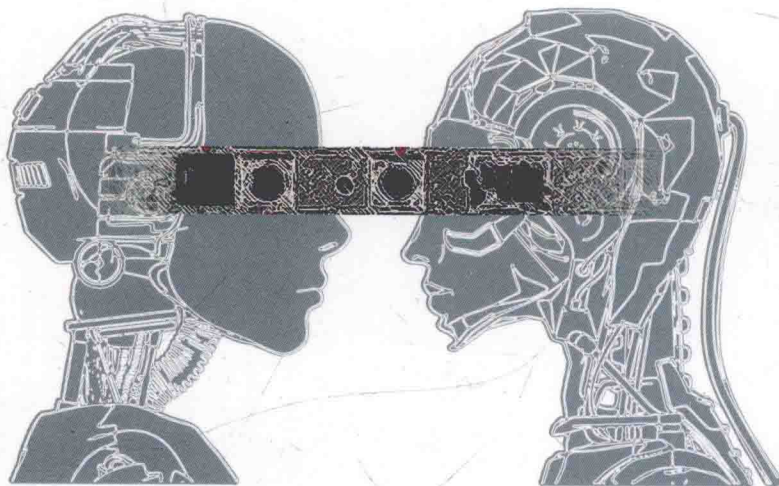


英特尔公司与浙江大学专家联袂打造针对Intel®RealSense™技术的书籍。
RealSense™面向开发手势识别，语音识别以及3D图像建模等智能应用。
配合高性价比Intel®RealSense™摄像头，并列有多个案例，具有可操作性。



单片机与嵌入式



RealSense™ 互动开发实战

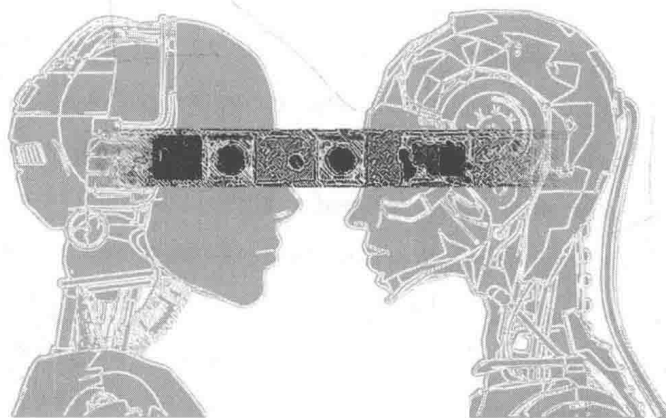
王曰海 汤振宇 吴新天 编著



机械工业出版社
China Machine Press



单片机与嵌入式



RealSense™

互动开发实战

王曰海 汤振宇 吴新天 编著



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

RealSense™ 互动开发实战 / 王曰海, 汤振宇, 吴新天编著. —北京: 机械工业出版社, 2016.4

ISBN 978-7-111-53432-7

I. R… II. ① 王… ② 汤… ③ 吴… III. 微处理器—系统设计 IV. TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 063289 号

RealSense™ 互动开发实战

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 缪 杰

责任校对: 董纪丽

印 刷: 北京诚信伟业印刷有限公司

版 次: 2016 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 186mm×240mm 1/16

印 张: 14.5

书 号: ISBN 978-7-111-53432-7

定 价: 59.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88379426 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzit@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

华章科技
HZBOOKS | Science & Technology



序

Human-computer interaction paradigms are poised for a revolutionary transformation. Generally, a computing device comprises input technologies for the users to provide instructions or commands, processing technologies to execute computing tasks according to the user inputs, and output technologies to return the results or responses back to the user. Looking back into the past, the introduction of the mouse and keyboard had a profound impact on the evolution and growth of personal computers. Along with rapid advances in computing, display, and communications technologies, the advent of easy and affordable means to provide user inputs was crucial to the phenomenal global adoption of computers. Similarly, the introduction of remote control devices helped make televisions more convenient and contributed to the widespread adoption around the world.

However, while these input devices helped define the computing and entertainment hubs in the homes and offices, and spurred the development of plethora of useful applications, they also limit the scope of human interfaces by requiring the users to interact with content on the screens indirectly. For example, the user has to drag the computer mouse around on the table, which in turn controls the movement of the digital content on the computer screen. In the real world, we interact with objects directly. When I want to move a book from the table to the shelf, I directly pick it up with my hand and place it to where I want it. Imagine if I had to perform that task by an indirect manipulation scheme, such as having to move around another physical object in space which would dictate the location and movement of the book. It would make the interaction with the objects in the physical world extremely inconvenient and frustrating!

In the recent years, the introduction of touch screen technologies in mobile devices has enabled direct user interactions with the content on displays. The impact of this on new mobile devices and applications has been unprecedented. The natural user interfaces developed using the touch inputs have fueled the creation of a vast number of new applications, and played a key role in the rapid

growth of mobile device categories across the globe. With input and interaction schemes that are both easy to use and fun, mobile devices have penetrated all walks of life. While the resulting user experiences are much more compelling than those built based on indirect input devices such as the mouse, touch-screen based user interactions are still limited to a 2D plane. Even though the screens on the devices display 3D graphical content at different virtual planes, the users can only touch the surface of the screen to manipulate the content.

We live in the 3D world, and are used to navigating and manipulating objects in the 3D space. Equipped with a rich set of natural sensors, we see, hear, touch, smell, and taste the world, as well as perceive depth and interact in the 3D environment. For example, we grab an object with our fingers, bring it close to our eyes to have a better look, and then place it back at a distance. We hold a door knob by our hand, twist it by an angle, and then pull or push towards or away from us to open it. When we play a slingshot game, we pull the sling closer to us and then let it go away from us to hurl the object into 3D space. These are just a few examples of activities that we perform in the physical world, where we take 3D interactions in our daily lives for granted.

Implementing such natural interactions between humans and computers requires development and integration of new input technologies. Specifically, to capture 3D spatial information and recognize human actions in the 3D space accurately, the computing device needs to have the ability to sense and understand the 3D world in real time. However, today's computing devices are only equipped with 2D imaging devices that have originally been developed for capturing 2D pictures and videos. So is it time to add 3D visual sensing technology and depth perception to computing devices? Why does a machine need to "see" and "sense" the 3D world like humans?

Let's look back into the past again... this time way back, in fact ~540 million years back! Fossil records reveal that a period of about 70 – 80 million years starting at that time went through an exceptionally accelerated pace of diversification of biological organisms in the evolution process, which has been named the Cambrian explosion. There are many theories and debates about what triggered this phenomenon, including environmental as well as developmental factors. Among these, the onset of biological vision system including the ability to sense the world in 3D has been credited to be a key factor that advanced the capabilities of species via natural selection and, later on, the evolution of early mammals.

Similarly, computing devices equipped with real-time 3D visual sensing technologies can be developed to understand the 3D environment around them, interact with humans and each other

in much more natural and intuitive ways. Recognizing this, researchers and engineers in academia and industry have intensified research and development of 3D imaging and depth perception technologies in the recent years. However, for the technologies and applications to potentially go pervasive, several significant developments have to be realized. These include miniaturizing the 3D sensor modules such that they could be easily integrated into devices of all form factors, lowering the power consumption for longer battery lives of mobile devices, as well as reducing costs for mainstream adoption. Besides the sensors, other key technologies include 3D computer vision algorithms for enabling real-time understanding and interactions utilizing the 3D information, applications that are built using the new interfaces, and efficient hardware architecture for accelerating the algorithms and applications.

Intel® RealSense™ Technology has been developed and introduced to the computing ecosystem towards realizing this vision (www.intel.com/realsense). RealSense offerings include small form-factor, low-power, and low-cost 3D sensing modules with onboard hardware acceleration of depth algorithms, and software development kits (SDK) incorporating a set of sophisticated middleware libraries with easy-to-use application programming interfaces (API).

The spectrum of new applications enabled by RealSense technologies and devices are endless. Laptops, all-in-one (AIO) computers, and 2-in-1/tablet devices with integrated RealSense cameras are already available from a number of leading computer makers and ramping in the market. The applications include user authentication via accurate face recognition, video chats and live streaming with virtual “green screen” effects via background segmentation, immersive gaming and application control with 3D gesture inputs, 3D scan of humans, objects, and scenes, virtual decorations and shopping, just to name a few categories. Beyond the traditional computing devices, real-time 3D sensing and scene understanding capabilities built using the RealSense cameras are enabling a new class of autonomous machines, including self-navigating robots, collision-avoiding drones, virtual dressing mirrors for retail shopping, etc. RealSense cameras are also enabling immersive augmented and virtual reality experiences by adding accurate tracking, user interactions, and mixed reality technologies.

This book, entitled “RealSense 互动开发实战” and authored by “王曰海”, “汤振宇”, and “吴新天” will be a very useful tool for the systems and applications developers. After a high level introduction of the underlying technologies and application areas, the book dives into the RealSense SDK and APIs. It includes detailed discussion of the software architecture and application

implementation techniques, along with numerous examples of sample codes. Following the principles and examples outlined throughout the book, creative developers and engineers will be better equipped to implement RealSense products in a wide range of systems and applications.

The era of perceptual computing is upon us, where the computing devices and machines can sense and perceive the 3D world, interact with humans and each other in natural and engaging manner. We are just at the beginning of a journey to profoundly transform the world of computers and machines. It's time to unleash the Cambrian explosion of computing enabled by rich real-time 3D sensing and perceptual computing technologies. I can't wait to see what the future holds, and invite you to join the journey to create the future together!

Achintya K. Bhowmik, Ph.D.

Vice President & General Manager, Perceptual Computing Group

Intel Corporation

前 言

视觉是人类感知信息最主要的途径，科学研究证明，人类超过 80% 的信息感知来自视觉。现在人们在社会活动中已经是随时随地利用摄像头来捕捉、获取信息。手机、平板电脑、计算机，基本上每个数字设备都在使用摄像头，无处不在地和人们进行交互。可是，现在绝大部分的摄像头是 2D 的摄像头，仅可以获取 RGB（红、绿、蓝）色彩信息。而我们生活在一个三维的世界里，用普通摄像头获取 RGB 数字信息的同时却丢失了深度 Z 的信息，这让数字世界里再也无法还原原有的三维信息。深度摄像头就是通过主动或被动的方式来捕捉深度信息，真实地记录所拍摄的每个像素的深度，以保留现实世界的所有信息。现在，科研和市场上已有一些深度摄像头，而 Intel® RealSense™ 实感摄像头突破了尺寸大小、功耗、实时处理、精度等各方面的限制，这就极大地扩大了它的使用模式和场景。它不再局限于客厅里的电视体感游戏，而可以集成在笔记本电脑、平板电脑、手机等各种日常的计算设备里。更主要的是它还可以用于机器人、虚拟现实、增强现实、车舱甚至无人机上，充当这些无人设备的眼睛，使它们可以真正看到并感知到这个真实的三维世界，和人类进行真正的智能交互。

Intel RealSense 摄像头能够实时输出深度数据，可是如何运用 RGBD（红、绿、蓝和深度）数据牵涉很多计算机视觉方面的算法。这无形中加大了人们运用深度摄像头的难度。Intel RealSense SDK 也就应运而生。RealSense SDK 作为软件开发工具包，充分利用实时的 RGBD 信息，提供了手势交互、脸部识别、背景分割、场景感知、三维扫描重建、表情分析等一系列计算机视觉算法，通过极其优化的架构，经过严格的测试，提供给每一位开发者。而且这些 SDK 都是免费的资源，这样极大地降低了开发难度，使开发者可以将精力集中在擅长的使用模式和场景开发上。本书的目的正是为了帮助开发者更好地使用 Intel RealSense SDK。本书不仅对 SDK 进行了详细的介绍，还提供了非常多的开发实例，让读者可以快速上手。当学习到一定程度时，读者可以拓展到各个新的领域，带来更多意想不到的应用惊喜。

本书第 1 章从自然人机交互出发介绍 Intel RealSense 技术概况、应用场景和组成。第 2 章着重介绍 Intel RealSense SDK 的架构与编程基础。第 3 ~ 13 章依次介绍 3D 扫描、团块跟

踪、深度增强的摄影和录像、脸部跟踪、手势跟踪、物体识别、物体跟踪、场景解析、语音识别与合成、无接触控制、用户分割等核心算法。第 14 章和第 15 章分别介绍 SDK 算法工具及 Unity 工具集。第 16 章以 Intel RealSense 技术在机器人、虚拟教学、VR 方面的实例展示了 SDK 的应用方法。

在 Intel RealSense 的推广过程中，产业界、工业界、学术界经常交流合作，大家都认为需要有一本这样的书来帮助开发者更好地使用 RealSense SDK。本书由浙江大学王曰海、英特尔实感计算中国区总监汤振宇、英特尔 RealSense SDK 的首席架构师吴新天合作写成，希望对读者的开发工作有所帮助。在本书的写作过程中，得到许多朋友的帮助，包括清华大学杨毅老师和电子工程系核心课程媒体与认知课程项目组成员，浙江大学的毛颖、李竹一、韦笠、张佳鹏、华佳桑、胡文学、叶晓丹、张亮、龙阳祺、张宇翔，英特尔工程师赵飞等。本书向开发 Intel RealSense SDK 的工程师和团队致敬，他们是所有这一切的基石。我们衷心感谢英特尔中国区大学合作部的朱文利女士、王靖琪女士及其团队的大力支持，感谢英特尔副总裁及感知计算事业部总经理 Achin Bhowmik 博士的鼎力支持，也要感谢张国强先生积极地策划与推动了本书的成稿。

目 录

序

前言

第 1 章 Intel RealSense 技术与 自然人机交互

- 1.1 自然人机交互 1
- 1.2 Intel RealSense 技术 1
- 1.3 Intel RealSense 的应用领域 6
- 1.4 Intel RealSense SDK 功能特点 10

第 2 章 Intel RealSense SDK 编程基础

- 2.1 编程准备 13
- 2.2 Intel RealSense SDK 架构 17
 - 2.2.1 SDK 架构 17
 - 2.2.2 会话和模块 18
 - 2.2.3 SenseManager 中的流 18
- 2.3 原始数据流获取和处理 21
- 2.4 I/O 设备操作 30
- 2.5 坐标系统 32
- 2.6 SDK 编程应用举例 35

第 3 章 3D 扫描

- 3.1 扫描过程 44
- 3.2 面部扫描 44

- 3.3 物体扫描 46
- 3.4 头部扫描 47
- 3.5 身体扫描 48
- 3.6 扫描选项 49
- 3.7 3D 扫描常见问题 50
- 3.8 典型 3D 扫描编程举例 50
- 3.9 3D 扫描应用举例 51

第 4 章 团块跟踪

- 4.1 初始化 Blob 模块 55
- 4.2 配置 Blob 跟踪模块 55
- 4.3 提取 Blob 数据 56
- 4.4 理解 Blob 数据 58
- 4.5 团块跟踪应用举例 58

第 5 章 深度增强的摄影和录像 .. 60

- 5.1 增强的拍照功能 60
- 5.2 增强的录像功能 64
- 5.3 访问照片 65
- 5.4 深度增强的摄影和录像应用
举例 66

第 6 章 脸部跟踪算法

- 6.1 脸部跟踪编程 73
- 6.2 配置和数据获取 75

6.3	脸部位置数据	76	8.4	ROI 和绝对 ROI	114
6.4	脸部特征点数据	77	8.5	物体识别数据	115
6.5	脸部姿态数据	77	8.6	物体识别应用举例	115
6.6	面部表情	78			
6.7	面部识别	79	第 9 章 物体跟踪	117	
6.8	脸部跟踪应用举例	81	9.1	3D 物体跟踪	117
第 7 章 手势跟踪算法	87	9.2	Metaio 工具箱	119	
7.1	初始化和配置手势模块	88	9.3	通过 SenseManager 的物体跟踪	124
7.1.1	配置跟踪选项	89	9.4	配置特征及检索数据	126
7.1.2	配置警报	92	9.5	3D 地图创建	127
7.1.3	配置手势	92	9.6	物体跟踪应用举例	128
7.2	手势跟踪主处理循环实现	93	第 10 章 场景解析	132	
7.3	访问手动跟踪数据	94	10.1	场景解析编程	134
7.3.1	坐标系	94	10.2	配置场景解析	135
7.3.2	通过索引或 ID 访问手势数据	95	10.3	检查启动场景的质量	136
7.3.3	访问手势 ID 和时间戳	96	10.4	获取跟踪数据	136
7.3.4	访问图像数据	97	10.5	场景解析应用举例	136
7.3.5	访问手部位置数据	97	第 11 章 语音识别与合成	143	
7.3.6	访问手势跟踪状态	97	11.1	语音识别过程	143
7.3.7	访问手势和手侧	98	11.1.1	命令控制和听写	145
7.3.8	访问手指数据	98	11.1.2	处理识别事件	145
7.3.9	访问轮廓数据	98	11.1.3	录音级别	146
7.3.10	访问关节数据	99	11.1.4	置信值	147
7.4	处理警报	101	11.2	语音合成算法编程	148
7.5	处理手势	103	11.3	语音识别与合成应用举例	150
7.6	手势跟踪应用举例	106	第 12 章 无接触控制算法	153	
第 8 章 物体识别	111	12.1	处理 UI 控件	153	
8.1	物体识别编程	111	12.1.1	UI 控制	154
8.2	配置特征及获取数据	113	12.1.2	启用事件	156
8.3	物体识别配置	114			

12.1.3 用自动注入和事件处理器 处理控制	156	15.3.4 缩放动作	184
12.1.4 集成无接触控制模块	157	15.3.5 激活 / 关闭动作	184
12.2 配置无接触控制模块	158	15.3.6 启用 / 禁用行为动作	185
12.3 处理警报	159	15.3.7 显示 / 隐藏动作	185
12.4 将手势映射为 UI 控制	160	15.3.8 混合形状动画	186
12.5 无接触控制应用举例	161	15.3.9 发送信息动作	186
第 13 章 用户分割算法	164	15.4 触发条件和规则	186
13.1 概述	164	15.4.1 事件触发条件和规则	187
13.2 用户分割应用举例	166	15.4.2 跟踪触发条件和触发值	189
第 14 章 算法工具	168	15.4.3 旋转触发条件和触发值	189
14.1 平滑实用程序	168	15.4.4 缩放触发条件和规则	190
14.2 旋转实用程序	171	15.4.5 转换触发条件和规则	190
14.3 点转换工具	174	15.4.6 动画触发条件和规则	190
第 15 章 Unity 工具集	179	15.5 预制件	191
15.1 Unity 工具集概述	179	15.6 Unity 工具应用举例	192
15.2 动作	179	第 16 章 Intel RealSense 3D	
15.3 持续动作	181	摄像头应用举例	196
15.3.1 跟踪动作	182	16.1 智能宠物机器人	196
15.3.2 转换动作	183	16.2 烹饪教学	203
15.3.3 旋转动作	184	16.3 穿墙虚拟现实游戏	210
		参考文献	217

第 1 章

Intel RealSense 技术与自然人机交互

1.1 自然人机交互

“那些不为人所察觉的技术，影响最为深远。”

“它们与人类的日常生活融为一体，不分你我。”

——Mark Weiser, 1952—1999

自从 1946 年世界上第一台数字计算机诞生，计算机已成为人们工作、生活中离不开的高级工具。人们将计算机广泛用于计算、控制、监测、办公、娱乐等领域。除了计算、存储、通信等工作任务，人与计算机间的交互方式也一直在改变，甚至引领相关技术的发展。

早期的计算机系统以命令行界面为主要输入 / 输出手段，专业的程序员与计算机间通过命令语言、键盘进行交互，了解运算过程及结果。

到了 20 世纪 60 年代，美国的 Sutherland 发明了菜单、窗口、图标，并采用光笔绘图。Engelbart 在 1963 年发明了鼠标。20 世纪 70 年代，施乐公司在 Alto 计算机上开发了图形显示技术。之后，Apple 公司开发了基于鼠标和图形界面的 Macintosh 计算机。此后，人机交互开始进入了图形用户界面阶段。

为计算机增加传感手段，使其能够像人一样感知周围的环境、用户的反应等，并能像人一样与用户自然地交流，一直是人们追求的目标。VPL 公司在 1982 年开发了用于手势输入的数据手套。手写识别、语音识别、光笔交互等技术也已日趋成熟。近年来，微软的 Kinect、LeapMotion 3D 摄像头、谷歌眼镜等更加自然的交互手段先后推出，虚拟现实、增强现实技术也逐渐投入使用，原来那些在科幻电影中的镜头已日益成为现实。

1.2 Intel RealSense 技术

Intel RealSense 技术是 Intel 公司于 2012 年开发的、用于自然人机交互的技术，是在深入剖析从人类传感到交互的实现过程基础上，为计算设备添加“类人”感官而进行的技术创新。人类参与交互的部位包括眼、耳、手、嘴等，如图 1-1 所示。

人类感知世界主要以眼和耳为输入器官，通过对视觉、声音的获取，并经过人类大脑的相关感知区域识别、处理，最终形成人对外界事物的认知与判断。其中，人类大脑就是中央处理器，在眼、耳感官基础上进行手势、表情、自然语言分析等复杂的认知。计算设备类似人类大脑，Intel RealSense 技术的核心就是为计算设备添加视觉、听觉等“类人”感官的硬件及软件库，使计算设备能够像人一样对外界进行反应，与外界交互。

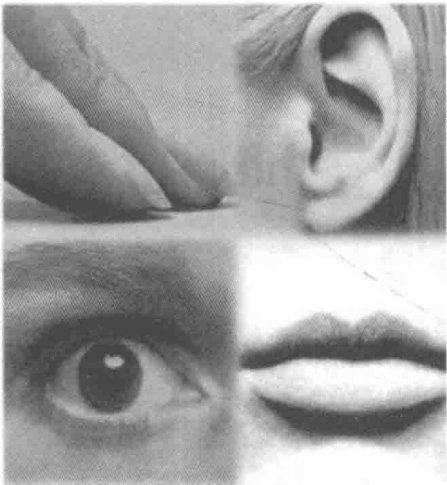


图 1-1 人类参与交互的部位

在感知硬件中，视觉传感器是信息量最大的输入手段。视觉传感器从最初的几十万像素已经逐步发展到高清、超高清。但传统视觉传感器所提供的 2D 图像与真实世界中的景象与物体还是有很大差异的。用普通摄像头拍照或录像，只能把真实世界的景象投影到 2D 平面。这样 2D 平面图像就缺失了真实世界的深度信息，使其身临其境感大打折扣，如图 1-2 所示。人眼是通过双眼视差来获得深度信息的。深度信息对于物体识别、运动估计等深层次视觉任务至关重要。Intel RealSense 摄像头是 3D 摄像头，利用红外成像技术在普通彩色摄像头的基础上提供了深度信息。Intel RealSense 摄像头不仅可以像微软 Kinect、LeapMotion 等设备那样作为独立设备使用，甚至可以嵌入笔记本电脑、PAD、手机等设备中，这就大大拓展了 3D 摄像头的应用范围。Intel RealSense 3D 摄像头能实时提供彩色图像及其深度图，手部图像示例如图 1-3 所示。这样可以轻松地把真实的 3D 世界捕捉到数字的 3D 世界，并且重现每个像素点的真实 (x,y,z) 。可以预见，RealSense 技术一定会占据重要的市场地位。

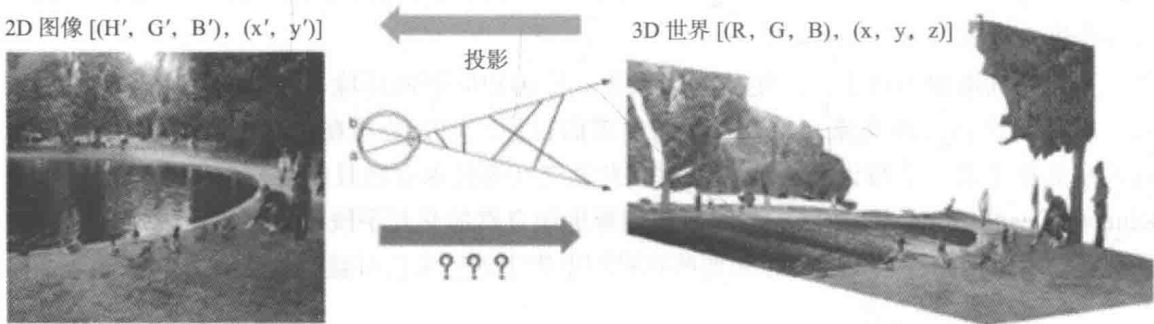


图 1-2 缺乏深度信息的 2D 图像与真实世界的差异

1. Intel RealSense 3D 摄像头

目前有两类 Intel RealSense 3D 摄像头，一类是主要用于近距离场景的 3D 摄像头，型号为 F200、SR300；一类是主要用于远距离场景的 3D 摄像头，型号为 R200。



图 1-3 Intel RealSense 3D 摄像头提供的手部图像



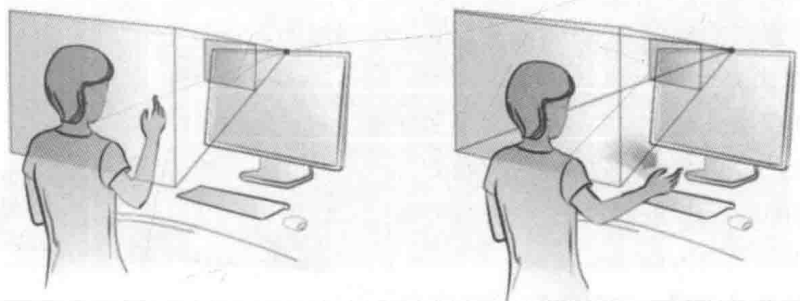
图 1-4 外置式 F200 摄像头

外置式的近距 F200 摄像头如图 1-4 所示。其技术规格如下：

- 前置摄像头（0.2 ~ 1.2 米，仅限室内使用）
- 景深 /IR：640 × 480，分辨率 @ 60fps
- RGB：1080p @30fps
- USB 3.0
- 开发人员套件规格：150 毫米 × 30 毫米 × 58 毫米
- 支持 Microsoft Windows 8.1（64 位）

2. F200

近距的 F200 通常集成在笔记本电脑等设备的前面板，聚焦个人设备交互，如手、面部表情，其作用范围与距离如图 1-5 所示。



手势有效范围：0.2 ~ 0.6 米

脸部跟踪范围：0.3 ~ 1.2 米

RGB 图像：1080p, 30fps

深度图像：640 × 480, 60fps

图 1-5 近距 F200 摄像头的作用范围与距离

如图 1-6 所示是 F200 的内部构造图，可以看到 F200 包含内置的实感图像处理芯片、红外传感器、彩色传感器、红外激光发射器等主要部件（从左至右）。红外激光发射器按预定的模式投射红外光到视场中，红外光经物体反射后由红外传感器接收，并由实感图像处理芯片计算得出深度场。彩色传感器则提供 2D 平面图像信息。模组最后通过 USB3.0 输出 RGBD（红、绿、蓝及深度）信息。通过 UV map 来把深度信息 D 映射到相应的 RGB 像素

点上。这样每个像素点都可以计算出相应的 3D 世界坐标 (x,y,z)。所有这一切功能都集成在 110.0mm × 12.5mm × 3.75mm 尺寸的模组上, 通过 USB 直接供电, 最大限度地节约了空间和功耗, 使得将 Intel RealSense 3D 摄像头集成在移动设备上成为可能。

SR300 是 Intel 最新推出的 F200 升级版近距离 3D 摄像头。相对于 F200 的主要性能 SR300 在以下方面有所改进:

- 距离和检测速度提升
- 低照度条件下的彩色图像质量提高
- 彩色和深度数据流的同步提升
- 更低的功耗

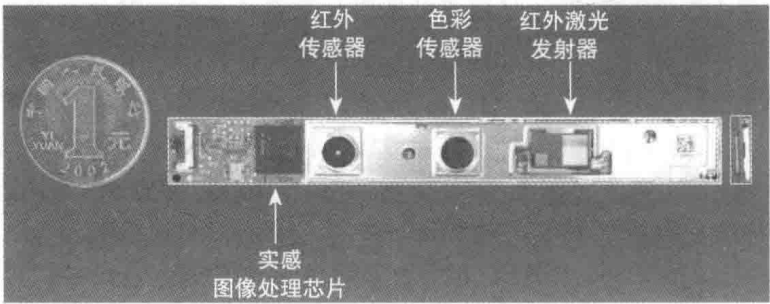


图 1-6 F200 摄像头内部构造图

3. R200 摄像头

图 1-7 是外置式的远距 R200 摄像头, 其技术规格如下:

- 景深摄像头外设
- 远距 3D 摄像头 (室内 3 ~ 4 米, 室外距离更远)
- 景深 /IR: 640 × 480, 分辨率 @ 60fps
- RGB: 1080p @ 30fps
- USB 3.0
- 开发人员套件规格: 130 毫米 × 20 毫米 × 7 毫米
- 支持 Microsoft Windows 8.1 及更高版本 (64 位版本)、Android Linux

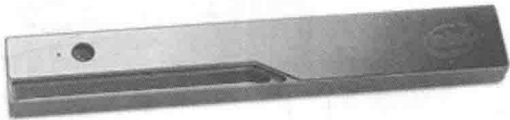


图 1-7 外置式 R200 摄像头

远距的 R200 摄像头通常集成在 PAD、手机等智能设备的后板上, 聚焦环境交互, 其作用范围与距离如图 1-8 所示。

图 1-9 是 R200 摄像头的内部构造图。R200 主要用于远距离场景, 利用双目视差原理进行两路红外传感接收, 从而提高远距离测距的准确性。可以看到 R200 包含内置的左红外传感器、色彩传感器、红外激光发射器、右红外传感器、实感图像处理芯片等主要部件 (从左至右)。红外激光发射器发射出固定的散斑, 由左右红外传感器来接收信息, 通过三角定位原理, 实时计算出每个像素点的深度信息。同时色彩传感器获得正常的高质量 RGB 信息。