

# Содержание

<b>От издательства</b> .....	13
<b>Рецензии</b> .....	14
<b>Предисловие</b> .....	18
<b>Глава 1. ROS: душа умных роботов</b> .....	23
1.1. Эра интеллектуальных роботов .....	23
1.2. История развития ROS.....	24
1.2.1. Создание ROS .....	25
1.2.2. Развитие ROS.....	25
1.2.3. Преимущества ROS .....	28
1.3. ROS 2 и ROS 1 .....	29
1.3.1. Ограничения ROS 1.....	29
1.3.2. Новая версия ROS 2.....	30
1.3.3. Сравнение ROS 2 и ROS 1 .....	32
1.4. Установка ROS 2 .....	37
1.4.1. Что такое Linux.....	37
1.4.2. Что такое Ubuntu .....	38
1.4.3. Установка операционной системы Ubuntu .....	39
1.4.4. Установка системы ROS 2.....	42
1.5. Командная строка ROS 2 .....	45
1.5.1. Командная строка в Linux.....	45
1.5.2. Симулятор черепахи .....	50
1.5.3. Командная строка в ROS 2 .....	50
1.6. Резюме .....	57
<b>Глава 2. Основные принципы ROS 2. Фундамент для создания роботов</b> .....	58
2.1. Процесс разработки роботов с использованием ROS 2.....	58
2.2. Рабочее пространство: база для разработки роботов .....	60
2.2.1. Что такое рабочее пространство .....	60
2.2.2. Создание рабочего пространства .....	62
2.2.3. Компиляция рабочего пространства .....	63
2.2.4. Настройка переменных окружения .....	64
2.3. Пакеты: классификация функций робота .....	65
2.3.1. Что такое пакет .....	65
2.3.2. Создание пакета.....	66

2.3.3. Структура функционального пакета.....	67
2.3.4. Компиляция пакета .....	72
2.4. Узлы: рабочие клетки робота .....	73
2.4.1. Что такое узел.....	73
2.4.2. Методика программирования узлов (Python).....	75
2.4.3. Методика программирования узлов (C++) .....	77
2.4.4. Команды для работы с узлами.....	79
2.4.5. Пример использования узла: обнаружение объектов.....	80
2.5. Тема: мост для передачи данных между узлами.....	83
2.5.1. Что такое тема .....	83
2.5.2. Модель коммуникации посредством темы .....	84
2.5.3. Пример создания обмена сообщениями.....	86
2.5.4. Метод программирования издателя темы (Python).....	87
2.5.5. Метод программирования подписчика темы (Python).....	89
2.5.6. Метод программирования издателя темы (C++) .....	90
2.5.7. Метод программирования подписчика темы (C++).....	91
2.5.8. Команды для работы с темами .....	93
2.5.9. Пример использования тем: обнаружение объектов (периодическое).....	94
2.6. Службы: взаимодействие между узлами в формате «вопрос–ответ».....	98
2.6.1. Что такое служба .....	98
2.6.2. Модель коммуникации посредством службы .....	99
2.6.3. Пример программирования коммуникации посредством службы ...	101
2.6.4. Программирование клиента (Python) .....	102
2.6.5. Программирование сервера (Python) .....	103
2.6.6. Программирование клиента (C++).....	104
2.6.7. Программирование сервера (C++).....	105
2.6.8. Команды для работы со службами .....	107
2.6.9. Пример использования службы: обнаружение цели (по запросу).....	107
2.7. Интерфейсы коммуникации: стандартная структура передачи данных....	110
2.7.1. Что такое интерфейс коммуникации.....	111
2.7.2. Определение интерфейсов коммуникации .....	113
2.7.3. Команды для работы с интерфейсами коммуникации.....	115
2.7.4. Пример использования интерфейса службы: запрос координат обнаруженного объекта .....	116
2.7.5. Пример использования интерфейса темы: периодическая публикация координат обнаружения объекта .....	120
2.8. Действие: управление процессом выполнения полной единицы поведения.....	123
2.8.1. Что такое действие .....	123
2.8.2. Модель коммуникации действия .....	124
2.8.3. Пример программирования коммуникации действия.....	125
2.8.4. Определение интерфейса действий .....	127
2.8.5. Программирование сервера (Python) .....	128
2.8.6. Программирование клиента (Python) .....	130
2.8.7. Программирование клиента (C++) .....	132
2.8.8. Программирование сервера (C++).....	134

2.8.9. Команды для работы с действиями .....	137
2.9. Параметры: глобальный словарь роботизированной системы .....	138
2.9.1. Что такое параметры.....	138
2.9.2. Модель коммуникации параметров .....	139
2.9.3. Работа с параметрами в командной строке .....	140
2.9.4. Программирование параметров (Python).....	142
2.9.5. Программирование параметров (C++) .....	143
2.9.6. Пример использования параметров: установка порога для обнаружения объектов.....	145
2.10. Служба распределения данных (DDS): нейронная сеть робота .....	147
2.10.1. Что такое DDS .....	148
2.10.2. Модель коммуникации DDS.....	150
2.10.3. Стратегия обеспечения качества.....	151
2.10.4. Настройка QoS DDS в командной строке .....	155
2.10.5. Пример программирования с использованием DDS .....	157
2.11. Распределенная коммуникация .....	159
2.11.1. Что такое распределенная коммуникация .....	160
2.11.2. Удаленное сетевое подключение по SSH .....	161
2.11.3. Распределенная передача данных .....	162
2.11.4. Группы распределенной коммуникации .....	164
2.11.5. Распределенная коммуникация в примере с черепахой.....	165
2.12. Резюме .....	166

<b>Глава 3. Часто используемые инструменты ROS 2: упрощаем разработку роботов</b> .....	167
3.1. Launch: сценарии запуска и конфигурации нескольких узлов.....	167
3.1.1. Способы запуска нескольких узлов .....	169
3.1.2. Настройка параметров командной строки.....	171
3.1.3. Переназначение ресурсов .....	172
3.1.4. Настройка параметров ROS.....	174
3.1.5. Вложенное включение файлов Launch .....	176
3.2. tf: управление системами координат робота .....	177
3.2.1. Системы координат робота .....	177
3.2.2. Работа с tf из командной строки .....	179
3.2.3. Статическая трансляция tf (Python).....	182
3.2.4. Статическая трансляция tf (C++) .....	184
3.2.5. Динамическая трансляция tf (Python).....	185
3.2.6. Динамическая трансляция tf (C++) .....	188
3.2.7. Прослушивание tf (Python) .....	190
3.2.8. Прослушивание tf (C++) .....	192
3.2.9. Пример комплексного применения tf: следование (Python).....	196
3.2.10. Пример комплексного применения tf: следование (C++) .....	201
3.3. Gazebo: платформа для трехмерного физического моделирования роботов .....	204
3.3.1. Введение в Gazebo .....	204
3.3.2. Пример моделирования робота.....	208

3.3.3. Пример моделирования датчиков .....	210
3.4. RViz: платформа визуализации данных .....	211
3.4.1. Введение в RViz .....	211
3.4.2. Процесс визуализации данных.....	214
3.4.3. Пример 1: визуализация данных tf.....	216
3.4.4. Пример 2: визуализация данных изображений.....	219
3.4.5. Взаимосвязь Gazebo и RViz.....	220
3.5. rosbag: запись и воспроизведение данных .....	221
3.5.1. Запись данных.....	221
3.5.2. Воспроизведение данных.....	223
3.6. rqt: модульный набор инструментов для визуализации .....	224
3.6.1. Введение в rqt.....	225
3.6.2. Отображение журналов .....	225
3.6.3. Отображение изображений.....	227
3.6.4. Публикация данных тем и служб.....	228
3.6.5. Построение графиков данных .....	228
3.6.6. Управление пакетами данных .....	229
3.6.7. Визуализация узлов .....	229
3.7. Настройка среды разработки ROS 2.....	231
3.7.1. Система управления версиями Git.....	231
3.7.2. Интегрированная среда разработки VSCode .....	233
3.8. Резюме .....	235
<b>Глава 4. ROS 2: моделирование роботов без затрат .....</b>	<b>237</b>
4.1. Понятие робота и его составные части.....	237
4.2. Моделирование робота с использованием URDF .....	240
4.2.1. Описание связей .....	242
4.2.2. Описание суставов.....	245
4.2.3. Полная модель робота .....	246
4.3. Создание URDF-модели робота.....	247
4.3.1. Пакет функций модели робота .....	247
4.3.2. Визуализация модели робота .....	248
4.3.3. Анализ модели робота .....	252
4.4. Оптимизация модели робота с использованием XACRO.....	256
4.4.1. Основные синтаксические конструкции файлов XACRO .....	256
4.4.2. Оптимизация модели робота.....	258
4.4.3. Визуализация модели робота .....	261
4.5. Совершенствование симуляционной модели робота .....	262
4.5.1. Совершенствование физических параметров .....	262
4.5.2. Добавление модуля контроллера .....	263
4.6. Симуляция робота в Gazebo.....	265
4.6.1. Загрузка модели робота в Gazebo.....	265
4.6.2. Симуляция управления движением робота .....	269
4.6.3. Симуляция и визуализация RGB-камеры .....	270
4.6.4. Симуляция и визуализация RGBD-камеры.....	274
4.6.5. Симуляция и визуализация лазерного дальномера.....	279

4.7. Резюме.....	282
------------------	-----

## **Глава 5. Создание робота с ROS 2: от симуляции к реальному устройству**..... 284

5.1. От симуляции к реальному роботу.....	284
5.1.1. Анализ конкретного примера.....	284
5.1.2. Проектирование робота.....	286
5.1.3. Проектирование программной архитектуры.....	288
5.1.4. Настройка среды разработки на компьютере .....	289
5.1.5. Тестирование симуляции робота .....	291
5.2. Проектирование приводной системы: робот начинает двигаться .....	291
5.2.1. Принцип работы привода двигателя: от ШИМ-регулятора до Н-моста .....	292
5.2.2. Программирование управления прямым и обратным вращениями двигателя.....	297
5.3. Управление движением шасси: стабильное движение робота .....	301
5.3.1. Принцип измерения скорости с помощью энкодера.....	302
5.3.2. Программирование измерения скорости с помощью энкодеров.....	303
5.3.3. Методы замкнутого управления двигателем .....	307
5.3.4. Программирование замкнутого управления двигателем.....	315
5.4. Решение прямой и обратной задач кинематики: точное движение робота .....	318
5.4.1. Распространенные кинематические модели роботов .....	318
5.4.2. Принципы дифференциальной кинематики .....	326
5.4.3. Обратная задача дифференциальной кинематики: вычисление скоростей двух колес .....	328
5.4.4. Прямая задача дифференциальной кинематики: вычисление общей скорости робота.....	329
5.5. Что еще есть в контроллере движения .....	329
5.5.1. Управление питанием: один вход, много выходов .....	330
5.5.2. IMU: контроль положения робота .....	332
5.5.3. Человеко-машинное взаимодействие: ясность состояния на низком уровне.....	337
5.6. Система управления роботом: от «мышц» к «мозгу» .....	338
5.6.1. Вычислительная платформа системы управления .....	338
5.6.2. Прошивка и настройка системы управления.....	339
5.7. Резюме.....	346

## **Глава 6. Управление и восприятие в ROS 2: учим робота двигаться и видеть**..... 348

6.1. Разработка протокола коммуникации робота.....	348
6.1.1. Проектирование протокола коммуникации .....	349
6.1.2. Пример анализа протокола коммуникации .....	350
6.1.3. Разработка протокола на стороне контроллера движения (нижний уровень) .....	354

6.1.4. Разработка протокола на стороне прикладного процессора (верхний уровень).....	361
6.2. Разработка привода ROS 2 для шасси робота .....	366
6.2.1. Привод ROS 2 для шасси робота .....	366
6.2.2. Подписка на тему управления скоростью.....	369
6.2.3. Тема одометрии и поддержка tf .....	373
6.2.4. Динамический мониторинг состояния робота .....	382
6.3. Программирование и визуализация движения робота .....	385
6.3.1. Определение сообщений управления скоростью в ROS 2 .....	385
6.3.2. Программирование движения и визуализация .....	387
6.4. Драйвер камеры и данные изображения .....	389
6.4.1. Распространенные типы камер.....	389
6.4.2. Драйвер камеры и визуализация .....	390
6.4.3. Определение сообщения изображения в ROS 2 .....	393
6.4.4. Драйвер и визуализация трехмерной камеры .....	396
6.4.5. Определение сообщений облака точек в ROS 2.....	397
6.5. Драйвер и визуализация лазерного дальномера .....	398
6.5.1. Типы лазерных дальномеров.....	398
6.5.2. Определение сообщения дальномера в ROS 2 .....	401
6.5.3. Драйверы лазерного дальномера и визуализация данных.....	402
6.6. Драйвер IMU и визуализация данных.....	405
6.6.1. Определение сообщений IMU в ROS 2 .....	405
6.6.2. Драйвер и визуализация IMU.....	406
6.7. Резюме.....	408

## Глава 7. Визуальные приложения ROS 2: учим роботов

<b>понимать мир .....</b>	<b>410</b>
7.1. Введение в принципы машинного зрения.....	411
7.2. Калибровка камеры в ROS 2.....	414
7.2.1. Установка пакета для калибровки камеры.....	414
7.2.2. Запуск узла калибровки камеры.....	415
7.2.3. Процесс калибровки камеры.....	416
7.2.5. Калибровка стереокамеры.....	423
7.3. Обработка изображений с помощью OpenCV.....	424
7.3.1. Установка OpenCV .....	425
7.3.2. Использование OpenCV в ROS 2 .....	425
7.4. Визуальное приложение 1. Навигация по линии .....	428
7.4.1. Основные принципы и реализация .....	428
7.4.2. Симуляция визуального следования робота за линией.....	430
7.4.3. Визуальное следование по линии реального робота.....	435
7.5. Визуальное приложение 2. Распознавание QR-кодов .....	436
7.5.1. Библиотека Zbar для сканирования QR-кодов.....	437
7.5.2. Распознавание QR-кодов с помощью камеры.....	438
7.5.3. Распознавание QR-кодов с помощью камеры реального робота.....	441
7.5.4. Следование реального робота за QR-кодом.....	442
7.6. Приложение машинного обучения 1. Визуальное следование по линии с использованием глубокого обучения.....	444

7.6.1. Основные принципы и структура реализации.....	445
7.6.2. Визуальное движение по линии с использованием глубокого обучения.....	446
7.6.3. Сбор данных и обучение модели .....	447
7.6.4. Оценка эффективности модели.....	451
7.6.5. Развертывание модели на работе.....	452
7.7. Приложение машинного обучения 2. Обнаружение объектов с помощью YOLO.....	455
7.7.1. Основные принципы и структура реализации .....	455
7.7.2. Развертывание обнаружения объектов с помощью YOLO .....	458
7.7.3. Сбор данных и обучение модели .....	460
7.7.4. Обнаружение целей и следование робота за ними .....	464
7.8. Резюме.....	465

## **Глава 8. Построение карт с помощью ROS 2: роботы понимают окружающую среду**.....

8.1. Принципы построения карт с помощью SLAM .....	466
8.1.1. Что такое SLAM.....	467
8.1.2. Основные принципы SLAM.....	469
8.1.3. Оптимизация бэкенда SLAM.....	471
8.2. Построение карт с помощью SLAM Toolbox.....	474
8.2.1. Принцип работы алгоритма.....	475
8.2.2. Установка и настройки.....	476
8.2.3. Построение карт с помощью SLAM Toolbox в симуляционной среде .....	476
8.2.4. Построение карт с помощью SLAM Toolbox и реального робота .....	478
8.3. Cartographer: построение двумерных карт .....	481
8.3.1. Принцип работы алгоритма.....	481
8.3.2. Установка и настройка .....	482
8.3.3. Построение карты Cartographer в симуляционной среде.....	484
8.3.4. Реальный робот .....	488
8.4. ORB: построение визуальных карт.....	490
8.4.1. Принципы алгоритма.....	491
8.4.2. Установка и настройка .....	493
8.4.3. Построение карты ORB на реальном роботе .....	495
8.5. RTAB: построение трехмерной карты .....	497
8.5.1. Принципы алгоритма.....	497
8.5.2. Установка и конфигурация .....	498
8.5.3. Построение карты RTAB в симуляционной среде.....	500
8.5.4. Построение карты RTAB с реальным роботом .....	503
8.6. Резюме .....	505

## **Глава 9. Автономная навигация в ROS 2: свобода движения робота**.....

9.1. Принципы автономной навигации робота .....	506
9.2. Архитектура автономной навигации Nav2 .....	508

---

9.2.1. Архитектура системы.....	508
9.2.2. Глобальная навигация.....	510
9.2.3. Локальная навигация.....	511
9.2.4. Функция локализации.....	514
9.3. Установка и использование Nav2.....	515
9.3.1. Установка Nav2.....	515
9.3.2. Работа с примерами Nav2.....	516
9.4. Симуляция автономной навигации робота.....	518
9.4.1. Настройка параметров Nav2.....	518
9.4.2. Конфигурация файла запуска Launch.....	520
9.4.3. Симуляция автономной навигации робота.....	522
9.5. Автономная навигация робота на практике.....	525
9.5.1. Конфигурация навигационной карты.....	525
9.5.2. Конфигурация параметров Nav2 и файла запуска Launch.....	526
9.5.3. Автономная навигация робота на практике.....	528
9.6. Программирование автономной навигации робота.....	531
9.6.1. Работа функции.....	531
9.6.2. Методы программирования (C++).....	532
9.6.3. Методы программирования (Python).....	533
9.7. Применение навигации для автономного исследования робота.....	534
9.7.1. Автономное исследование с использованием Nav2 и SLAM Toolbox.....	534
9.7.2. Автономное исследование Nav2 + Cartographer.....	537
9.8. Резюме.....	540
<b>Предметный указатель.....</b>	<b>542</b>

# От издательства

## ***Отзывы и пожелания***

Мы всегда рады отзывам наших читателей. Расскажите нам, что вы думаете об этой книге – что понравилось или, может быть, не понравилось. Отзывы важны для нас, чтобы выпускать книги, которые будут для вас максимально полезны.

Вы можете написать отзыв на нашем сайте [www.dmkpress.com](http://www.dmkpress.com), зайдя на страницу книги и оставив комментарий в разделе «Отзывы и рецензии». Также можно послать письмо главному редактору по адресу [dmkpress@gmail.com](mailto:dmkpress@gmail.com); при этом укажите название книги в теме письма.

Если вы являетесь экспертом в какой-либо области и заинтересованы в написании новой книги, заполните форму на нашем сайте по адресу [http://dmkpress.com/authors/publish\\_book/](http://dmkpress.com/authors/publish_book/) или напишите в издательство по адресу [dmkpress@gmail.com](mailto:dmkpress@gmail.com).

## ***Список опечаток***

Хотя мы приняли все возможные меры для того, чтобы обеспечить высокое качество наших текстов, ошибки все равно случаются. Если вы найдете ошибку в одной из наших книг, мы будем очень благодарны, если вы сообщите о ней главному редактору по адресу [dmkpress@gmail.com](mailto:dmkpress@gmail.com). Сделав это, вы избавите других читателей от недопонимания и поможете нам улучшить последующие издания этой книги.

## ***Нарушение авторских прав***

Пиратство в интернете по-прежнему остается насущной проблемой. Издательство «ДМК Пресс» очень серьезно относится к вопросам защиты авторских прав и лицензирования. Если вы столкнетесь в интернете с незаконной публикацией какой-либо из наших книг, пожалуйста, пришлите нам ссылку на интернет-ресурс, чтобы мы могли применить санкции.

Ссылку на подозрительные материалы можно прислать по адресу электронной почты [dmkpress@gmail.com](mailto:dmkpress@gmail.com).

Мы высоко ценим любую помощь по защите наших авторов, благодаря которой мы можем предоставлять вам качественные материалы.

# Рецензии

Мы прошли путь от персональных компьютеров до смартфонов, что станет следующей массовой вычислительной платформой? Наиболее вероятный ответ – роботы. Если это предположение верно, необходимо создать для роботов «мозг», то есть разработать подходящую вычислительную платформу и операционную систему.

На уровне операционных систем мы наблюдаем интересное явление: хотя создание операционной системы с нуля редко приводит к доминированию в определенной экосистеме (как в случае с AUTOSAR в автомобильной индустрии), разработка операционной системы, стартовавшая с решения задач в конкретной нише, часто оказывается крайне успешной – взять хотя бы Windows и Android.

Выйдя за рамки технического мышления и рассматривая вопрос с точки зрения бизнеса и экосистемы, можно заметить, что крупные операционные системы всегда начинают с какого-то основного сценария применения, разворачивая платформу и поддерживая в ней множество приложений. Представьте, если бы не было MS Office, Windows не была бы столь успешной. Если бы не было GMS и ряда специализированных приложений Google, Android не обладала бы такой притягательной силой.

Экосистема операционной системы роботов ROS за десятилетия развития достигла статуса крупной операционной системы. В ней есть множество ключевых приложений, таких как Navigation, MoveIt, Autoware, RViz и др., которые значительно повышают эффективность разработки роботов и широко используются в области беспилотного вождения. В будущую эпоху интеллектуальных роботов ROS станет важной основой системного уровня.

Таким образом, чтобы создать успешную операционную систему, необходимо наличие ключевых приложений.

Ниже операционной системы находится вычислительная платформа. Сценарии использования роботов разнообразны, и работа ROS также зависит от различных вычислительных платформ. В большинстве текущих сценариев использования роботов аппаратные платформы не могут удовлетворить потребности программного обеспечения, поэтому необходимость интеграции программного и аппаратного обеспечения крайне важна. Только при высокой координации программного и аппаратного обеспечения можно обеспечить эффективные вычисления. Но если программное обеспечение оптимизировано для одной архитектуры, то его будет сложно перенести на другую архитектуру – это закон развития программного и аппаратного обеспечения в информационной отрасли.

С момента своего основания в 2015 году компания Horizon Robotics стремится стать «Wintel эпохи роботов», то есть создать популярную операционную систему и вычислительную платформу. Мы последовательно выпустили вычислительные платформы серии Journey (征程) и Sunrise (旭日), поддерживающие приложения в области интеллектуального вождения и робототехники. В 2021 году мы предложили создать на основе ROS 2 операционную систему реального времени с открытым исходным кодом TogetherOS, которая будет глубоко адаптирована и оптимизирована. Мы бы хотели, чтобы она стала общедоступным техническим ресурсом, который все могут совместно развивать, создавая экосистему операционной системы.

В эпоху искусственного интеллекта и больших языковых моделей будущие роботы будут иметь в своей основе ИИ-вычисления. При этом ИИ-вычисления и операционные системы будут служить связующим звеном для поддержки разнообразных приложений. Это откроет в индустрии эпоху новой вычислительной архитектуры и операционной системы. В то время как предыдущие архитектуры и операционные системы были ориентированы на программное обеспечение, современные архитектуры и операционные системы ориентированы на ИИ-вычисления и обработку потоков данных.

В 2024 году компания Digua Robotics отделилась от Horizon Robotics, но сохранила свои первоначальные намерения стать «Wintel эпохи роботов» и ускоряет развитие интеллекта, стремится предоставлять всестороннюю поддержку от чипов, комплектов разработчика, алгоритмических приложений до облачных сред, решает проблемы низкой эффективности и высокой стоимости, с которыми сталкивается текущая робототехническая индустрия, и стремится стать компанией, сосредоточенной на базовой инфраструктуре. Короче говоря, Digua Robotics не занимается производством роботов, а предоставляет полный стек технологий разработки для разработчиков роботов.

Автор этой книги Ху Чуньсюй является не только экспертом в области робототехники, но и одним из важных популяризаторов ROS в Китае. Под его влиянием миллионы разработчиков начали заниматься разработкой роботов на базе ROS, многие из которых стали основой современной индустрии роботов. Кроме того, автор книги, будучи сам разработчиком, возглавляет команду экосистемы разработки Digua Robotics. Он создает новое поколение комплектов разработчика роботов RDK и развитую экосистему программного обеспечения и приложений на их основе, исследуя новые парадигмы разработки роботов.

Содержание книги обширно и доступно, читатели познакомятся не только с богатыми концепциями и операциями ROS 2, но и с принципами и эффектами от их применения. Начинающие разработчики смогут быстро приступить к практике, но и опытные разработчики также найдут для себя много полезного.

Эпоха роботов неизбежно наступит, и ROS является ускорителем этого процесса. Но для создания мира повседневного использования интеллектуальных роботов требуются усилия множества разработчиков. Horizon Robot-

ics и Digua Robotics продолжают способствовать тому, чтобы технологии вошли в нашу повседневную жизнь, позволяя каждому человеку наслаждаться ценностью новых технологий.

*Доктор Юй Кай (Yu Kai),*  
основатель и генеральный директор Horizon Robotics

Роботы – это новый вид на нашей планете. Человечество, движимое лишь любопытством, без участия бога, используя «глину» и собственноручно созданные научные технологии, «слепило» этот новый вид. Роботы переживают беспрецедентную эволюцию, их клетки быстро делятся, одно становится двумя, два – четырьмя, но только когда количество клеток достигает определенного уровня, проявляется их мощь.

В 2006 году группа невероятно любопытных людей объединилась, чтобы создать исследовательскую робототехническую лабораторию Willow Garage. Они использовали открытое программное обеспечение как заманчивую «приманку», чтобы привлечь тысячи людей на планете к участию в этом грандиозном проекте. История робототехники еще не знала такого явления – объединение усилий разработчиков со всего мира для реализации мечты о роботе.

ROS является частью этого грандиозного проекта. Система с открытым исходным кодом открыла ящик Пандоры, ворота распахнулись, и хлынул поток инноваций. Говорят, «бесплатный сыр бывает только в мышеловке», но как только люди попробовали его, они уже не могли остановиться.

Это основная причина, по которой ROS так увлекательна. Поскольку ворота открылись слишком быстро, многие оказались не готовы. Некоторые даже не осознали, что произошло, но все равно оказались вовлечены в этот бурлящий поток.

В 2013 году Гу Юэ (Gu Yue) (псевдоним автора книги Ху Чуньсюя) опубликовал в блоге первую статью о ROS, что положило начало быстрой популяризации ROS в Китае. С 10 тысяч до 100 тысяч, а затем до миллиона человек. В 2024 году сообщество разработчиков Гу Юэ превысило 2 миллиона участников, китайские разработчики стали неотъемлемой частью международного сообщества ROS, а Гу Юэ стал одним из важных двигателей этого процесса.

Чтобы помочь большему числу разработчиков быстро освоить важный навык разработки роботов на базе ROS, в 2015 году я инициировал создание летней школы ROS в Восточно-Китайском педагогическом университете, и с тех пор она проводится ежегодно. К 2024 году состоялся уже десятый выпуск этой школы, а Гу Юэ является неизменным преподавателем. За последние 10 лет нас сопровождали более 200 компаний и университетов, более 100 тысяч разработчиков продолжали расти в летней школе ROS, а затем вошли в индустрию робототехники. Мы также совместно создали несколько учебных баз ROS, чтобы как можно больше людей могли изучать ROS, а еще чтобы больше людей могли преподавать ROS и популяризировать эту технологию. В разнообразных сценариях использования роботов ROS сталкивается

со все большими вызовами. ROS 2 приняла эстафету по созданию универсальной операционной системы для роботов. Она была впервые предложена в 2014 году, после чего было выпущено несколько тестовых версий, а в конце 2017 года – первая официальная версия. Ожидается, что к 2025 году ROS 1 уйдет в историю.

С развитием ROS 2 публикуются соответствующие материалы и книги. Гу Юэ вместе с сообществом продолжает оставаться на передовой и выпускает популярный видеокурс «Введение в ROS 2 за 21 урок» и открытый комплект робота OriginBot. Это практически самый полный набор ресурсов для разработки на базе ROS 2, который может удовлетворить все потребности разработчиков от первого знакомства до полного цикла обучения. Содержание этой книги собрало все самое ценное, оно основательное и доступное и является отличным выбором как для разработчиков, незнакомых с ROS 2, так и для опытных инженеров-робототехников.

В 2024 году я и Гу Юэ снова объединили усилия, чтобы привезти в Китай крупнейшее событие для разработчиков ROS – ROSCon. Мы организовали и провели ROSCon China 2024 и теперь проводим его ежегодно. Надеемся, что в будущем в глобальном сообществе ROS будет и дальше расти роль китайских разработчиков.

Гу Юэ продолжает свою работу, как и летняя школа ROS. Приглашаем всех разработчиков присоединиться к рядам разработки роботов с помощью ROS и надеемся, что каждый читатель сможет насладиться этой книгой, исследуя интересный мир разработки роботов.

*Доктор Чжан Синьюй (Zhang Xinyu),*  
профессор Восточно-Китайского педагогического университета,  
инициатор летней школы ROS

# Предисловие

Эта книга рассказывает об операционной системе для роботов ROS, а также о самих роботах.

## Истоки ROS

В 2007 году группа молодых людей, у которых была мечта, занималась мозговым штурмом в лаборатории робототехники Стэнфордского университета. У них появилась идея создать робота с достаточно мощным оборудованием и удобной программной системой, чтобы функции, разработанные на этой основе, можно было быстро распространять. Например, вы можете использовать мою функцию автономной навигации, а я могу использовать вашу функцию захвата объектов. Достаточно разработать стандартизированную платформу из программного и аппаратного обеспечения, и приложения на ее основе постепенно станут популярными. Подобный принцип создал эпоху компьютеров с персональным компьютером как платформой и эпоху мобильного интернета с телефоном как платформой. Будет ли следующая эпоха интеллектуальных роботов также следовать этой логике? Почти 20 лет спустя, «задним числом», мы понимаем, что роботы, на разработку которых тогда были потрачены огромные средства, не вошли в каждую семью. Роботы, в отличие от компьютеров или телефонов, требуют разнообразного взаимодействия с внешней средой, и унифицировать их аппаратную форму крайне сложно. От медицинских нанороботов и домашних развлекательных роботов до автомобилей с интеллектуальным управлением и гуманоидных роботов – все эти формы роботов будут сосуществовать в будущем. Однако операционная система для роботов ROS, появившаяся в 2010 году с целью повышения повторного использования программного обеспечения для роботов, быстро развивалась и способствовала бурному развитию индустрии роботов в последнее десятилетие, постепенно становясь основным стандартом разработки интеллектуальных роботов.

Быстрое развитие ROS даже превзошло ожидания тех молодых людей. Система, изначально разработанная для домашнего сервисного робота, постепенно стала использоваться в таких областях, как инспекция, транспортировка, сельское хозяйство, и многих других. С увеличением спроса увеличивалось и количество проблем. Чтобы создать операционную систему, которая могла бы стать универсальной стандартизированной программной платформой для роботов, в 2014 году была впервые предложена новая версия ROS 2. После чего было выпущено несколько тестовых версий, а в конце

2017 года – первая официальная версия. На момент завершения этой книги был выпущен новый стабильный релиз ROS 2 Jazzy Jalisco, что свидетельствует о зрелости системы ROS 2.

## Эра интеллектуальных роботов

В то время как ROS 2 быстро развивается, индустрия искусственного интеллекта и робототехники также претерпевает кардинальные изменения. Искусственный интеллект ChatGPT стал громом среди ясного неба, который открыл эпоху больших языковых моделей. В отличие от предыдущего этапа глубокого обучения, большие языковые модели имеют больший масштаб, подобно мозгу с большим количеством нейронов, они более умные и стабильные. После ChatGPT в мире появились сотни других больших моделей, которые быстро интегрируются в различные отрасли. В робототехнике, которую ранее часто критиковали за низкий уровень интеллектуализации, открылись новые возможности.

В то же время роботы переходят из заводов в повседневную жизнь: в ресторанах есть роботы для доставки еды, в гостиницах – роботы для доставки вещей, в домах – роботы-пылесосы, на дорогах – беспилотные автомобили, а также горячая тема – человекоподобные роботы. Индустрия роботов, начиная с базового аппаратного обеспечения, программных систем и заканчивая интеллектуальными приложениями, постепенно созревает, и завеса эры интеллектуальных роботов постепенно приподнимается. Я начал разрабатывать роботов в 2008 году, в 2011 году познакомился с ROS, в 2012 году основал сообщество любителей робототехники «Гу Юэ» (Gu Yue), в 2022 году начал создавать комплект разработчика роботов RDK и стал свидетелем быстрого роста популярности ROS и индустрии роботов, а также имел честь вместе со многими партнерами способствовать распространению и применению ROS в Китае. Сегодня сообщество «Гу Юэ» объединяет более 2 миллионов разработчиков, RDK становится предпочтительным комплектом для разработки интеллектуальных роботов, а новая эра интеллектуальных роботов как никогда манит нас.

## Особенности и содержание книги

Эта книга объединяет мой более чем десятилетний опыт разработки роботов. Хотя ROS является основной темой книги, более важно донести до всех читателей мысль, что ROS – это не только программная платформа, но и инструмент. И что при разработке роботов необходимо не только уметь использовать этот инструмент, но и понимать многие принципы разработки. Поэтому в книге не только подробно объясняются основные концепции ROS 2, но и демонстрируется, как применять эти концепции в разработке, а также описывается создание полной робототехнической системы с нуля.

Книга состоит из 9 глав, разделенных на три части.

Первая часть (главы 1–3) посвящена основам ROS 2. В ней рассказывается история развития ROS 2, обсуждаются основные принципы и компоненты и предоставляется множество примеров программирования и использования для их лучшего понимания.

Вторая часть (главы 4–6) посвящена проектированию роботов на базе ROS 2. В ней объясняется, как использовать ROS 2 для проектирования симуляционных и реальных роботов. Читатели, имеющие необходимые ресурсы, смогут создать собственного робота.

Третья часть (главы 7–9) посвящена приложениям роботов на базе функций ROS 2. В ней объясняется, как использовать ROS 2 для разработки таких приложений, как визуальное распознавание, построение карт и автономная навигация, которые позволяют роботам не только двигаться, но и понимать окружающую среду и взаимодействовать с ней.

Книга опирается на самую новую стабильную версию системы ROS 2 и новое поколение платформы симуляции роботов Gazebo. Большинство функций и исходного кода могут работать на отдельном компьютере и платформе симуляции Gazebo. Кроме того, в книге описываются методы сборки реальных роботов и реализация соответствующих функций на них. Весь исходный код сопровождается подробными комментариями и для удобства читателей имеет версии на языках C++ и Python.

Таким образом, книга подходит как для начинающих разработчиков, желающих изучить и применять ROS 2, так и для опытных инженеров-робототехников, которые могут использовать ее в качестве справочника.

## Благодарности

Издание этой книги было бы невозможно без помощи многих «благородных людей». Я хотел бы поблагодарить свою жену Сюэ Сяньжу (Xue Xianru), которая часто была рядом со мной и всегда безусловно поддерживала меня. Благодарю двух любознательных детей Ху Цзиньжан (Hu Jingran) и Ху Цзэран (Hu Zeran), которые дали мне мотивацию и источник вдохновения. Благодарю Издательство электронной промышленности за поддержку, редактора Чжэн Люцзе (Zheng Liejie) за множество ценных советов и организацию издания книги, а также коллегу Чжан Цзина (Zhang Jing) за значительный вклад в оформление книги. Благодарю соавтора книги Ли Цяолуна (Li Qiaolong) за помощь в написании и исправлении книги. Благодарю молодых людей из Стэнфорда, которые создали ROS: Моргана Куигли (Morgan Quigley), Брайана Герки (Brian Gerkey), Талли Футе (Tully Foote) и других, чьи смелые идеи и попытки сделали возможной стандартизацию разработки роботов. Благодарю всех партнеров, сопровождавших меня на пути разработки роботов с использованием ROS, – мы все являемся создателями эпохи интеллектуальных роботов. Слишком много людей, которым я хочу выразить благодарность, невозможно перечислить всех, но я помню каждого из вас.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)