Теоретические основы семейства 802.11x	396
14.2. Варианты построения беспроводной сети	397
14.3. Беспроводные локальные сети связи общего пользования	398
14.4. Модели WLAN	403
14.5. Тенденции в области развития WLAN	405
Контрольные вопросы	405
Список литературы	405
Глава 15. Экологические аспекты развития мобильной связи	406
Контрольные вопросы	418
Список литературы	418
Глава 16. Математическое моделирование мультисервисных сетей	419
16.1. Основные задачи математического моделирования мультисервисных сетей	419
16.2. Математические методы моделирования мультисервисных сетей	423
Контрольные вопросы	450
Список литературы	451
Глава 17. Анализ и моделирование мультисервисной нагрузки на звено передачи данных мультисервисной сети	453
17.1. Марковские модели для исследования пропускной способности звена передачи данных в мультисервисной сети	454
17.2. Анализ характеристик мультисервисной нагрузки	457
17.3. Приближенный расчет потерь вызовов на участке ЦСИО	461
17.4. Проектирование нагрузки для участка ЦСИО	464
Контрольные вопросы	469
Список литературы	469
Глава 18. Моделирование X.25 территориально-распределенной сети передачи данных общего назначения	471
18.1. Концептуальная модель	471
18.2. Математическая гибридная модель	473
Контрольные вопросы	485
Список литературы	485

Глава 19. Моделирование процесса передачи мультимедийного трафика по IP-сети	486
19.1. Концептуальная модель	486
19.2. Математическая модель	490
19.3. Результаты моделирования	496
Контрольные вопросы	501
Список литературы	501
Глава 20. Аналитическое моделирование методов и механизмов обнаружения информационных атак на коммуникационное оборудование мультисервисных сетей	502
20.1. Концептуальная модель системы, реализующей распределенный алгоритм обнаружения закладки в коммуникационном оборудовании	503
20.2. Построение аналитической модели	510
Контрольные вопросы	528
Список литературы	528
Глава 21. Моделирование метода множественного доступа в мобильных системах с кодовым разделением каналов	528
21.1. Концептуальное описание CDMA метода доступа к ЛВС	528
21.2. Состав и структура модели CDMA системы	531
21.3. Модель передачи пакетов по симплексному каналу	532
21.4. Модель занятия и освобождения подканалов	537
21.5. Модель интегральных характеристик	538
21.6. Примеры результатов математического моделирования	541
Контрольные вопросы	545
Список литературы	545
Глава 22. Моделирование локальной сети передачи данных в составе системы геомеханического мониторинга	546
22.1. Концептуальная модель	546
22.2. Математическая модель	549
22.3. Результаты моделирования	550
Контрольные вопросы	553
Список литературы	553
Заключение	554
Приложение 1. Внутренний протокол маршрутизации OSPF	557
Термины и определения	569