

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	7
Глава 1. Основные положения теории фракталов и самоподобных процессов	12
1.1. Фракталы и мультифракталы	12
1.1.1. Фрактальная размерность множества (13). 1.1.2. Мультифракталы (14). 1.1.3. Фрактальная размерность D_0 и информационная размерность D_1 (16). 1.1.4. Преобразование Лежандра (19).	
1.2. Самоподобные процессы	20
1.2.1. Определения и свойства самоподобных процессов (20). 1.2.2. Мультифрактальные процессы (25). 1.2.3. Долговременная и кратковременная зависимости (25). 1.2.4. Медленно затухающая дисперсия (27).	
1.3. Мультифрактальный анализ	28
1.3.1. Обратная мера (30). 1.3.2. Мультифрактальный анализ данных (30). 1.3.3. Мультифрактальные модели трафика, полученного путем наложения случайных процессов (31).	
1.4. «Тяжелые хвосты»	32
1.4.1. Распределение с «тяжелыми хвостами» (РТХ) (32). 1.4.2. Тестирование «тяжелых хвостов» (34).	
1.5. Оценка показателя Херста	36
1.5.1. Методы оценки показателя Херста во временной области (37). 1.5.2. Методы оценки показателя Херста в частотной области (47).	
1.6. Проблемы оценки показателя Херста	50
1.6.1. Проблемы тестирования (50). 1.6.2. Проблема нестационарности (52). 1.6.3. Вычислительные проблемы (59).	
1.7. Причины самоподобности в телетрафике	60
Список литературы	63
Глава 2. Методы моделирования фрактальных процессов	73
2.1. Фрактальное броуновское движение	73
2.1.1. RMD-алгоритм генерации ФБД (75). 2.1.2. SRA-алгоритм генерации ФБД (77).	
2.2. Фрактальный гауссовский шум	78
2.2.1. БПФ-алгоритм синтеза ФГШ (79). 2.2.2. Достоинства и недостатки ФБД/ФГШ-моделей в сетевых приложениях (89).	
2.3. Регрессионные модели трафика	90

2.3.1. Линейные авторегрессионные (AR) процессы (91).	
2.3.2. Процессы скользящего среднего (92).	
2.3.3. Авторегрессионные модели скользящего среднего ARMA(p, q) (92).	
2.3.4. Фрактальный авторегрессионный интегральный процесс скользящего среднего (FARIMA) (94).	
2.3.5. Методы параметрической оценки (99).	
2.3.6. Синтез FARIMA($p; d; q$)-процесса (103).	
2.4. Фрактальные точечные процессы	104
2.4.1. Статистические характеристики точечного процесса (106).	
2.4.2. Фрактальная структура ФТП (107).	
2.4.3. Методы построения ФТП (109).	
2.4.4. Фрактальный процесс восстановления (ФПВ) (FRP — Fractal Renewal Process) (111).	
2.4.5. Суперпозиция ФПВ (Sup-FRP) (113).	
2.4.6. Чередующийся фрактальный процесс восстановления (чФПВ) (116).	
2.4.7. ппФБШ (FBNDP — Fractal-Binomial-Noise-Driven Poisson process) — пуассоновский процесс, управляемый фрактальным биномиальным шумом (123).	
2.4.8. ппФДШ (FSNDP — Fractal-Shot-Noise-Driven Poisson process) — пуассоновский точечный процесс, управляемый фрактальным дробовым шумом (125).	
2.4.9. Выводы (127).	
2.5. Фрактальное движение Леви и его приложение к моделированию сетевого трафика	127
2.5.1. Фрактальное движение Леви и его свойства (129).	
2.5.2. Алгоритм моделирования фрактального движения Леви (130).	
2.5.3. Формирование фрактального трафика на основе ФДЛ (132).	
2.6. Модели мультифрактального сетевого трафика	139
2.7. Моделирование ДВЗ трафика с помощью вейвлетов	145
2.8. Мультифрактальная каскадная модель (МКМ)	152
2.9. M/G/ ∞ -модель	160
Список литературы	163
Глава 3. Самоподобие трафика реального времени	167
3.1. Проблема самоподобия трафика реального времени	167
3.2. Статистические характеристики телекоммуникационного трафика реального времени	169
3.2.1. Организация измерений (169).	
3.2.2. Структура трафика ТС (171).	
3.3. Характеристики речевого трафика	176
3.3.1. Характеристики речевого трафика на уровне вызовов (176).	
3.3.2. Характеристики речевого трафика на уровне пакетов (180).	
3.4. Мультифрактальный анализ речевого трафика	183
3.4.1. Основные положения (183).	
3.4.2. Алгоритм вычисления функции разбиения $S_m(q)$ (186).	
3.4.3. Мультифрактальные свойства мультиплексированного речевого трафика (186).	
3.4.4. Мультифрактальные свойства двухкомпонентного речевого трафика (190).	
3.4.5. Результаты моделирования речевого трафика с учетом мультифрактальных свойств (191).	
3.5. Математические модели трафика VoIP	191
3.5.1. Постановка задачи (191).	
3.5.2. Модели речевого трафика на уровне вызовов (192).	
3.5.3. Оценка параметров полумарковской	

модели и результаты моделирования речевого трафика на уровне вызовов (195).	
3.5.4. Математические модели речевого трафика на уровне пакетов (197).	
3.6. Имитационное моделирование речевого трафика	199
3.6.1. Структура имитационного комплекса (199).	
3.6.2. Выбор параметров распределения Парето источника речевого трафика в ns2 (204).	
3.6.3. Результаты моделирования отдельного источника (205).	
3.6.4. Результаты мультиплексирования трафика отдельных ON/OFF-источников (205).	
3.7. Долговременная зависимость для VBR-видео	209
3.7.1. Отличительные характеристики видеотрафика (209).	
3.7.2. Видеоконференции (210).	
3.7.3. Широковещательное видео (211).	
3.7.4. MPEG-видеотрафик (214).	
3.7.5. Нестационарность VBR-видеотрафика (222).	
3.8. Анализ самоподобности видеотрафика	225
3.8.1. Вейвлет-анализ широковещательного видео (225).	
3.8.2. Численные результаты (229).	
3.8.3. Мультифрактальный анализ (234).	
3.9. Модели и моделирование видеопоследовательностей	235
3.9.1. Типы нестационарности для VBR-видеотрафика (235).	
3.9.2. Модель смены сцен видеотрафика, основанная на процессе смешивающихся уровней (СУ) (239).	
3.9.3. Модели видеотрафика в пределах отдельной сцены (243).	
3.9.4. Фрактальные авторегрессионные модели p -го порядка (245).	
3.9.5. Моделирование MPEG с использованием статистики I , P и B кадров (248).	
3.9.6. ON/OFF-модель видеопоследовательностей (249).	
3.9.7. Самоподобная модель Норроса (249).	
3.9.8. Зависимость показателя Херста от N (250).	
3.10. Результаты моделирования видеотрафика с учетом мультифрактальных свойств	250
Список литературы	253
Глава 4. Самоподобность трафика телекоммуникационных сетей	258
4.1. Постановка задачи	258
4.2. Самоподобность и «тяжелые хвосты» в трафике LAN	260
4.2.1. Экспериментальные исследования самоподобной структуры трафика Ethernet (261).	
4.2.2. Оценка результатов тестирования (262).	
4.3. Самоподобность WAN-трафика	265
4.3.1. Некоторые предельные результаты для объединенного WAN-трафика (267).	
4.3.2. Статистический анализ трафика WAN на уровне приложений (270).	
4.3.3. Мультифрактальный анализ WAN-трафика (270).	
4.4. Самоподобность трафика Интернет	271
4.4.1. Результаты экспериментальных исследований (272).	
4.4.2. Анализ стационарного IP трафика (272).	
4.4.3. Нестационарность трафика Интернет (280).	
4.4.4. Анализ масштабирования (282).	

4.5. Многоуровневая ON/OFF-модель Интернет-трафика	286
4.5.1. Оценка параметров и согласование модели (288). 4.5.2. Параллельная структура буфера для активного управления очередью (291).	
4.6. Экспериментальное исследование самоподобия GPRS-трафика в сотовой сети связи стандарта GSM	295
Список литературы	305
Глава 5. Очереди и оценка производительности сетей передачи данных в условиях самоподобия трафика.	309
5.1. Оценка влияния фрактальности трафика на построение очередей в телекоммуникационных сетях	309
5.1.1. Монофрактальный трафик (310). 5.1.2. Модель системы связи и оценка вероятности потери пакетов при асимптотически самоподобном трафике, описываемом распределением Парето (313). 5.1.3. Модель построения очередей с фрактальным движением Леви (ФДЛ) (316). 5.1.4. Оценка влияния мультифрактальности трафика на построение очередей (319). 5.1.5. Теория организации очереди для мультифрактального каскадного процесса (324).	
5.2. Оценка влияния самоподобности речевого трафика на оптимизацию входных параметров в IP-сетях	329
5.2.1. Структура имитационного комплекса (329). 5.2.2. Оценка влияния самоподобности трафика на QoS (331). 5.2.3. Оптимизация входных параметров ТС при заданных характеристиках QoS (331).	
5.3. Оптимизация параметров телекоммуникационных сетей методом регуляризации Тихонова	336
5.3.1. Оптимизация параметров телекоммуникационной сети на основе минимизации функционала невязки параметров QoS (338). 5.3.2. Результаты оптимизации (339). 5.3.3. Оптимизация параметров телекоммуникационной сети на основе минимизации функционала Тихонова (342). 5.3.4. Результаты регуляризации (344).	
5.4. Оценка влияния самоподобности речевого трафика на QoS телекоммуникационных сетей с Frame Relay	349
5.4.1. Моделирование маршрутизатора Frame Relay [49] (350). 5.4.2. Результаты имитационного моделирования (354).	
5.5. Прогнозирование пропускной способности в сетях.	358
5.6. Перегрузочное управление самоподобным трафиком	361
Список литературы	365