

# Содержание

<b>Об авторе</b>	<b>13</b>
<b>Благодарности</b>	<b>14</b>
<b>Посвящения</b>	<b>14</b>
<b>О технических рецензентах</b>	<b>15</b>
<b>Часть I. Качество обслуживания в сетях IP</b>	<b>17</b>
<b>Глава 1. Введение в качество обслуживания в сетях IP</b>	<b>19</b>
Уровни качества обслуживания	20
Краткий экскурс в историю возникновения и развития качества обслуживания в сетях IP	23
Характеристики производительности сетевого соединения	25
Полоса пропускания	25
Задержка и дрожание при передаче пакетов	26
Потеря пакетов	27
Функции качества обслуживания	28
Классификация и маркировка пакетов	28
Управление интенсивностью трафика	28
Распределение ресурсов	28
Предотвращение перегрузки и политика отбрасывания пакетов	29
Сигнальный протокол QoS	29
Коммутация	29
Маршрутизация	29
Технологии качества обслуживания канального уровня	30
Многопротокольная коммутация меток	30
Сквозное качество обслуживания	31
Цели	32
Аудитория	32
Широта охвата и ограничения изложенного в книге материала	33
Организация книги	33
Часть I	34
Часть II	34
Часть III	34
Часть IV	34
<b>Глава 2. Архитектура дифференцированных услуг</b>	<b>37</b>
Архитектура интегрированных услуг (intserv)	37
Архитектура дифференцированных услуг (diffserv)	38
Формирователи трафика, расположенные на границе сети	42
РНВ-политика	43

Политика распределения ресурсов	45
Резюме	48
<b>Глава 3. Формирование трафика на границе сети: классификация пакетов, маркировка пакетов и управление интенсивностью трафика</b>	<b>51</b>
Классификация пакетов	52
Маркировка пакетов	53
IP-приоритет	53
DSCP	54
QoS-группа	54
Практический пример 3.1: классификация и маркировка пакетов с использованием поля IP-приоритета	55
Практический пример 3.2: классификация и маркировка пакетов с использованием поля QoS-группы	58
Практический пример 3.3: переопределение значения поля IP-приоритета	60
Необходимость управления интенсивностью трафика	61
Корзина маркеров	61
Ограничение трафика	62
Практический пример 3.4: ограничение интенсивности трафика приложения на уровне обслуживания	68
Практический пример 3.5: ограничение интенсивности трафика в зависимости от значения IP-приоритета	70
Практический пример 3.6: предоставление услуг с ограниченной интенсивностью трафика	71
Практический пример 3.7: предоставление услуг по размещению Web-серверов	71
Практический пример 3.8: предотвращение атак типа Denial-of-Service	72
Практический пример 3.9: ограничение трафика в точке обмена трафиком общего пользования	72
Выравнивание трафика	74
Дозирование трафика	75
Практический пример 3.10: выравнивание интенсивности трафика до скорости доступа	76
Практический пример 3.11: выравнивание интенсивности входящего и исходящего трафика узла	79
Практический пример 3.12: выравнивание трафика Frame Relay в ответ на получение обратного явного уведомления о перегрузке (BECN)	82
Резюме	84
<b>Глава 4. РНВ-политика: распределение ресурсов (часть 1)</b> Ошибка! Закладка не определена.	
Поддержка функций QoS со стороны механизмов обслуживания очередей	90
Алгоритм обслуживания очередей FIFO	91
Максиминная схема равномерного распределения ресурсов	91
Обобщенная схема разделения процессорного времени	94
Взвешенный алгоритм равномерного обслуживания очередей (WFQ) на основе вычисления порядкового номера пакета	94

Взвешенный алгоритм равномерного обслуживания очередей (WFQ) на основе потока	98
Взаимодействие механизма WFQ с протоколом RSVP	101
Реализация алгоритма WFQ	101
Практический пример 4.1: взвешенный механизм равномерного обслуживания очередей (WFQ) на основе потока	103
Практический пример 4.2: распределение полосы пропускания в зависимости от веса потока	104
Практический пример 4.3: одновременное обслуживание WFQ-планировщиком потоков голосового трафика и FTP-трафика	105
Распределенный взвешенный алгоритм равномерного обслуживания очередей (DWFQ) на основе потока	106
Практический пример 4.4: распределенный взвешенный алгоритм равномерного обслуживания очередей (DWFQ) на основе потока	108
Взвешенный алгоритм равномерного обслуживания очередей (WFQ) на основе класса	108
Практический пример 4.5: выделение дополнительной полосы пропускания для критического трафика	109
Практический пример 4.6: выделение дополнительной полосы пропускания в зависимости от входного интерфейса	111
Практический пример 4.7: выделение полосы пропускания в зависимости от класса ToS	111
Конфигурация механизма CBWFQ без использования модульного интерфейса командной строки QoS	113
Практический пример 4.8: выделение полосы пропускания в зависимости от QoS-группы без использования модульного интерфейса командной строки QoS	115
Приоритетное обслуживание очередей	115
Практический пример 4.9: обслуживание трафика на основании значения поля IP-приоритета	116
Практический пример 4.10: приоритетное обслуживание пакетов на основе размера	117
Практический пример 4.11: приоритетное обслуживание пакетов на основе адреса источника	118
Заказное обслуживание очередей	118
Роль счетчика байтов в механизме заказного обслуживания очередей	119
Практический пример 4.12: выделение минимальной полосы пропускания интерфейса для различных протоколов	120
Механизмы обслуживания очередей, предназначенные для обработки голосового трафика	123
Механизм CBWFQ с приоритетной очередью	123
Практический пример 4.13: очередь со строгим приоритетом обслуживания, предназначенная для обработки голосового трафика	124
Механизм заказного обслуживания с приоритетными очередями	125
Резюме	126
<b>Глава 5. RNB-политика: распределение ресурсов (часть 2)</b>	<b>131</b>

Модифицированный взвешенный алгоритм кругового обслуживания (MWRR)	131
Пример работы алгоритма MWRR	132
Реализация алгоритма MWRR	138
Практический пример 5.1: алгоритм MWRR на основе класса трафика	139
Модифицированный алгоритм кругового обслуживания с дефицитом (MDRR)	140
Пример работы алгоритма MDRR	142
Реализация алгоритма MDRR	146
Практический пример 5.2: выделение полосы пропускания и минимизация дрожания голосового трафика в рамках политики предотвращения перегрузки	147
Резюме	150
<b>Глава 6. PNH-политика: предотвращение перегрузки и политика отбрасывания пакетов</b>	<b>153</b>
Механизм медленного старта и предотвращение перегрузки	154
Реакция TCP-трафика на применение политики “отбрасывания хвоста”	155
RED — алгоритм превентивного управления очередью с целью предотвращения перегрузки сети	156
Алгоритм вычисления среднего размера очереди	158
Алгоритм вычисления вероятности отбрасывания пакетов	159
Взвешенный алгоритм произвольного раннего обнаружения (WRED)	160
Реализация алгоритма WRED	160
Практический пример 6.1: применение механизма WRED для предотвращения перегрузки канала передачи информации	161
Практический пример 6.2: конфигурация механизма WRED на основе класса трафика с помощью модульного интерфейса командной строки QoS	163
Алгоритм WRED на основе потока	164
Практический пример 6.3: предотвращение перегрузки для неадаптивных потоков трафика	166
Механизм явного уведомления о перегрузке (ECN)	167
Механизм избирательного отбрасывания пакетов (SPD)	168
Практический пример 6.4: предотвращение атаки злоумышленника, использующего некорректные IP-пакеты, с помощью механизма SPD	170
Резюме	172
<b>Глава 7. Интегрированные услуги: RSVP</b>	<b>177</b>
Протокол RSVP	177
Работа протокола RSVP	178
RSVP-компоненты	180
RSVP-сообщения	181
Стили резервирования	182
Индивидуальное резервирование	182
Общее резервирование	183
Типы услуг	185
Регулируемая нагрузка	185
Гарантированная битовая скорость	185
Среда передачи и протокол RSVP	186

Масштабируемость протокола RSVP	186
Практический пример 7.1: сквозное резервирование полосы пропускания для приложения с помощью протокола RSVP	187
Практический пример 7.2: использование протокола RSVP с целью резервирования ресурсов для VoIP-трафика	193
Резюме	194
<b>Часть II. Качество обслуживания канального уровня и сети MPLS—     межсетевой обмен с IP QoS</b>	<b>197</b>
<b>Глава 8. Качество обслуживания на уровне 2: межсетевой обмен с IP QoS</b>	<b>199</b>
ATM	199
Формат ATM-ячейки	200
ATM QoS	201
Классы услуг ATM	202
Стратегии отбрасывания ячеек	204
Выравнивание трафика на виртуальном пути	205
Практический пример 8.1: применение услуги ABR к каналу PVC	205
Практический пример 8.2: выравнивание трафика на виртуальном пути	206
Межсетевой обмен ATM и IP QoS	208
Практический пример 8.3: дифференцированное отбрасывание IP-пакетов на границе ATM-сети	211
Практический пример 8.4: дифференцированное обслуживание	214
Практический пример 8.5: установка CLP-бита на основе IP-приоритета	216
Frame Relay	216
Механизм предотвращения перегрузки в сети Frame Relay	217
Механизм выравнивания трафика в сети Frame Relay (FRTS)	218
Фрагментация в сетях Frame Relay	221
Межсетевой обмен Frame Relay и IP QoS	223
Практический пример 8.6: выравнивание трафика Frame Relay с использованием функции автораспознавания QoS	224
Практический пример 8.7: адаптивный механизм выравнивания трафика и интеграция BECN/FECN	225
Практический пример 8.8: использование нескольких PVC-каналов для передачи различных типов трафика	227
Практический пример 8.9: конфигурация механизма WFQ на каждом VC-канале	230
Практический пример 8.10: отображение DE-бита Frame Relay на биты IP-приоритета	230
Практический пример 8.11: фрагментация Frame Relay	231
Семейство локальных сетей IEEE 802.3	232
Возможность передачи высокоприоритетного трафика	233
Резюме	237
<b>Глава 9. Качество обслуживания в сетях MPLS</b>	<b>241</b>
MPLS	241
Передающий компонент	242

Управляющий компонент	242
Инкапсуляция меток	246
MPLS и ATM	248
Практический пример 9.1: нисходящее распространение меток	249
Качество обслуживания в сетях MPLS	254
Предоставление сквозных услуг IP QoS	255
Практический пример 9.2: MPLS CoS	256
LER-маршрутизатор	256
LSR-маршрутизатор	257
Виртуальные частные сети (VPN) на основе MPLS	258
Практический пример 9.3: MPLS VPN	259
Качество обслуживания в сетях MPLS VPN	268
Дифференцированные услуги MPLS VPN QoS	268
Гарантированные услуги QoS	270
Практический пример 9.4: качество обслуживания в сетях MPLS VPN	271
Резюме	271
<b>Часть III. Управление трафиком</b>	<b>275</b>
<b>Глава 10. Управление трафиком в сетях MPLS</b>	<b>277</b>
Оверлейная модель канального уровня	278
Маршрутизация на основе резервирования ресурсов (RRR)	279
Определение TE-транка	280
Атрибуты TE-туннеля	281
Полоса пропускания	282
Приоритет установки и удержания	282
Родственность класса ресурса	282
Порядок выбора пути	283
Адаптируемость	283
Устойчивость	283
Атрибуты ресурсов канала	283
Доступная полоса пропускания	283
Класс ресурса	284
Распространение информации о ресурсах канала	284
Политика выбора пути	284
Установка TE-туннеля	285
Управление доступом к каналу	286
Поддержка TE-пути	286
Сигнальный протокол TE-RSVP	287
Расширения протокола маршрутизации внутреннего шлюза	288
Модификации протокола IS-IS	288
Модификации протокола OSPF	288
Подходы к реализации механизма управления трафиком	289
Практический пример 10.1: установка и функционирование TE-туннеля в MPLS-сети	289
Резюме	304

<b>Часть IV. Приложения</b>	<b>307</b>
<b>Приложение А. Модульный интерфейс командной строки Cisco QoS</b>	<b>309</b>
Определение класса трафика	310
Определение политики	311
Применение политик	312
Иерархические политики	313
Порядок выполнения политик	314
Упорядочение политик	314
Упорядочение операторов внутри политик	315
<b>Приложение Б. Механизмы коммутации пакетов</b>	<b>317</b>
Коммутация процессов	317
Продвижение пакетов с помощью кэша маршрутов	318
CEF-коммутация	319
Преимущества CEF-коммутации	319
Распределенный механизм коммутации CEF (DCEF)	321
Практический пример Б.1: применение механизма коммутации CEF на магистральном маршрутизаторе	321
Сравнение механизмов коммутации с помощью кэша маршрутов и CEF	328
Резюме	329
<b>Приложение В. Политики маршрутизации</b>	<b>331</b>
Использование QoS-политик при принятии решения о маршрутизации	331
Маршрутизация на основе качества обслуживания (QoS)	331
Маршрутизация на основе политики	332
Практический пример В.1: маршрутизация на основе IP-приоритета	333
Практический пример В.2: маршрутизация на основе размера пакета	335
Распространение QoS-политик с помощью протокола BGP	336
Практический пример В.3: применение политики QoS для входящего и исходящего трафика	338
Резюме	341
<b>Приложение Г. Транспортный протокол реального времени (RTP)</b>	<b>343</b>
<b>Приложение Д. Общие функции линейной эффективности протокола IP</b>	<b>345</b>
Алгоритм Нагля	345
Функция определения максимально возможной единицы передачи данных (MTU) пути	346
Сжатие заголовка TCP/IP	346
Сжатие RTP-заголовка	346
<b>Приложение Е. Фрагментация и чередование пакетов на канальном уровне</b>	<b>349</b>
<b>Приложение Ж. Значения поля IP-приоритета и поля DSCP</b>	<b>353</b>
<b>Предметный указатель</b>	<b>356</b>