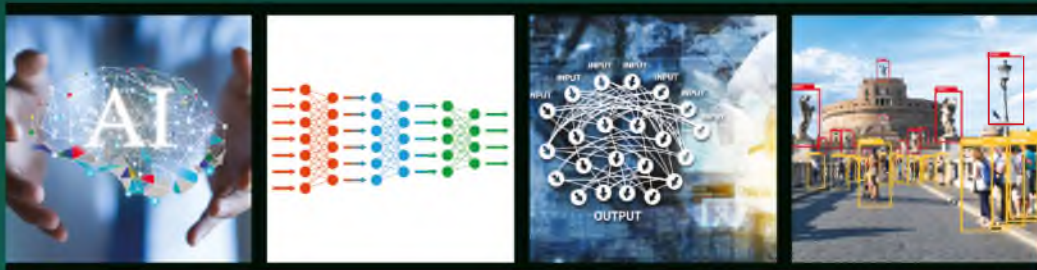


Компьютерное зрение

Передовые методы
и глубокое обучение



Рой Дэвис • Мэтью Тёрк

Содержание

| | |
|---|----|
| От издательства | 17 |
| Список соавторов | 18 |
| О редакторах | 20 |
| Предисловие | 21 |
| | |
| Глава 1. Кардинальные переменны в области компьютерного зрения | 27 |
| 1.1. Введение. Компьютерное зрение и его история | 27 |
| 1.2. Часть А. Обзор операторов низкоуровневой обработки изображений | 31 |
| 1.2.1. Основы обнаружения краев | 31 |
| 1.2.2. Оператор Кэнни | 33 |
| 1.2.3. Обнаружение сегмента линии | 34 |
| 1.2.4. Оптимизация чувствительности обнаружения | 35 |
| 1.2.5. Работа с изменениями интенсивности фона | 37 |
| 1.2.6. Теория, сочетающая согласованный фильтр и конструкции с нулевым средним..... | 37 |
| 1.2.7. Структура маски (дополнительные соображения)..... | 38 |
| 1.2.8. Обнаружение угла..... | 40 |
| 1.2.9. Оператор «особой точки» Харриса..... | 41 |
| 1.3. Часть В. Локализация и распознавание двухмерных объектов | 43 |
| 1.3.1. Подход к анализу формы на основе центроидного профиля | 43 |
| 1.3.2. Схемы обнаружения объектов на основе преобразования Хафа | 46 |
| 1.3.3. Применение преобразования Хафа для обнаружения линий | 50 |
| 1.3.4. Использование RANSAC для обнаружения линий | 51 |
| 1.3.5. Теоретико-графовый подход к определению положения объекта | 54 |
| 1.3.6. Использование обобщенного преобразования Хафа для экономии вычислений | 57 |
| 1.3.7. Подходы на основе частей..... | 59 |
| 1.4. Часть С. Расположение трехмерных объектов и важность неизменности..... | 60 |
| 1.4.1. Введение в трехмерное зрение..... | 60 |
| 1.4.2. Неоднозначность положения при перспективной проекции..... | 64 |
| 1.4.3. Инварианты как помощь в трехмерном распознавании | 68 |
| 1.4.4. Кросс-коэффициенты: концепция «отношения коэффициентов» | 69 |
| 1.4.5. Инварианты для неколлинеарных точек | 71 |
| 1.4.6. Обнаружение точки схода | 73 |
| 1.4.7. Подробнее о точках схода | 75 |
| 1.4.8. Промежуточный итог: значение инвариантов | 76 |
| 1.4.9. Преобразование изображения для калибровки камеры | 77 |
| 1.4.10. Калибровка камеры..... | 80 |

| | |
|---|-----|
| 1.4.11. Внутренние и внешние параметры | 82 |
| 1.4.12. Многоакурсное зрение | 83 |
| 1.4.13. Обобщенная геометрия стереозрения | 84 |
| 1.4.14. Существенная матрица | 85 |
| 1.4.15. Фундаментальная матрица | 87 |
| 1.4.16. Свойства существенной и фундаментальной матриц | 88 |
| 1.4.17. Расчет фундаментальной матрицы | 88 |
| 1.4.18. Усовершенствованные методы триангуляции | 89 |
| 1.4.19. Достижения и ограничения многоакурсного зрения | 90 |
| 1.5. Часть D. Отслеживание движущихся объектов | 90 |
| 1.5.1. Основные принципы отслеживания | 90 |
| 1.5.2. Альтернативы вычитанию фона | 94 |
| 1.6. Часть E. Анализ текстур | 98 |
| 1.6.1. Введение | 98 |
| 1.6.2. Основные подходы к анализу текстур | 99 |
| 1.6.3. Метод Лоуза на основе энергии текстуры | 101 |
| 1.6.4. Метод собственного фильтра Аде | 103 |
| 1.6.5. Сравнение методов Лоуза и Аде | 105 |
| 1.6.6. Последние разработки | 106 |
| 1.7. Часть F. От искусственных нейронных сетей к методам глубокого обучения | 106 |
| 1.7.1. Введение: как ИНС превратились в СНС | 106 |
| 1.7.2. Параметры, определяющие архитектуру CNN | 109 |
| 1.7.3. Архитектура сети AlexNet | 110 |
| 1.7.4. Архитектура сети VGGNet Симоняна и Зиссермана | 113 |
| 1.7.5. Архитектура DeconvNet | 116 |
| 1.7.6. Архитектура SegNet | 118 |
| 1.7.7. Применение глубокого обучения для отслеживания объектов | 120 |
| 1.7.8. Применение глубокого обучения в классификации текстур | 124 |
| 1.7.9. Анализ текстур в мире глубокого обучения | 128 |
| 1.8. Часть G. Заключение | 129 |
| Благодарности | 130 |
| Литературные источники | 130 |
| Об авторе главы | 135 |

Глава 2. Современные методы робастного обнаружения

| | |
|--------------------------------------|-----|
| объектов | 137 |
| 2.1. Введение | 137 |
| 2.2. Предварительные положения | 139 |
| 2.3. R-CNN | 141 |
| 2.3.1. Внутреннее устройство | 141 |
| 2.3.2. Обучение | 142 |
| 2.4. Сеть SPP-Net | 142 |
| 2.5. Сеть Fast R-CNN | 143 |
| 2.5.1. Архитектура | 144 |
| 2.5.2. Пулинг ROI | 144 |

| | |
|--|-----|
| 2.5.3. Многозадачная функция потерь | 145 |
| Классификация | 145 |
| Регрессия ограничивающей рамки | 145 |
| 2.5.4. Стратегия тонкой настройки | 146 |
| 2.6. Faster R-CNN..... | 146 |
| 2.6.1. Архитектура..... | 147 |
| 2.6.2. Сети прогнозирования регионов | 147 |
| 2.7. Каскадная R-CNN..... | 149 |
| 2.7.1. Каскадная архитектура R-CNN..... | 150 |
| 2.7.2. Каскадная регрессия ограничивающей рамки..... | 151 |
| 2.7.3. Каскадное обнаружение | 152 |
| 2.8. Представление разномасштабных признаков..... | 152 |
| 2.8.1. Архитектура MC-CNN..... | 154 |
| 2.8.1.1. Архитектура..... | 154 |
| 2.8.2. Сеть FPN | 155 |
| 2.8.2.1. Архитектура..... | 156 |
| 2.9. Архитектура YOLO | 158 |
| 2.10. Сеть SSD | 159 |
| 2.10.1. Архитектура..... | 159 |
| 2.10.2. Обучение | 160 |
| 2.11. RetinaNet..... | 161 |
| 2.11.1. Фокальная потеря..... | 161 |
| 2.12. Производительность детекторов объектов | 162 |
| 2.13. Заключение | 163 |
| Литературные источники | 164 |
| Об авторах главы..... | 165 |

Глава 3. Обучение с ограниченным подкреплением – статические и динамические задачи

| | |
|---|-----|
| 3.1. Введение..... | 168 |
| 3.2. Контекстно-зависимое активное обучение | 168 |
| 3.2.1. Активное обучение..... | 169 |
| 3.2.2. Важность контекста активного обучения | 172 |
| 3.2.3. Фреймворк контекстно-зависимого активного обучения | 174 |
| 3.2.4. Практическое применение..... | 177 |
| 3.3. Локализация событий при слабой разметке..... | 180 |
| 3.3.1. Архитектура сети | 183 |
| 3.3.2. k-мат множественное обучение..... | 183 |
| 3.3.3. Сходство совместных действий..... | 184 |
| 3.3.4. Практическая реализация | 186 |
| 3.4. Семантическая сегментация с использованием слабой разметки | 189 |
| 3.4.1. Слабые метки для классификации категорий..... | 191 |
| 3.4.2. Слабые метки для выравнивания признаков..... | 192 |
| 3.4.3. Оптимизация сети..... | 194 |
| 3.4.4. Получение слабой разметки..... | 195 |
| 3.4.5. Применения..... | 196 |
| 3.4.6. Визуализация выходного пространства..... | 198 |

| | |
|---|-----|
| 3.5. Обучение с подкреплением со слабой разметкой для динамических задач..... | 199 |
| 3.5.1. Обучение прогнозированию подцелей..... | 202 |
| 3.5.2. Предварительное обучение с учителем | 204 |
| 3.5.3. Практическое применение..... | 204 |
| 3.6. Выводы..... | 207 |
| Благодарности | 209 |
| Литературные источники | 209 |
| Об авторах главы..... | 215 |

Глава 4. Эффективные методы глубокого обучения.....

| | |
|---|-----|
| 4.1. Сжатие модели..... | 216 |
| 4.1.1. Прореживание параметров | 217 |
| 4.1.2. Низкоранговая факторизация | 220 |
| 4.1.3. Квантование | 221 |
| 4.1.4. Дистилляция знаний..... | 225 |
| 4.1.5. Автоматическое сжатие модели..... | 226 |
| 4.2. Эффективные архитектуры нейронных сетей | 230 |
| 4.2.1. Стандартный сверточный слой | 231 |
| 4.2.2. Эффективные сверточные слои..... | 231 |
| 4.2.3. Разработанные вручную эффективные модели CNN..... | 232 |
| 4.2.4. Поиск нейронной архитектуры | 236 |
| 4.2.5. Поиск нейронной архитектуры, ориентированной на оборудование | 239 |
| 4.3. Заключение | 246 |
| Литературные источники..... | 246 |

Глава 5. Условная генерация изображений и управляемая генерация визуальных паттернов.....

| | |
|--|-----|
| 5.1. Введение..... | 254 |
| 5.2. Изучение визуальных паттернов: краткий исторический обзор..... | 258 |
| 5.3. Классические генеративные модели..... | 260 |
| 5.4. Глубокие генеративные модели..... | 261 |
| 5.5. Глубокая условная генерация изображений | 266 |
| 5.6. Разделенные представления в управляемом синтезе паттернов | 267 |
| 5.6.1. Разделение визуального содержания и стиля..... | 267 |
| 5.6.2. Разделение структуры и стиля..... | 274 |
| 5.6.3. Разделение личности и атрибутов | 277 |
| 5.7. Заключение..... | 284 |
| Литературные источники | 284 |

Глава 6. Глубокое распознавание лиц с использованием полных и частичных изображений.....

| | |
|---------------------------------------|-----|
| 6.1. Введение..... | 289 |
| 6.1.1. Модели глубокого обучения..... | 291 |

| | |
|---|-----|
| 6.2. Компоненты системы глубокого распознавания лиц | 297 |
| 6.2.1. Пример обученной модели CNN для распознавания лиц | 298 |
| 6.3. Распознавание лиц с использованием полных изображений лица | 301 |
| 6.3.1. Проверка подобия с использованием модели FaceNet | 303 |
| 6.4. Глубокое распознавание неполных изображений лица | 304 |
| 6.5. Обучение специальной модели для полных и частичных изображений лица | 307 |
| 6.5.1. Предлагаемая архитектура модели | 309 |
| 6.5.2. Фаза обучения модели | 309 |
| 6.6. Заключение | 310 |
| Литературные источники | 312 |
| Об авторе главы | 313 |

Глава 7. Адаптация домена с использованием неглубоких и глубоких нейросетей, обучаемых без учителя

| | |
|--|-----|
| 7.1. Введение | 314 |
| 7.2. Адаптация домена с использованием многообразия | 316 |
| 7.2.1. Адаптация домена без учителя с использованием произведения многообразий | 317 |
| 7.3. Адаптация домена без учителя с использованием словарей | 319 |
| 7.3.1. Общий словарь доменной адаптации | 321 |
| 7.3.2. Совместная иерархическая адаптация домена и изучение признаков | 325 |
| 7.3.3. Инкрементное изучение словаря для адаптации предметной области без учителя | 330 |
| 7.4. Адаптация домена с использованием глубоких сетей, обучаемых без учителя | 334 |
| 7.4.1. Дискриминационные подходы к адаптации предметной области | 335 |
| 7.4.2. Генеративные подходы к адаптации домена | 338 |
| 7.5. Заключение | 346 |
| Литературные источники | 346 |
| Об авторах главы | 352 |

Глава 8. Адаптация домена и непрерывное обучение семантической сегментации

| | |
|---|-----|
| 8.1. Введение | 353 |
| 8.1.1. Формальная постановка задачи | 355 |
| 8.2. Адаптация домена без учителя | 356 |
| 8.2.1. Формулировка задачи адаптации домена | 358 |
| 8.2.2. Основные подходы к адаптации | 359 |
| 8.2.2.1. Адаптация на входном уровне | 360 |
| 8.2.2.2. Адаптация на уровне признаков | 361 |
| 8.2.2.3. Адаптация на уровне выхода | 362 |
| 8.2.3. Методы адаптации домена без учителя | 362 |
| 8.2.3.1. Состязательная адаптация домена | 362 |
| 8.2.3.2. Генеративная адаптация | 366 |

| | |
|---|------------|
| 8.2.3.3. Несоответствие классификатора | 368 |
| 8.2.3.4. Самостоятельное обучение | 369 |
| 8.2.3.5. Многозадачность | 372 |
| 8.3. Непрерывное обучение | 373 |
| 8.3.1. Формулировка задачи непрерывного обучения | 374 |
| 8.3.2. Особенности непрерывного обучения в семантической сегментации | 376 |
| 8.3.3. Методы поэтапного обучения | 378 |
| 8.3.3.1. Дистилляция знаний | 378 |
| 8.3.3.2. Замораживание параметров | 380 |
| 8.3.3.3. Геометрическая регуляризация на уровне признаков | 380 |
| 8.3.3.4. Новые направления | 381 |
| 8.4. Заключение | 382 |
| Благодарности | 382 |
| Литературные источники | 382 |
| Об авторах главы | 389 |
| Глава 9. Визуальное отслеживание движущихся объектов | 390 |
| 9.1. Введение | 390 |
| 9.1.1. Определение задачи отслеживания | 390 |
| 9.1.2. Затруднения при отслеживании | 391 |
| 9.1.3. Обоснование методики | 392 |
| 9.1.4. Историческая справка | 393 |
| 9.2. Методы на основе шаблонов | 394 |
| 9.2.1. Основы | 394 |
| 9.2.2. Показатели качества модели | 396 |
| 9.2.3. Нормализованная кросс-корреляция | 398 |
| 9.2.4. Чисто фазовый согласованный фильтр | 399 |
| 9.3. Методы последовательного обучения | 400 |
| 9.3.1. Фильтр MOSSE | 401 |
| 9.3.2. Дискриминативные корреляционные фильтры | 403 |
| 9.3.3. Подходящие признаки для DCF | 405 |
| 9.3.4. Отслеживание в масштабном пространстве | 406 |
| 9.3.5. Пространственное и временное взвешивание | 408 |
| 9.4. Методы, основанные на глубоком обучении | 410 |
| 9.4.1. Глубокие признаки в DCF | 411 |
| 9.4.2. Адаптивные глубокие признаки | 413 |
| 9.4.3. DCF сквозного обучения | 414 |
| 9.5. Переход от отслеживания к сегментации | 416 |
| 9.5.1. Сегментация видеообъектов | 416 |
| 9.5.2. Генеративный метод VOS | 417 |
| 9.5.3. Дискриминативный метод VOS | 419 |
| 9.6. Выводы | 420 |
| Благодарности | 421 |
| Литературные источники | 422 |
| Об авторе главы | 429 |

| | |
|---|-----|
| Глава 10. Длительное отслеживание объекта на основе глубокого обучения | 430 |
| 10.1. Введение..... | 431 |
| 10.1.1. Трудности отслеживания видеообъектов..... | 432 |
| 10.1.1.1. Видовые проблемы отслеживания..... | 432 |
| 10.1.1.2. Проблемы машинного обучения при отслеживании..... | 433 |
| 10.1.1.3. Технические проблемы при отслеживании..... | 435 |
| 10.2. Краткосрочное визуальное отслеживание объекта..... | 435 |
| 10.2.1. Неглубокие трекеры..... | 436 |
| 10.2.2. Глубокие трекеры..... | 438 |
| 10.2.2.1. Отслеживание на основе корреляционного фильтра..... | 438 |
| 10.2.2.2. Отслеживание на основе некорреляционных фильтров..... | 440 |
| 10.3. Долгосрочное визуальное отслеживание объекта..... | 441 |
| 10.3.1. Устаревание модели при длительном отслеживании..... | 442 |
| 10.3.2. Исчезновение и повторное появление цели..... | 446 |
| 10.3.3. Долгосрочные трекеры..... | 446 |
| 10.3.3.1. Предварительное обучение и сиамские трекеры..... | 446 |
| 10.3.4. Инвариантность и эквивариантность представления..... | 452 |
| 10.3.4.1. Инвариантность при отслеживании..... | 452 |
| 10.3.4.2. Эквивариантность при отслеживании..... | 454 |
| 10.3.4.3. Эквивариантность переноса..... | 456 |
| 10.3.4.4. Эквивариантность вращения..... | 458 |
| 10.3.4.5. Эквивариантность масштаба..... | 461 |
| 10.3.4.6. Эффективность сиамских трекеров..... | 464 |
| 10.3.4.7. Гибридное обучение с сиамскими трекерами..... | 464 |
| 10.3.4.8. Последовательное обучение помимо сиамских трекеров..... | 467 |
| 10.3.5. Наборы данных и тесты..... | 468 |
| 10.4. Заключение..... | 468 |
| Литературные источники..... | 469 |
| Об авторах главы..... | 473 |

| | |
|--|-----|
| Глава 11. Обучение пониманию сцены на основании действий | 474 |
| 11.1. Введение..... | 474 |
| 11.2. Аффордансы объектов..... | 476 |
| 11.2.1. Зачем аффордансы нужны компьютерному зрению?..... | 477 |
| 11.2.2. Первые исследования на тему аффордансов..... | 479 |
| 11.2.3. Обнаружение, классификация и сегментация аффордансов..... | 480 |
| 11.2.3.1. Обнаружение аффордансов по геометрическим признакам..... | 480 |
| 11.2.3.2. Семантическая сегментация и классификация по изображениям..... | 482 |
| 11.2.4. Аффорданс в контексте распознавания действий и обучения роботов..... | 484 |
| 11.2.4.1. Распознавание действий..... | 484 |
| 11.2.4.2. Изучение аффордансов в зрении роботов..... | 485 |

| | |
|---|-----|
| 11.2.5. Промежуточный итог – изучение аффордансов | 486 |
| 11.3. Функциональный анализ манипуляций..... | 487 |
| 11.3.1. Активное взаимодействие между познанием и восприятием | 487 |
| 11.3.2. Грамматика действий | 488 |
| 11.3.2.1. Различные реализации грамматики | 490 |
| 11.3.2.2. Являются ли грамматики выразительными и лаконичными описаниями? | 491 |
| 11.3.3. Модули для понимания действий..... | 491 |
| 11.3.3.1. Захватывание: важный признак для понимания действий | 491 |
| 11.3.3.2. Геометрические факторы для робастизации | 494 |
| 11.3.4. Проблематика понимания деятельности..... | 495 |
| 11.4. Понимание функциональной сцены посредством глубокого обучения с помощью языка и зрения..... | 496 |
| 11.4.1. Атрибуты в обучении без ознакомления | 498 |
| 11.4.2. Общие пространства для встраивания..... | 499 |
| 11.4.3. Построение семантических векторных пространств..... | 502 |
| 11.4.3.1. word2vec | 502 |
| 11.4.4. Общие пространства представления и графовые модели | 503 |
| 11.5. Перспективные направления исследований | 505 |
| 11.6. Выводы..... | 507 |
| Благодарности | 508 |
| Литературные источники | 508 |
| Об авторах главы..... | 513 |

Глава 12. Сегментация событий во времени

| | |
|---|------------|
| с использованием когнитивного самообучения | 515 |
| 12.1. Введение | 516 |
| 12.2. Теория сегментации событий в когнитивной науке | 518 |
| 12.3. Вариант 1: однопроходная сегментация во времени с использованием предсказания | 521 |
| 12.3.1. Извлечение и кодирование признаков | 523 |
| 12.3.2. Рекуррентное прогнозирование для прогнозирования признаков | 524 |
| 12.3.3. Реконструкция признаков | 525 |
| 12.3.4. Функция потерь при самообучении | 525 |
| 12.3.5. Механизм стробирования на основе ошибок | 526 |
| 12.3.6. Адаптивное обучение для повышения робастности | 527 |
| 12.3.7. Промежуточный итог | 529 |
| 12.3.7.1. Наборы данных..... | 529 |
| 12.3.7.2. Метрики оценки | 529 |
| 12.3.7.3. Вариативные исследования | 530 |
| 12.3.7.4. Количественная оценка | 531 |
| 12.3.7.5. Качественная оценка..... | 533 |
| 12.4. Вариант 2: сегментация с использованием моделей событий на основе внимания | 534 |
| 12.4.1. Извлечение признаков..... | 536 |

| | |
|--|-----|
| 12.4.2. Модуль внимания | 537 |
| 12.4.3. Функция потерь, взвешенная по движению..... | 537 |
| 12.4.4. Результаты | 538 |
| 12.4.4.1. Набор данных..... | 539 |
| 12.4.4.2. Критерии оценки..... | 539 |
| 12.4.4.3. Вариативные исследования..... | 540 |
| 12.4.4.4. Количественная оценка..... | 542 |
| 12.4.4.5. Качественная оценка | 542 |
| 12.5. Вариант 3: пространственно-временная локализация с использованием карты предсказательных потерь | 544 |
| 12.5.1. Извлечение признаков..... | 544 |
| 12.5.2. Иерархический стек предсказания | 546 |
| 12.5.3. Потеря предсказания | 547 |
| 12.5.4. Извлечение каналов действий..... | 548 |
| 12.5.5. Результаты | 548 |
| 12.5.5.1. Данные | 548 |
| 12.5.5.2. Показатели и базовые уровни | 549 |
| 12.5.5.3. Количественная оценка..... | 550 |
| 12.5.5.4. Качественная оценка | 554 |
| 12.6. Другие подходы к сегментации событий в компьютерном зрении..... | 556 |
| 12.6.1. Методы на основе обучения с учителем | 556 |
| 12.6.2. Методы на основе частичного обучения с учителем | 557 |
| 12.6.3. Методы на основе обучения без учителя | 557 |
| 12.6.4. Методы на основе самообучения | 558 |
| 12.7. Выводы..... | 559 |
| Благодарности | 560 |
| Литературные источники | 560 |
| Об авторах главы..... | 567 |

Глава 13. Вероятностные методы обнаружения аномалий в данных временных рядов с использованием обученных моделей для мультимедийных самосознательных систем

| | |
|---|-----|
| 13.1. Введение..... | 569 |
| 13.2. Базовые понятия и текущее положение дел | 571 |
| 13.2.1. Генеративные модели | 571 |
| 13.2.2. Модели динамической байесовской сети (DBN)..... | 571 |
| 13.2.3. Вариационный автокодировщик | 573 |
| 13.2.4. Типы аномалий и методы обнаружения аномалий | 574 |
| 13.2.5. Обнаружение аномалий в данных низкой размерности..... | 577 |
| 13.2.6. Обнаружение аномалий в многомерных данных..... | 578 |
| 13.3. Архитектура вычисления аномалии в самосознательных системах | 579 |
| 13.3.1. Общее описание архитектуры..... | 579 |
| 13.3.2. Модель обобщенной динамической байесовской сети (GDBN)..... | 581 |
| 13.3.3. Алгоритм логического вывода в реальном времени..... | 584 |
| 13.3.4. Измерения мультимодальных аномалий | 586 |
| 13.3.4.1. Дискретный уровень..... | 588 |

| | |
|--|-----|
| 13.3.4.2. Непрерывный уровень | 588 |
| 13.3.4.3. Уровень наблюдения | 589 |
| 13.3.5. Использование обобщенных ошибок для непрерывного обучения..... | 589 |
| 13.4. Пример: обнаружение аномалий в мультисенсорных данных от автомобиля с самосознанием..... | 590 |
| 13.4.1. Описание условий эксперимента..... | 590 |
| 13.4.2. Обучение модели DBN | 591 |
| 13.4.3. Многоуровневое обнаружение аномалий..... | 592 |
| 13.4.3.1. Задача объезда пешеходов..... | 593 |
| 13.4.3.2. Задача разворота | 594 |
| 13.4.3.3. Аномалии на уровне изображения..... | 596 |
| 13.4.3.4. Оценка обнаружения аномалий..... | 596 |
| 13.4.4. Аномалии проприоцептивных сенсорных данных..... | 598 |
| 13.4.5. Дополнительные результаты | 599 |
| 13.5. Выводы..... | 600 |
| Литературные источники | 600 |
| Об авторах главы..... | 603 |

Глава 14. Методы PnP и глубокой развертки

| | |
|---|------------|
| для восстановления изображения | 605 |
| 14.1. Введение | 605 |
| 14.2. Алгоритм полуквадратичного разделения (HQS) | 609 |
| 14.3. Глубокое восстановление изображения по методу PnP | 610 |
| 14.3.1. Предварительное изучение глубокого шумоподавителя CNN | 612 |
| 14.3.1.1. Шумоподавляющая сетевая архитектура | 613 |
| 14.3.2. Методика обучения | 614 |
| 14.3.3. Результаты удаления шума | 615 |
| 14.3.3.1. Удаление шума с изображений в градациях серого..... | 615 |
| 14.3.3.2. Удаление шума с цветного изображения..... | 616 |
| 14.3.4. Алгоритм HQS для PnP IR | 617 |
| 14.3.4.1. Алгоритм полуквадратичного разделения (HQS)..... | 617 |
| 14.3.4.2. Общая методика настройки параметров..... | 617 |
| 14.3.4.3. Периодический геометрический самосогласованный ансамбль | 618 |
| 14.4. Восстановление изображения методом глубокой развертки..... | 619 |
| 14.4.1. Сеть глубокой развертки..... | 620 |
| 14.4.1.1. Модуль данных \mathcal{D} | 620 |
| 14.4.1.2. Модуль приора \mathcal{P} | 620 |
| 14.4.1.3. Модуль гиперпараметров \mathcal{H} | 621 |
| 14.4.2. Сквозное обучение | 622 |
| 14.5. Эксперименты | 622 |
| 14.5.1. Устранение размытия изображения | 623 |
| 14.5.1.1. Количественные и качественные результаты..... | 624 |
| 14.5.1.3. Промежуточные результаты..... | 625 |
| 14.5.2. Сверхразрешение одиночного изображения (SISR)..... | 627 |

| | |
|--|-----|
| 14.5.2.1. Количественное и качественное сравнение..... | 628 |
| 14.6. Заключение | 632 |
| Благодарности | 633 |
| Литературные источники | 633 |
| Об авторах главы..... | 638 |

Глава 15. Атаки на визуальные системы и защита

| | |
|--|------------|
| от злоумышленников | 640 |
| 15.1. Введение | 640 |
| 15.2. Определение проблемы | 641 |
| 15.3. Свойства состязательной атаки | 643 |
| 15.4. Типы возмущений..... | 644 |
| 15.5. Сценарии атаки | 645 |
| 15.5.1. Целевые модели | 645 |
| 15.5.1.1. Модели для задач, связанных с изображениями..... | 648 |
| 15.5.1.2. Модели для видеозадач | 649 |
| 15.5.2. Наборы данных и метки | 651 |
| 15.5.2.1. Наборы данных изображений | 651 |
| 15.5.2.2. Наборы видеоданных | 652 |
| 15.6. Обработка изображений | 654 |
| 15.7. Классификация изображений..... | 655 |
| 15.7.1. Белый ящик, ограниченные атаки | 655 |
| 15.7.2. Белый ящик, атаки на основе контента..... | 659 |
| 15.7.3. Атаки методом черного ящика | 659 |
| 15.8. Семантическая сегментация и обнаружение объектов | 661 |
| 15.9. Отслеживание объекта | 662 |
| 15.10. Классификация видео | 664 |
| 15.11. Защита от состязательных атак противника | 666 |
| 15.11.1. Обнаружение атаки | 666 |
| 15.11.2. Маскировка градиента..... | 668 |
| 15.11.3. Устойчивость модели | 670 |
| 15.12. Выводы..... | 672 |
| Благодарность..... | 673 |
| Литературные источники | 673 |
| Об авторах главы..... | 682 |
| Предметный указатель..... | 683 |