

О. И. Шелухин

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

*Рекомендовано УМО по образованию
в области телекоммуникаций
в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по специальностям
«Сети и системы коммутации»,
«Многоканальные телекоммуникационные системы»*

Москва
Горячая линия - Телеком
2012

УДК 621.395

ББК 32.882

Ш44

Рецензенты: Военный университет связи, кафедра №17; доктор техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э.Баумана *В. И. Соленов*

Шелухин О. И.

Ш44 Моделирование информационных систем. Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия–Телеком, 2012. – 516 с.: ил.

ISBN 978-5-9912-0193-3.

Рассмотрены алгоритмы моделирования дискретных и непрерывных случайных величин и процессов. Изложены принципы и алгоритмы моделирования информационных сигналов, описываемых Марковскими процессами с дискретным и непрерывным времени Рассмотрены принципы моделирования систем массового обслуживания. Описаны особенности описания и использования фрактальных и мультифрактальных процессов для моделирования телекоммуникационного трафика. Анализируются методы и примеры моделирования информационных систем с использованием специализированных пакетов прикладных программ Matlab, Opnet, Network simulator.

Для студентов, обучающихся по специальностям «Сети и системы коммутации», «Многоканальные телекоммуникационные системы», «Информационные системы и технологии».

ББК 32.882

Адрес издательства в Интернет WWW.TECHBOOK.RU

Учебное издание

Шелухин Олег Иванович

Моделирование информационных систем
Учебное пособие

Редактор Ю. Н. Чернышов

Компьютерная верстка Ю. Н. Чернышова

Обложка художника В. Г. Ситникова

Подписано в печать 28.03.11. Печать офсетная. Формат 60х88/16. Уч. изд. л. 32,25 .

Тираж 1000 (2-й завод 200 экз.)

ISBN 978-5-9912-0193-3

© О. И. Шелухин, 2012

© НТИ «Горячая линия–Телеком», 2012

Оглавление

Глава 1. Общие принципы моделирования систем	3
1.1. Общие понятия модели и моделирования	3
1.2. Классификация моделей	4
1.3. Структура моделей	6
1.4. Методологические основы формализации функционирования сложной системы	8
1.5. Моделирование компонентов	10
1.6. Этапы формирования математической модели	12
1.7. Имитационное моделирование	14
Контрольные вопросы	19
Глава 2. Общие принципы построения систем и сетей связи	20
2.1. Концепция построения систем и сетей связи	20
2.2. Многоуровневые модели сети	24
2.2.1. Трехуровневая модель	24
2.2.2. Архитектура протоколов TCP/IP	26
2.2.3. Эталонная модель OSI	27
2.3. Структура сетей связи	31
2.3.1. Глобальные сети	31
2.3.2. Локальные вычислительные сети	32
2.3.3. Топологии вычислительной сети	33
2.3.4. Локальные сети Ethernet	37
2.4. Сети Frame Relay	38
2.5. IP-телефония	43
Контрольные вопросы	49
Глава 3. Моделирование случайных чисел	51
3.1. Общие сведения о случайных числах	51
3.2. Программные методы генерирования равномерно распределенных случайных чисел	53
3.3. Формирование случайных величин с заданным законом распределения	57
3.3.1. Метод обратных функций	57

3.3.2. Приближенные методы преобразования случайных чисел	58
3.3.3. Метод отсеивания (метод генерации Неймана)	59
3.4. Методы, основанные на центральной предельной теореме	60
3.5. Алгоритмы моделирования часто употребляемых случайных величин	61
3.6. Алгоритмы моделирования коррелированных случайных величин	64
3.7. Формирование реализаций случайных векторов и функций	66
3.7.1. Моделирование n -мерной случайной точки с независимыми координатами	66
3.7.2. Формирование случайного вектора (в рамках корреляционной теории)	66
3.7.3. Формирование реализаций случайных функций	67
Глава 4. Моделирование дискретных распределений	69
4.1. Распределение Бернулли	69
4.2. Биномиальное распределение	70
4.3. Распределение Пуассона	71
4.4. Моделирование испытаний в схеме случайных событий ...	74
4.4.1. Моделирование случайных событий	74
4.4.2. Моделирование противоположных событий	74
4.4.3. Моделирование дискретной случайной величины	75
4.4.4. Моделирование полной группы событий	75
4.5. Потоки событий	76
4.6. Обработка результатов моделирования	79
4.6.1. Точность и количество реализаций	81
4.6.2. Первичная статистическая обработка данных	83
Контрольные вопросы	87
Глава 5. Алгоритмы моделирования стохастических сигналов и помех в системах связи	88
5.1. Алгоритм моделирования нестационарных случайных процессов	88
5.2. Алгоритмы моделирования стационарных случайных процессов	90
5.3. Методы моделирования сигналов и помех в виде стохастических дифференциальных уравнений	93
5.4. Примеры моделей случайных процессов в системах связи	96
5.4.1. Модели информационных процессов	96
5.4.2. Модели помех	98
5.4.3. Характеристика основных видов помех	99

Контрольные вопросы.....	106
Глава 6. Марковские случайные процессы и их моделирование	107
6.1. Основные понятия марковского случайного процесса.....	107
6.2. Основные свойства дискретных цепей Маркова.....	109
6.3. Непрерывные марковские цепи.....	113
6.3.1. Основные понятия.....	113
6.3.2. Полумарковские процессы.....	117
6.3.3. Процессы гибели и размножения.....	120
6.4. Модели непрерывнозначных марковских случайных процессов на основе стохастических дифференциальных уравнений.....	121
6.5. Моделирование марковских случайных процессов.....	124
6.5.1. Моделирование дискретных процессов.....	125
6.5.2. Моделирование скалярных непрерывнозначных процессов.....	126
6.5.3. Моделирование непрерывнозначных векторных процессов.....	129
6.5.4. Моделирование гауссовского процесса с дробно-рациональной спектральной плотностью.....	130
6.5.5. Моделирование многосвязных последовательностей.....	131
6.5.6. Моделирование марковских процессов с помощью формирующих фильтров.....	133
6.5.7. Алгоритм статистического моделирования марковских цепей.....	137
Контрольные вопросы.....	138
Глава 7. Примеры марковских моделей	140
7.1. Марковские модели речевого диалога абонентов.....	140
7.1.1. Состояния речевого сигнала.....	140
7.1.2. Модели диалога.....	141
7.2. Марковские модели речевого монолога.....	146
7.3. Пуассоновский процесс, управляемый марковским в моделях речи.....	151
7.4. Марковские модели цифровых последовательностей на выходе кодека G.728.....	162
7.5. Статистическое уплотнение источника речевых пакетов с учетом марковской модели телефонного диалога.....	166
7.6. Марковская модель беспроводного канала с механизмом ARQ/FEC.....	172
7.7. Пакетирование ошибок.....	180

7.8. Расчёт характеристик потока ошибок по параметрам модели	186
7.8.1. Оценка параметров потока ошибок	186
7.8.2. Оценка адекватности модели потока ошибок	188
7.9. Марковские модели оценки QoS мультимедийных сервисов реального времени в Интернете	189
7.9.1. Понятие мультимедийных сервисов реального времени ...	189
7.9.2. Анализ и моделирование задержек и потерь	191
7.10. Модели потоков мультимедийного трафика	195
Контрольные вопросы	199
Глава 8. Системы массового обслуживания и их моделирование	200
8.1. Общая характеристика систем массового обслуживания ..	200
8.2. Структура системы массового обслуживания	208
8.3. Системы массового обслуживания с ожиданием	210
8.3.1. Система обслуживания M/M/1	210
8.3.2. Система обслуживания M/G/1	213
8.3.3. Сети с большим числом узлов, соединенных каналами связи	216
8.3.4. Приоритетное обслуживание	218
8.3.5. Система обслуживания M/M/N/m	221
8.4. Системы массового обслуживания с отказами	223
8.5. Общие принципы моделирования систем массового обслуживания	225
8.5.1. Метод статистических испытаний	225
8.5.2. Блочные модели процессов функционирования систем ...	228
8.5.3. Особенности моделирования с использованием Q-схем ...	228
Контрольные вопросы	230
Глава 9. Моделирование информационных систем с использованием типовых технических средств	231
9.1. Моделирование систем и языки программирования	231
9.2. Основные сведения о языке GPSS	234
9.2.1. Динамические объекты GPSS. Транзактно-ориентированные блоки (операторы)	237
9.2.2. Аппаратно-ориентированные блоки (операторы)	241
9.2.3. Многоканальное обслуживание	241
9.2.4. Статистические блоки GPSS	238
9.2.5. Операционные блоки GPSS	252
9.2.6. Другие блоки GPSS	256
9.3. Имитационное моделирование сети Ethernet в среде GPSS	260

Контрольные вопросы.....	271
Глава 10. Моделирование систем передачи информации .	273
10.1. Типовая система передачи данных.....	273
10.2. Помехоустойчивость передачи дискретных сигналов. Оптимальный прием.....	276
10.3. Оценка вероятности ошибочного приема дискретных сигналов с полностью известными параметрами.....	280
10.4. Помехоустойчивость дискретных сигналов со случайными параметрами.....	283
10.5. Помехоустойчивость дискретных сигналов при некогерентном приеме.....	284
10.6. Помехоустойчивость дискретных сигналов со случайными существенными параметрами.....	285
10.7. Алгоритмы формирования дискретных сигналов.....	288
10.8. Алгоритм формирования помехи.....	289
10.9. Алгоритм демодуляции дискретных сигналов.....	290
10.10. Структура имитационного комплекса и его подпрограмм.....	293
10.11. Программная среда Mathworks Matlab и пакет визуального моделирования Simulink.....	295
10.11.1. Техническое описание и интерфейс.....	296
10.11.2. Пакет визуального моделирования Simulink.....	298
10.11.3. Создание и маскирование подсистем.....	301
10.11.4. Пакет расширений Communications Toolbox.....	303
10.12. Моделирование блоков системы передачи данных стандарта WiMAX.....	305
10.12.1. Моделирование передатчика.....	306
10.12.2. Моделирование канала передачи.....	315
10.12.3. Моделирование приемника.....	321
10.12.4. Реализация модели в системе Mathlab.....	329
10.13. Результаты имитационного моделирования системы WiMAX.....	330
Контрольные вопросы.....	344
Глава 11. Самоподобные процессы и их применение в телекоммуникациях ..	345
11.1. Основы теории фрактальных процессов.....	347
11.2. Мультифрактальные процессы.....	353
11.3. Оценка показателя Херста.....	355
11.4. Мультифрактальный анализ с использованием программного обеспечения.....	360
11.4.1. Описание программного обеспечения «Вейвлет-анализ» ..	360
11.4.2. Примеры оценки степени самоподобия.....	364

11.5. Алгоритмы и программное обеспечение для мультифрактального анализа	368
11.6. Влияние самоподобия трафика на характеристики системы обслуживания	374
11.7. Методы моделирования самоподобных процессов в теле-трафике	379
11.8. Исследование самоподобной структуры трафика Ethernet	383
11.9. Перегрузочное управление самоподобным трафиком	387
11.10. Фрактальное броуновское движение	389
11.10.1. RMD-алгоритм генерации ФБД	392
11.10.2. SRA-алгоритм генерации ФБД	393
11.11. Фрактальный гауссовский шум	394
11.11.1. БПФ-алгоритм синтеза ФГШ	396
11.11.2. Оценка результатов моделирования	399
Контрольные вопросы	405
Глава 12. Моделирование узла телекоммуникационной сети	406
12.1. Основные положения протокола Frame Relay	406
12.2. Проектирование узла сети Frame Relay	411
12.3. Результаты имитационного моделирования маршрутизатора FR с кодеками G.728 на входе	416
12.4. Влияние самоподобия трафика на QoS	429
Контрольные вопросы	434
Глава 13. Специализированные системы имитационного моделирования вычислительных сетей	435
13.1. Общая характеристика специализированных пакетов прикладных программ сетевого моделирования	435
13.2. Общие принципы моделирования в среде OPNET Modeler	438
13.3. Примеры применения OPNET	451
13.3.1. Модель для оценки качества обслуживания	451
13.3.2. Реализация модели локальной сети	458
Контрольные вопросы	465
Глава 14. Имитационное моделирование с помощью сетевого имитатора Network simulator 2	466
14.1. История создания и архитектура пакета NS2	466
14.2. Создание объекта имитатора	469
14.3. Создание топологии сети	469
14.4. Задание параметров генераторов	475
14.4.1. Exponential On/Off	478
14.4.2. Pareto On/Off	479

14.5. Два основных алгоритма организации очереди	481
14.6. Запуск программы сценария в NS2	482
14.7. Процедура обработки результатов моделирования	483
14.8. Пример моделирования беспроводной сети	484
14.9. Пример имитационного моделирования качества передачи потокowego видео	487
14.9.1. Структура программно-аппаратного комплекса для оценки качества потокowego видео	487
14.9.2. Функциональные модули ПАК	489
14.9.3. Оценка качества видео	502
Литература	508