

Основы информационных технологий

И.Д. Войтович, В.М. Корсунский

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СЕНСОРЫ

Учебное пособие



Интернет-Университет
Информационных Технологий
www.intuit.ru



БИНОМ.
Лаборатория знаний
www.lbz.ru

Москва
2009

УДК [007:159.955](075.8)

ББК 32.81я73-1

В 65

Войтович И.Д.

В65 Интеллектуальные сенсоры: Учебное пособие / И.Д. Войтович, В.М. Корсунский — М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. — 624 с.: ил., табл. — (Основы информационных технологий).

ISBN 978-5-9963-0124-9 (БИНОМ.ЛЗ)

На рубеже тысячелетий родилось новое поколение сенсоров, в состав которых входит микрокомпьютер. Их называют «интеллектуальными» сенсорами (ИС) за способность к глубокой и сложной обработке полученных сигналов, к учету нелинейностей и посторонних влияний, к извлечению из них ценной информации более высоких уровней, к рациональному изменению режимов работы в зависимости от обстоятельств, к самоконтролю и общению с компьютерной сетью. В книге описаны разные классы ИС, раскрыты методы и подходы к их разработке и проектированию с учетом собственного опыта авторов. Показана значительная польза, приносимая ИС, и высказана мысль о том, что их создание является одним из признаков новой «информационной» стадии развития общества.

УДК [007:159.955](075.8)

ББК 32.81я73-1

Полное или частичное воспроизведение или размножение каким-либо способом, в том числе и публикация в Сети, настоящего издания допускается только с письменного разрешения Интернет-Университета Информационных Технологий.

По вопросам приобретения обращаться:

«БИНОМ. Лаборатория знаний»

Телефон: (499) 157-1902, 157-5272,

e-mail: binom@Lbz.ru, <http://www.Lbz.ru>

ISBN 978-5-9963-0124-9 (БИНОМ.ЛЗ)

© Интернет-Университет
Информационных
Технологий, 2009

© БИНОМ. Лаборатория
знаний, 2009

Лекции

Лекция 1. От простых сенсоров — к интеллектуальным	15
Лекция 2. Виды механических сенсоров. Представление о микросистемных технологиях. Деформационные сенсоры.	34
Лекция 3. Механические сенсоры перемещения. Принципы работы глобальной системы ориентирования и сенсоры GPS	50
Лекция 4. Акселерометры и гироскопы. Вибрационные и хромотографические сенсоры	74
Лекция 5. Физические основы работы акустических сенсоров. Приемники акустических сигналов. Некоторые интеллектуальные акустические сенсоры	95
Лекция 6. Активные акустические сенсоры: тонометры, эхолоты, гидролокаторы	115
Лекция 7. Интеллектуальные акустические сенсоры для УЗИ. Сенсоры для сейсморазведки. Сенсоры на ПАВ	136
Лекция 8. Физические основы работы и классификация электрических сенсоров. Резистивные, емкостные и импедансные сенсоры	158
Лекция 9. Вольтаические сенсоры. Сенсоры на диодах и биполярных транзисторах	176
Лекция 10. Сенсоры на полевых транзисторах и на приборах с отрицательной ВАХ. Газоразрядные сенсоры	191
Лекция 11. Цифровые фотоаппараты и видеокамеры, тепловизоры, дактилоскопические сенсоры	207
Лекция 12. Магнитные сенсоры. Сенсоры на скивдах. Индуктивные сенсоры	234
Лекция 13. Радиосенсоры и радиолокаторы	255
Лекция 14. Радиотелевизионные сенсоры	280
Лекция 15. Принципы работы электрохимических сенсоров. Потенциометрические сенсоры	297

Лекция 16. Химически чувствительные полевые транзисторы и биосенсоры на их основе. Кондуктометрические и амперометрические сенсоры	312
Лекция 17. Вольтамперометрические и хроноамперометрические сенсоры. Примеры интеллектуальных электрохимических сенсоров	329
Лекция 18. Спектрофотометрические сенсоры как один из видов оптических сенсоров. Фотоплетизмографы. Оксиметры и пульсоксиметры	348
Лекция 19. Спектрофотометрия в обратно рассеянном свете. Гемоглобинометры и сенсоры кровенаполнения	371
Лекция 20. Неинвазивные глюкометры. Спектрофотометрический сенсор хлорофилла	397
Лекция 21. Теоретические основы работы люминесцентных сенсоров. Хронофлуорометры	415
Лекция 22. Сенсоры с люминесцентными маркерами. Биолуминесцентные и сцинтилляционные сенсоры	438
Лекция 23. Принципы работы ППР-сенсоров. Промышленные ППР-сенсоры	457
Лекция 24. ППР-сенсоры Spreeta. Съёмные рецепторные чипы. ППР-иммуносенсоры и волоконно-оптические сенсоры	477
Лекция 25. Элементная база интеллектуальных сенсоров. Часть 1	499
Лекция 26. Элементная база интеллектуальных сенсоров. Часть 2	520
Лекция 27. Селекция полезных сигналов. Проектирование и программирование интеллектуальных сенсоров	538
Лекция 28. Перспективы развития интеллектуальных сенсоров. Заключительные замечания	559

Содержание

Предисловие	13
Цель курса	14
Предварительные знания	14
Лекция 1. От простых сенсоров — к интеллектуальным	15
1.1. Введение	15
1.2. Уточнение понятия «сенсор»	17
1.3. Простые сенсоры	18
1.4. Активные и пассивные сенсоры	21
1.5. Сенсорно-компьютерные системы	22
1.6. Интеллектуальные сенсоры	25
1.7. Классификация интеллектуальных сенсоров	27
Раздел 1. МЕХАНИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ	34
Лекция 2. Виды механических сенсоров. Представление о микросистемных технологиях. Деформационные сенсоры	34
2.1. Виды механических сенсоров	34
2.2. Представление о микросистемных технологиях	36
2.3. Деформационные чувствительные элементы	38
2.4. Деформационные интеллектуальные сенсоры	43
Лекция 3. Механические сенсоры перемещения. Принципы работы глобальной системы ориентирования и сенсоры GPS	50
3.1. Механические сенсоры перемещения	50
3.2. Принципы работы глобальной системы ориентирования	51
3.3. Сенсоры GPS	53
3.4. Сенсоры линейного перемещения	56
3.5. Сенсоры углового перемещения	60
Лекция 4. Акселерометры и гироскопы. Вибрационные и хроматографические сенсоры	74
4.1. Линейные акселерометры	74
4.2. Угловые акселерометры	76
4.3. Промышленные акселерометры и их «интеллектуальное расширение»	77
4.4. Гироскопы	78
4.5. Микромеханические гироскопы-акселерометры	81

4.6. Вибрационные сенсоры	83
4.7. Кантилеверы	84
4.8. Виброанализаторы	85
4.9. Хроматографические сенсоры	87
Раздел 2. АКУСТИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ	95
Лекция 5. Физические основы работы акустических сенсоров. Приемники акустических сигналов. Некоторые интеллектуальные акустические сенсоры	95
5.1. Физические основы работы акустических сенсоров	95
5.2. Приемники акустических сигналов	97
5.3. Некоторые интеллектуальные акустические сенсоры	105
Лекция 6. Активные акустические сенсоры: тонометры, эхолоты, гидролокаторы	115
6.1. Тонометры	115
6.2. Гидролокаторы	120
6.3. Рыболовительные эхолоты	126
Лекция 7. Интеллектуальные акустические сенсоры для УЗИ. Сенсоры для сейсморазведки. Сенсоры на ПАВ	136
7.1. УЗ-сенсоры расстояния	136
7.2. Интеллектуальные портативные сенсоры для УЗ-исследований	139
7.3. Интеллектуальные портативные сенсоры для сейсморазведки	144
7.4. Сенсоры на поверхностных акустических волнах	148
Раздел 3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ	158
Лекция 8. Физические основы работы и классификация электрических сенсоров. Резистивные, емкостные и импедансные сенсоры	158
8.1. Физические основы работы электрических сенсоров	158
8.2. Резистивные сенсоры	160
8.3. Емкостные и импедансные сенсоры	168
Лекция 9. Вольтаические сенсоры. Сенсоры на диодах и биполярных транзисторах	176
9.1. Вольтаические сенсоры	176
9.2. Сенсоры на диодах и биполярных транзисторах	181

Лекция 10. Сенсоры на полевых транзисторах и на приборах с отрицательной ВАХ. Газоразрядные сенсоры	191
10.1. Сенсоры на полевых транзисторах	191
10.2. Сенсоры на элементах с отрицательной ВАХ	199
10.3. Газоразрядные сенсоры	203
Лекция 11. Цифровые фотоаппараты и видеокамеры, тепловизоры, дактилоскопические сенсоры	207
11.1. Цифровые фотоаппараты	207
11.2. Цифровые видеокамеры	209
11.3. Камеры видеонаблюдения	211
11.4. Тепловизоры	219
11.5. Дактилоскопические сенсоры	225
Раздел 4. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ СЕНСОРЫ	234
Лекция 12. Магнитные сенсоры. Сенсоры на сквидах. Индуктивные сенсоры	234
12.1. Необходимые сведения из физики	234
12.2. Магнитные сенсоры	238
12.3. Сверхчувствительные магнитные сенсоры на сквидах	241
12.4. Индуктивные сенсоры	248
Лекция 13. Радиосенсоры и радиолокаторы	255
13.1. Радиоприемники	255
13.2. Мобильные телефоны	261
13.3. Радиосенсоры Bluetooth	265
13.4. Радиолокаторы	269
Лекция 14. Радиотелевизионные сенсоры	280
14.1. Тюнеры	280
14.2. ТВ-ресиверы	286
14.3. Мобильные телефоны 3–4-го поколения	289
14.4. Компьютерные кабельные модемы	292
Раздел 5. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ	297
Лекция 15. Принципы работы электрохимических сенсоров. Потенциометрические сенсоры	297
15.1. Принцип работы электрохимического элемента	297
15.2. Классификация электрохимических сенсоров	300

15.3. Селективность электрохимических сенсоров	300
15.4. Потенциометрические электрохимические сенсоры	302
Лекция 16. Химически чувствительные полевые транзисторы и биосенсоры на их основе. Кондуктометрические и амперометрические сенсоры	312
16.1. Электрохимические биосенсоры	312
16.2. Химически чувствительный полевой транзистор	313
16.3. Кондуктометрические и импедансные сенсоры	316
16.4. Амперометрические и кулонометрические сенсоры	319
Лекция 17. Вольтамперометрические и хроноамперометрические сенсоры. Примеры интеллектуальных электрохимических сенсоров	329
17.1. Вольтамперометрические сенсоры	329
17.2. Хроноамперометрические сенсоры	332
17.3. Примеры интеллектуальных электрохимических сенсоров	333
Раздел 6. СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ	348
Лекция 18. Спектрофотометрические сенсоры как один из видов оптических сенсоров. Фотоплетизмографы. Оксиметры и пульсоксиметры	348
18.1. Спектрофотометрические сенсоры как один из видов оптических сенсоров	348
18.2. Фотоплетизмографы	353
18.3. Оксиметры и пульсоксиметры	360
Лекция 19. Спектрофотометрия в обратно рассеянном свете. Гемоглобинометры и сенсоры кровенаполнения	371
19.1. Анализ трудностей, возникающих при реализации неинвазивных спектрофотометрических сенсоров	371
19.2. Спектрофотометрия в обратно рассеянном свете	374
19.3. Неинвазивные гемоглобинометры	381
19.4. Неинвазивный сенсор кровенаполнения	388
19.5. Интеллектуальный сенсор для неинвазивного исследования микроциркуляторного русла системы кровообращения	389
Лекция 20. Неинвазивные глюкометры. Спектрофотометрический сенсор хлорофилла	397
20.1. Неинвазивные глюкометры	397

Раздел 7. ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ И ППР-СЕНСОРЫ	415
Лекция 21. Теоретические основы работы люминесцентных сенсоров. Хронофлуорометры	415
21.1. Общие сведения о люминесценции	415
21.2. Теоретические основы метода индукции флуоресценции хлорофилла	416
21.3. Хронофлуорометры	422
21.4. Обзор выпускаемых марок хронофлуорометров	430
Лекция 22. Сенсоры с люминесцентными маркерами. БиOLUMИНЕСЦЕНТНЫЕ И СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЕ СЕНСОРЫ	438
22.1. Сенсор для определения квантового выхода фотосинтеза	438
22.2. Сенсоры с люминесцентными «маркерами»	440
22.3. БиOLUMИНЕСЦЕНТНЫЕ СЕНСОРЫ	443
22.4. СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЕ СЕНСОРЫ	446
Лекция 23. Принципы работы ППР-сенсоров. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ППР-СЕНСОРЫ	457
23.1. Поверхностный плазмонный резонанс и его применение для построения сенсоров	457
23.2. Анализ оптоэлектронных каналов ППР-сенсоров с параллельным и с расходящимся световым пучком	462
23.3. Промышленные ППР-сенсоры	465
Лекция 24. ППР-сенсоры Spreeta. Съёмные рецепторные чипы. ППР-ИММУНОСЕНСОРЫ И ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ	477
24.1. Микроэлектронные ППР-сенсоры семейства Spreeta	477
24.2. Технология работы со съёмными рецепторными чипами	480
24.3. Пример использования ППР-иммуносенсора для выявления заболевания коров лейкозом	487
24.4. Волоконно-оптические ППР-сенсоры	492
Раздел 8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕНСОРОВ	499
Лекция 25. Элементная база интеллектуальных сенсоров. Часть 1	499
25.1. Электронные усилители	499
25.2. Шумы и борьба с ними	506
25.3. Аналого-цифровые преобразователи	508
25.4. Микрокомпьютеры	509
Лекция 26. Элементная база интеллектуальных сенсоров. Часть 2	520
26.1. Жидкокристаллические индикаторы	520

26.2. Клавиатура	523
26.3. Сенсорные экраны	524
26.4. Внутренняя память интеллектуальных сенсоров	526
26.5. Внешний интерфейс	529
26.6. Питание портативных интеллектуальных сенсоров	534
Лекция 27. Селекция полезных сигналов. Проектирование и программирование интеллектуальных сенсоров	538
27.1. Обзор способов селекции полезных сигналов	538
27.2. Проектирование интеллектуальных сенсоров	543
27.3. Программирование интеллектуальных сенсоров	549
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	559
Лекция 28. Перспективы развития интеллектуальных сенсоров. Заключительные замечания	559
28.1. Перспективы развития интеллектуальных сенсоров	559
28.2. Заключительные замечания	569
Литература	575
Глоссарий	596
Предметный указатель	616