

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие к русскому изданию	11
Об авторе	12
Благодарности	14
Предисловие	17
Обозначения и сокращения	22
Глава 1. Введение в биомедицинские сигналы.	27
1.1. Природа биомедицинских сигналов	27
1.2. Примеры биомедицинских сигналов	30
1.2.1. Потенциал действия (30). 1.2.2. Электронейрограмма (ЭНГ) (33). 1.2.3. Электромиограмма (ЭМГ) (34). 1.2.4. Электрокардиограмма (ЭКГ) (39). 1.2.5. Электроэнцефалограмма (ЭЭГ) (45). 1.2.6. Потенциалы, связанные с событиями (ПСС) (49). 1.2.7. Электрогастрограмма (ЭГГ) (50). 1.2.8. Фонокардиограмма (ФКГ) (51). 1.2.9. Каротидный пульс (КП) (56). 1.2.10. Сигналы с катетерных датчиков (56). 1.2.11. Речевой сигнал (57). 1.2.12. Вибромиограмма (ВМГ) (60). 1.2.13. Виброартрограмма (ВАГ) (60). 1.2.14. Сигналы отоакустической эмиссии (63).	
1.3. Цели анализа биомедицинских сигналов	63
1.4. Трудности, встречающиеся при снятии и анализе биомедицинских сигналов	66
1.5. Компьютерная диагностика	69
1.6. Замечания	71
1.7. Контрольные вопросы и задания	71
1.8. Упражнения и лабораторные работы	73
Глава 2. Анализ одновременных, парных и коррелированных процессов	74
2.1. Постановка задачи	74
2.2. Иллюстрация задачи на примерах	75
2.2.1. Электрокардиограмма и фонокардиограмма (75). 2.2.2. Фонокардиограмма и каротидный пульс (76). 2.2.3. ЭКГ и электрограмма предсердий (77). 2.2.4. Кардиореспираторное взаимодействие (79). 2.2.5. Электромиограмма и вибромиограмма (79). 2.2.6. Сигналы коленного сустава и мышечной вибрации (80).	
2.3. Применение: сегментация ФКГ на систолическую и диастолическую части	81
2.4. Замечания	82
2.5. Контрольные вопросы и задания	83
2.6. Упражнения и лабораторные работы	83
Глава 3. Фильтрация для устранения артефактов	84
3.1. Постановка задачи	84
3.1.1. Случайный шум, структурированный шум и физиологические помехи (85). 3.1.2. Стационарные и нестационарные процессы (91).	
3.2. Иллюстрация задачи на примерах	94
3.2.1. Помехи в потенциалах, связанных с событиями (94). 3.2.2. Высокочастотные помехи в ЭКГ (94). 3.2.3. Двигательные артефакты в ЭКГ (95). 3.2.4. Сетевая наводка в ЭКГ (96). 3.2.5. Интерференция ЭКГ плода и ЭКГ матери (97). 3.2.6. Помехи от мышечных сокращений в сигнале ВАГ (97). 3.2.7. Возможные подходы к решению задачи (100).	

3.3. Фильтрация во временной области	101
3.3.1. Синхронное усреднение (101). 3.3.2. Фильтры скользящего среднего (105). 3.3.3. Операторы для устранения низкочастотных артефактов, основанные на производной (111).	
3.4. Фильтрация в частотной области	117
3.4.1. Устранение высокочастотных шумов: фильтры нижних частот Баттерворта (118). 3.4.2. Устранение низкочастотных шумов: фильтры верхних частот Баттерворта (126). 3.4.3. Устранение периодических артефактов: режекторные и гребенчатые фильтры (128).	
3.5. Оптимальная фильтрация: фильтр Винера	131
3.6. Адаптивные фильтры для устранения помех	138
3.6.1. Адаптивное подавление шумов (139). 3.6.2. Адаптивный фильтр на основе метода наименьших средних квадратов (142). 3.6.3. Адаптивный фильтр на основе рекурсивного метода наименьших квадратов (143).	
3.7. Выбор подходящего фильтра	150
3.8. Применение: устранение артефактов из ЭКГ	151
3.9. Применение: адаптивное устранение ЭКГ матери для получения ЭКГ плода	153
3.10. Применение: адаптивное устранение миографической помехи из сигнала вибрации коленной чашечки	154
3.11. Замечания	157
3.12. Контрольные вопросы и задания	157
3.13. Упражнения и лабораторные работы	161
Глава 4. Обнаружение событий	164
4.1. Постановка задачи	164
4.2. Иллюстрация задачи на примерах	164
4.2.1. Волны Р на QRS и Т на ЭКГ (164). 4.2.2. Первый и второй тоны сердца (165). 4.2.3. Дикротическая выемка в каротидном пульсе (166). 4.2.4. Ритмы, волны и переходящие события на ЭЭГ (166).	
4.3. Обнаружение событий и волн	168
4.3.1. Методы обнаружения QRS-комплекса, основанные на производной (169). 4.3.2. Алгоритм обнаружения QRS-комплекса Пана–Томпкинса (172). 4.3.3. Обнаружение дикротической выемки (175).	
4.4. Корреляционный анализ каналов ЭЭГ	177
4.4.1. Обнаружение ритмов ЭЭГ (178). 4.4.2. Обнаружение комплекса спайк–волна в сигнале ЭЭГ на основе сопоставления с образцом (180).	
4.5. Методы на основе взаимного спектра	184
4.5.1. Когерентный анализ каналов ЭЭГ (184).	
4.6. Согласованные фильтры	185
4.6.1. Обнаружение комплексов спайк–волна на ЭЭГ (186).	
4.7. Обнаружение Р-зубца	188
4.8. Гомоморфная фильтрация и комплексный кепстр	191
4.8.1. Обобщённая линейная фильтрация (191). 4.8.2. Гомоморфная деконволюция (193). 4.8.3. Получение характеристики голосового тракта (194).	
4.9. Применение: анализ ритма ЭКГ	200
4.10. Применение: идентификация звуков сердца	203
4.11. Применение: обнаружение аортальной компоненты второго тона сердца	206
4.12. Замечания	208
4.13. Контрольные вопросы и задания	209
4.14. Упражнения и лабораторные работы	210
Глава 5. Анализ форм волн и их сложности	212
5.1. Постановка задачи	212
5.2. Иллюстрация задачи на примерах	212
5.2.1. QRS-комплекс при блокаде проводящих путей (212). 5.2.2. Влияние ишемии и инфаркта миокарда на форму QRS-комплекса (213). 5.2.3. Эктопические комплексы (213). 5.2.4. Сложность формы сигнала ЭМГ (213). 5.2.5. Уровень интенсивности сигнала ФКГ (214).	

5.3. Анализ потенциалов, связанных с событиями	214
5.4. Морфологический анализ волн ЭКГ	215
5.4.1. Коэффициент корреляции (215). 5.4.2. Минимально-фазовое согласование и длина сигнала (215). 5.4.3. Анализ форм волн ЭКГ (222).	
5.5. Выделение и анализ огибающей	224
5.5.1. Амплитудная демодуляция (225). 5.5.2. Синхронное усреднение огибающих ФКГ (226). 5.5.3. ЭнVELOграмма (227).	
5.6. Анализ активности	230
5.6.1. Среднеквадратичное значение (231). 5.6.2. Частота пересечений нуля (232). 5.6.3. Подсчёт поворотов (232). 5.6.4. Коэффициент формы (233).	
5.7. Применение: параметризация нормальных и эктопических комплексов ЭКГ	235
5.8. Применение: анализ ЭКГ при физической нагрузке	236
5.9. Применение: анализ дыхания	237
5.10. Применение: электрические и механические корреляты мышечных сокращений	238
5.11. Замечания	241
5.12. Контрольные вопросы и задания	241
5.13. Упражнения и лабораторные работы	243
Глава 6. Исследование характеристик сигналов и систем в частотной области	245
6.1. Постановка задачи	246
6.2. Иллюстрация задачи на примерах	246
6.2.1. Влияние эластичности миокарда на спектр звуков сердца (246). 6.2.2. Частотный анализ шумов сердца для диагностики дефектов клапанов (248).	
6.3. Спектр Фурье	251
6.4. Оценка функции спектральной плотности мощности	254
6.4.1. Периодограмма (255). 6.4.2. Необходимость усреднения (257). 6.4.3. Использование окон: спектральное разрешение и утечка (258). 6.4.4. Оценка автокорреляционной функции (265). 6.4.5. Синхронное усреднение спектров ФКГ (265).	
6.5. Характеристики, получаемые из функций спектральной плотности мощности	269
6.5.1. Моменты функций СПМ (269). 6.5.2. Отношения спектральных мощностей (271).	
6.6. Применение: оценка протезов сердечных клапанов	273
6.7. Замечания	274
6.8. Контрольные вопросы и задания	275
6.9. Упражнения и лабораторные работы	276
Глава 7. Моделирование процессов и систем, порождающих биомедицинские сигналы	278
7.1. Постановка задачи	278
7.2. Иллюстрация задачи на примерах	279
7.2.1. Типы форм волн сокращений двигательной единицы (279). 7.2.2. Сердечный ритм (280). 7.2.3. Форманты и высота тона речевого сигнала (281). 7.2.4. Хруст коленной чашечки (282).	
7.3. Точечные процессы	282
7.4. Параметрическое моделирование систем	289
7.5. Авторегрессионное или полюсное моделирование	291
7.5.1. Спектральное согласование и параметризация (296). 7.5.2. Оптимальный порядок модели (299). 7.5.3. Взаимосвязь между авторегрессионными и кепстральными коэффициентами (304).	
7.6. Моделирование с использованием полюсов и нулей	306
7.6.1. Последовательная оценка полюсов и нулей (309). 7.6.2. Итеративная идентификация системы (311). 7.6.3. Гомоморфное предсказание и моделирование (315).	
7.7. Электромеханические модели генерации сигналов	319
7.7.1. Генерация звуков в коронарных артериях (319). 7.7.2. Генерация звуков в коленных суставах (321).	
7.8. Применение: анализ variability сердечного ритма	323
7.9. Применение: спектральное моделирование и анализ сигналов ФКГ	326
7.10. Применение: выявление заболеваний коронарных артерий	331

7.11. Замечания	332
7.12. Контрольные вопросы и задания	333
7.13. Упражнения и лабораторные работы.	334
Глава 8. Анализ нестационарных сигналов	336
8.1. Постановка задачи	337
8.2. Иллюстрация задачи на примерах.	337
8.2.1. Сердечные звуки и шумы (337). 8.2.2. Волны и ритмы ЭЭГ (337). 8.2.3. Повреждения суставного хряща и вибрации коленного сустава (338).	
8.3. Динамические системы.	340
8.3.1. Характеристики нестационарных сигналов и динамических систем (341).	
8.4. Фиксированная сегментация	344
8.4.1. Преобразование Фурье для коротких интервалов (344). 8.4.2. Соображения по анализу коротких интервалов (346).	
8.5. Адаптивная сегментация	350
8.5.1. Мера спектральной ошибки (МСО) (351). 8.5.2. Расстояние по АКФ (355). 8.5.3. Обобщённое отношение правдоподобия (ООП) (357). 8.5.4. Сравнительный анализ методов АКФ, МСО и ООП (358).	
8.6. Использование адаптивных фильтров для сегментации	360
8.6.1. Мониторинг РНК-фильтра (361). 8.6.2. Решётчатый РНК-фильтр (363).	
8.7. Применение: адаптивная сегментация сигналов ЭЭГ	373
8.8. Применение: адаптивная сегментация сигналов ФКГ	375
8.9. Применение: динамический анализ variability сердечного ритма.	378
8.10. Замечания.	381
8.11. Контрольные вопросы и задания	381
8.12. Упражнения и лабораторные работы	382
Глава 9. Классификация образов и диагностические решения	383
9.1. Постановка задачи	384
9.2. Иллюстрация задачи на примерах.	384
9.2.1. Диагностика блокады проводящих путей (384). 9.2.2. Нормальный или эктопический QRS-комплекс? (385). 9.2.3. Имеется ли α -ритм? (385). 9.2.4. Имеется ли шум? (386).	
9.3. Классификация образов	386
9.4. Обучение с учителем	387
9.4.1. Дискриминантные и решающие функции (387). 9.4.2. Функции расстояния (389). 9.4.3. Правило ближайшего соседа (389).	
9.5. Обучение без учителя	390
9.5.1. Методы поиска кластеров (390).	
9.6. Вероятностные модели и статистические решения	394
9.6.1. Функции правдоподобия и статистические решения (394). 9.6.2. Классификатор Байеса для классов с нормальными распределениями (396).	
9.7. Логистический регрессионный анализ	398
9.8. Этапы обучения и тестирования	399
9.8.1. Метод исключения (399).	
9.9. Нейронные сети.	400
9.10. Характеристики точности и цены диагностики	402
9.10.1. Рабочие характеристики (ROC-кривые) (404). 9.10.2. Тест симметрии Макнемара (407).	
9.11. Надёжность классификаторов и систем принятия решений	408
9.12. Применение: нормальные или эктопические QRS-комплексы ЭКГ	409
9.13. Применение: выявление патологии хряща коленной чашечки	413
9.14. Замечания.	416
9.15. Контрольные вопросы и задания	417
9.16. Упражнения и лабораторные работы	419
Список литературы	420
Предметный указатель	433