

Internet of Things

物联网工程与技术规划教材

基于嵌入式系统的 物联网开发教程

丘森辉 宋树祥 主编



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

物联网工程与技术规划教材

基于嵌入式系统的 物联网开发教程

丘森辉 宋树祥 主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书将 Ubuntu 操作系统和物联网综合实验箱作为开发环境, 紧紧围绕“物联网和嵌入式”进行讲解和分析。在大量实例的基础上, 将本书内容划分为物联网与嵌入式系统概述、嵌入式 Linux 系统快速入门、Linux 应用程序编程、嵌入式 Linux 设备驱动开发、物联网应用开发、Android 底层及应用开发、物联网综合设计等 7 个章节。

本书内容翔实, 案例丰富, 操作性极强, 可作为高校电子信息、通信工程、信息工程、计算机等相关专业的教材, 也可作为嵌入式领域科技工作者的参考书。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

基于嵌入式系统的物联网开发教程/丘森辉, 宋树祥主编. —北京: 电子工业出版社, 2017.1

物联网工程与技术规划教材

ISBN 978-7-121-30557-3

I. ①基… II. ①丘… ②宋… III. ①互连网络—应用—高等学校—教材②智能技术—应用—高等学校—教材 IV. ①TP393.4②TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 294643 号

策划编辑: 凌毅

责任编辑: 凌毅

印刷: 涿州市京南印刷厂

装订: 涿州市京南印刷厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开本: 787×1 092 1/16 印张: 15 字数: 390 千字

版次: 2017 年 1 月第 1 版

印次: 2017 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 38.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010)88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: (010)88254528, lingyi@phei.com.cn。

前 言

本书编写背景

随着信息技术的发展，物联网已被视为继计算机和互联网之后世界信息产业的第三次浪潮。而作为物联网涉及的关键技术——嵌入式技术，近年来已在国内得到了广泛的应用。同时，社会也亟需嵌入式物联网相关的技术人才，为此，许多高校都已先后开设了物联网相关课程，不少学校还开设了物联网专业。

目前，国内已经有不少物联网及嵌入式方面的图书面世，但是大都是物联网与嵌入式技术分开编写的，然而作为物联网的关键技术——嵌入式技术，它们两者是紧密结合的。为此，在这种背景下，我们组织编写此书，以解决上述问题。

本书编写目的

本书是结合嵌入式技术和物联网相关知识而编写的，内容囊括嵌入式 Linux、物联网技术、Android 开发和物联网综合设计等知识面，旨在由浅入深、循序渐进地帮助读者提高基于嵌入式系统的物联网实践开发和实践操作能力。

本书主要内容

本书共 7 章，可分为 4 个部分。

第一部分为第 1 章，主要介绍物联网及嵌入式系统概念、应用前景等基础知识。

第二部分为第 2、3、4 章，主要为嵌入式 Linux 系统的入门及提高。

第 2 章介绍嵌入式 Linux 系统的快速入门。包括 Linux 开发环境的搭建、Linux 基础命令的介绍、Linux 下 C 编程的几种常用工具、Bootloader 介绍。

第 3 章介绍 Linux 应用程序开发。包括底层文件 I/O 操作、进程控制开发、进程间通信开发、多线程编程、嵌入式 Linux 网络编程。

第 4 章介绍设备驱动程序的开发。包括设备驱动基础知识介绍、设备驱动程序编写、实例讲解。

第三部分包括第 5、6 章，主要为物联网应用开发。

第 5 章介绍物联网实例开发。包括无线传感网络和传感器基础知识介绍、ZigBee 传输技术应用、蓝牙传输技术应用、IPv6 传输技术应用、WiFi 传输技术应用。

第 6 章介绍 Android 底层及应用开发。包括开发环境的搭建和实例讲解。

第四部分为第 7 章，主要介绍几个综合实例的开发项目。

以上各章在讲解中都给出相关例子和实验，以便提高读者对知识的掌握和编程实践能力。

本书阅读建议

本书以实践操作为特色，所阐述的内容主要基于实验箱进行操作，因此，建议读者在实验箱环境下编程练习，以提高编程实践动手能力。对于没有开发板或实验箱的读者，也可在

PC 上完成嵌入式 Linux 基础命令部分和应用开发部分的学习,有条件时再转入实验箱上进行实践操作。

本书提供实践操作文件,读者请登录华信教育资源网 www.hxedu.com.cn,注册后免费下载“基于嵌入式系统的物联网实验开发光盘”,按照书中文件路径查找相关内容。

本书之外的内容

本书主要内容参考华清远见嵌入式培训中心的培训课程资料,其相关的源代码和资料,请参见 <http://dev/hqyj.com>。

本书由丘森辉和宋树祥执笔,同时参与编写的还有刘恒、莫丹雷等,在此一并表示感谢。

由于时间仓促,加之水平有限,书中存在不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

E-mail:qiusenhui@mailbox.gxnu.edu.cn, 欢迎来信交流。

编者

2016 年 11 月

目 录

第 1 章 物联网与嵌入式系统概述..... 1	第 3 章 Linux 应用程序编程.....44
1.1 物联网概述..... 1	3.1 底层文件 I/O 操作44
1.2 国内外物联网的发展现状..... 2	3.1.1 Linux 系统调用及用户编程 接口 (API)44
1.2.1 国外物联网现状..... 2	3.1.2 底层文件 I/O 操作45
1.2.2 国内物联网现状..... 2	3.1.3 文件锁.....49
1.3 嵌入式系统概述..... 3	3.1.4 标准 I/O 编程基本操作54
1.3.1 什么是嵌入式系统..... 3	3.1.5 其他操作.....57
1.3.2 嵌入式基本结构..... 3	3.2 进程控制开发.....59
1.3.3 嵌入式系统的特点..... 5	3.2.1 进程的基本概念59
1.4 物联网与嵌入式系统..... 6	3.2.2 Linux 下进程的模式和 类型.....60
1.5 基于嵌入式技术的物联网应用 领域..... 7	3.2.3 Linux 进程控制编程.....60
1.5.1 物联网与智能家居..... 7	3.3 进程间通信65
1.5.2 物联网与智能农业..... 7	3.3.1 管道.....66
1.5.3 物联网与智能物流..... 9	3.3.2 FIFO.....70
1.5.4 物联网与智能医疗.....11	3.3.3 信号.....74
第 2 章 嵌入式 Linux 系统快速入门.....13	3.3.4 信号的处理.....78
2.1 嵌入式 Linux 概述.....13	3.3.5 信号量.....81
2.1.1 什么是嵌入式 Linux13	3.4 多线程编程86
2.1.2 嵌入式系统中选择嵌入式 Linux 的缘故.....14	3.4.1 线程概述.....86
2.2 搭建嵌入式 Linux 主机开发 环境.....14	3.4.2 线程基本编程.....87
2.3 Linux 基础命令20	3.4.3 线程之间的同步与互斥.....91
2.3.1 用户系统相关命令.....21	3.4.4 信号量线程控制.....94
2.3.2 文件相关命令.....24	3.5 嵌入式 Linux 网络编程98
2.3.3 网络相关命令.....29	3.5.1 OSI 参考模型及 TCP/IP 参考 模型.....98
2.4 Linux 下 C 编程基础.....31	3.5.2 网络基础编程.....99
2.4.1 常用编辑器 vi31	3.5.3 Socket 基础编程104
2.4.2 gcc 编译器.....33	第 4 章 嵌入式 Linux 设备驱动开发112
2.4.3 make 工程管理器.....37	4.1 设备驱动概述.....112
2.5 嵌入式 Linux 操作系统 Bootloader.....41	4.1.1 设备驱动简介及驱动模块.....112
2.5.1 Bootloader 概述.....41	4.1.2 设备分类.....113
2.5.2 U-Boot 概述42	4.1.3 设备号.....113
	4.1.4 驱动层次结构.....114

4.1.5	设备驱动程序与外界的接口	114	5.5.4	BLE 程序烧写	173
4.1.6	设备驱动程序的特点	114	5.5.5	BLE 蜂鸣器控制节点实验	176
4.2	字符设备驱动编程	115	5.6	短距离传输之 IPv6	181
4.3	GPIO 驱动程序实例	120	5.6.1	IPv6 介绍	181
4.3.1	LED 灯实验	120	5.6.2	基于 IPv6 蜂鸣器实验	182
4.3.2	按键驱动实例	127	5.7	短距离传输之 WiFi	185
第 5 章	物联网应用开发	130	5.7.1	WiFi 技术定义	185
5.1	无线传感网络	130	5.7.2	基于 WiFi 超声波测距传感器节点实验	186
5.1.1	无线传感网络概述	130	第 6 章	Android 底层及应用开发	190
5.1.2	无线传感网络的关键技术	131	6.1	底层部分	190
5.2	传感器技术	132	6.1.1	Android 源码编译实验	190
5.2.1	传感器技术的定义及作用	132	6.1.2	Android 镜像烧写实验	198
5.2.2	各类传感器介绍	133	6.1.3	Android LED 点灯实验	206
5.2.3	传感器在物联网中的应用	134	6.2	应用部分	209
5.3	网关	134	6.2.1	华清远见开发环境	209
5.3.1	STM32 网关平台	135	6.2.2	创建第一个 Android 应用	215
5.3.2	M3 网关实验	138	第 7 章	综合实例开发	225
5.3.3	STM32 LED 实验	155	7.1	基于嵌入式 Linux 的智能家居系统设计	225
5.4	短距离传输之 ZigBee	156	7.1.1	概述	225
5.4.1	ZigBee 技术的概述	156	7.1.2	设计实现	226
5.4.2	ZigBee 自身技术优势	157	7.2	基于嵌入式 Linux 的智能农业系统设计	227
5.4.3	ZigBee 网络设备类型及拓扑结构	158	7.2.1	概述	227
5.4.4	ZigBee 2007 协议栈安装	159	7.2.2	设计实现	228
5.4.5	ZigBee 传感器使用	161	7.3	安防监控系统设计	230
5.4.6	ZigBee 控制 LED 实验	168	7.3.1	概述	230
5.5	短距离传输之蓝牙 (BLE)	171	7.3.2	设计实现	231
5.5.1	蓝牙的概念及原理	171	参考文献	233	
5.5.2	蓝牙技术优势	172			
5.5.3	BLE 4.0 协议栈安装	173			

第 1 章 物联网与嵌入式系统概述

物联网是新一代信息技术的重要组成部分，也是“信息化”时代的重要发展阶段，是互联网与嵌入式系统发展到高级阶段的融合。作为物联网重要技术组成的嵌入式系统，嵌入式系统有助于深刻、全面地理解物联网的本质。

本章学习目标：

- 理解物联网概念；
- 了解物联网的国内外发展现状和前景；
- 理解嵌入式系统概念、结构、特点；
- 理解物联网与嵌入式系统之间的关系；
- 了解物联网在各行业中的应用。

1.1 物联网概述

物联网（The Internet of Things）的概念是在 1999 年提出来的，又名传感网，它的定义是：把所有物品通过射频识别等信息传感设备与互联网连接起来，实现智能化识别和管理。物联网把新一代 IT 技术充分运用在各行各业之中，具体地说，就是把传感器嵌入和装备到电网、铁路、桥梁、隧道、公路、建筑、供水系统、大坝、汽油管道等各种物体中，然后将这一物物相连的网络与现有的互联网整合起来，实现人类社会与物理系统的整合。在这个整合的网络中，存在能力超级强的中心计算机群，能够整合网络内的人员、机器、设备和基础设施，实施实时的管理和控制，在此基础上，人类可以以更加精密和动态的方式管理生产和生活，达到“智慧”状态，提高资源利用率和生产水平，改善人与自然之间的关系。

国际电信联盟 2005 年的第一份报告曾描绘“物联网”时代的图景如图 1.1.1 所示，当司机出现操作失误时，汽车会自动报警；公文包会提醒主人忘带了什么东西；衣服会“告诉”洗衣机其颜色和对水温的要求等。

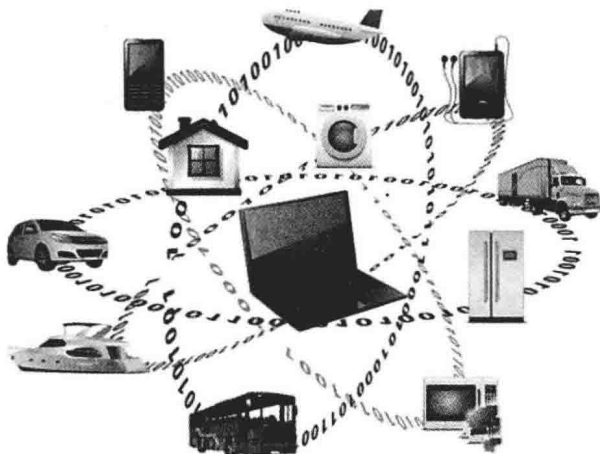


图 1.1.1 物联网应用示意图

物联网有如下基本特征：

- ① 全面感知——利用射频识别（RFID）技术、传感器、二维码及其他各种感知设备随时随地采集各种动态对象，全面感知世界；
- ② 可靠的传送——利用网络（有限、无线及移动网）将感知的信息进行实时的传送；
- ③ 智能控制——对物体进行智能化的控制和管理，真正达到了人与物的沟通。

1.2 国内外物联网的发展现状

1.2.1 国外物联网现状

当前，全球主要发达国家和地区均十分重视物联网的研究，并纷纷推出了与物联网相关的信息化战略。世界各国的物联网基本都处在技术研发与试验阶段，美、日、韩、欧盟等都投入巨资深入研究探索物联网，并相继推出区域战略规划。

1. 美国

奥巴马总统就职后，很快回应了 IBM 公司所提出的“智慧地球”，将物联网发展计划上升为美国的国家级发展战略。该战略一经提出，在全球范围内得到极大的响应，物联网荣升 2009 年最热门话题之一。那么什么是“智慧地球”呢？就是把感应器嵌入和装备到电网、铁路、桥梁、隧道、公路、建筑、供水系统、大坝、油气管道等各种物体中，并且被普遍连接，形成所谓“物联网”，然后将“物联网”与现有的互联网整合起来，实现人类社会与物理系统的整合。智慧地球的核心是以一种更智慧的方法通过利用新一代信息技术来改变政府、公司和人们相互交互的方式，以便提高交互的明确性、效率、灵活性和响应速度。智慧方法具体来说具有 3 个方面的特征：更透彻的感知、更全面的互联互通、更深入的智能化。

2. 欧盟

欧盟围绕物联网技术和应用做了不少创新性工作。2006 年成立了专门进行 RFID 技术研究的工作组，该工作组于 2008 年发布了《2020 年的物联网——未来路线》，2009 年 6 月又发布《物联网——欧洲行动计划》，对物联网未来发展以及重点研究领域给出了明确的路线图。

3. 日本和韩国

2009 年 8 月，日本将“u-Japan”升级为“i-Japan”战略，提出“智慧泛在”构想，将物联网列为国家重点战略之一，致力于构建个性化的物联网智能服务体系。2009 年 10 月，韩国颁布《物联网基础设施构建基本规划》，将物联网市场确定为新的增长动力，并提出到 2012 年实现“通过构建世界最先进的物联网基础设施，打造未来超一流信息通信技术强国的目标”。

法国、德国、澳大利亚、新加坡等也在加紧部署物联网发展战略，加快推进下一代网络基础设施建设步伐。

1.2.2 国内物联网现状

我国在物联网领域的布局较早，中科院早在十年前就启动了传感网研究。在物联网这个全新的产业中，我国技术研发水平处于世界前列，中国与德国、美国、韩国一起，成为国际标准制定的四个发起国和主导国之一，其影响力举足轻重。2009 年 8 月，温家宝总理在无锡视察时指出，要在激烈的国际竞争中，迅速建立中国的传感信息中心或“感知中国”中心。物联网被正式列为国家五大新兴战略性新兴产业之一，并写入政府工作报告中。2009 年 11 月，

总投资超过 2.76 亿元的 11 个物联网项目在无锡成功签约。2010 年工信部和发改委出台了系列政策支持物联网产业化发展,到 2020 年之前我国已经规划了 3.86 万亿元的资金用于物联网产业的发展。

中国“十二五”规划已经明确提出,发展宽带融合安全的下一代国家基础设施,推进物联网的应用。物联网将会在智能电网、智能交通、智能物流、智能家居、环境与安全检测、工业与自动化控制、医疗健康、精细农牧业、金融与服务业、国防军事十大领域重点部署。

1.3 嵌入式系统概述

1.3.1 什么是嵌入式系统

嵌入式本身是一个相对模糊的概念,人们很少会意识到自己随身携带了多个嵌入式系统——手机、手表或者智能卡中都嵌有它们,当人们与汽车、电梯、厨房设备、电视、录像机以及娱乐系统等进行交互时,往往也不能察觉其中所含的嵌入式系统。嵌入式系统在工业、机器人、医疗设备、电话系统、卫星、飞行系统等应用中扮演了更为重要的角色。

嵌入式系统的定义为:以应用为中心、以计算机技术为基础、软硬件可裁剪、适用于应用系统,对功能、可靠性、成本、体积、功耗严格要求的专用计算机系统。其主要特点是嵌入、专用。

嵌入式系统行业每年创造的工业年产值已超过了几万亿美元。1997 年美国嵌入式系统大会(Embedded System Conference, ESC)的报告指出,未来 5 年仅基于嵌入式计算机系统的全数字电视产品,就将在美国产生一个每年 1500 亿美元的新市场。美国福特公司的高级经理也曾宣称“福特出售的‘计算能力’已超过了 IBM”,由此可以想象嵌入式计算机工业的规模和广度。2004 年之后,中国嵌入式系统市场步入了快速增长时期,嵌入式系统的发展为几乎所有的电子设备注入了新活力,由于迅速发展的 Internet 和非常廉价的微处理器的出现,嵌入式系统在日常生活中变得无处不在。2007 年,由 ARM (Advanced RISC Machines) 公司的合作伙伴设计、制造的基于 ARM 处理器的芯片出货量达到了 29 亿;2008 年,这一数字突破了 100 亿,国内仅嵌入式微处理市场产值就逼近 2500 亿元人民币,中国政府已经开始高度重视嵌入式相关产业的发展,科技部将嵌入式软件列为国家重点发展专利课题,并正在积极打造嵌入式产业链。近年来,随着嵌入式行业的发展,人才与需求的矛盾日益突出,中国已经有超过 300 家大学开设了 ARM 课程,同时据权威部门统计,国内嵌入式人才缺口达到了每年 80 万人左右。

1.3.2 嵌入式基本结构

嵌入式系统的基本结构一般可以分为硬件和软件两部分。

1. 嵌入式系统硬件

嵌入式系统的硬件包括嵌入式核心芯片、存储器系统及外部接口。其中,嵌入式核心芯片指微处理器(EMPU)、嵌入式微控制器(EMCU)、嵌入式数字信号处理器(EDSP)、嵌入式片上系统(ESoC)。嵌入式系统的存储系统包括程序存储器(ROM、EPROM、Flash)、数据存储器、随机存储器、参数存储器等。

(1) 嵌入式处理器

嵌入式处理器是构成系统的核心部件,系统工程中的其他部件均在它的控制和调度下工

作。处理器通过专用的接口获取监控对象的数据、状态等各种信息，并对这些信息进行计算、加工、分析和判断并作出相应的控制决策，再通过专用接口将控制信息传给控制对象。根据其现状，嵌入式处理器可以分成下面几类，如图 1.3.1 所示。

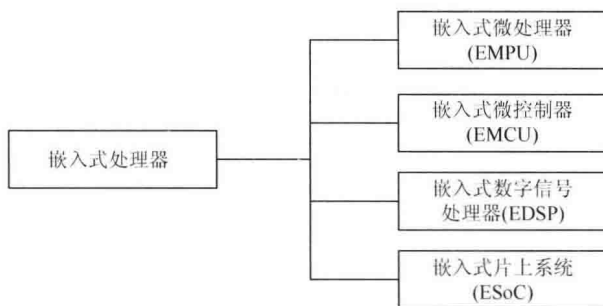


图 1.3.1 嵌入式处理器的分类

(2) 嵌入式存储器

存储器的类型将决定整个嵌入式系统的操作和性能，因此存储器的选择非常重要。无论系统是采用电池供电还是市电供电，应用需求将决定存储器的类型及使用目的。另外，在选择过程中，存储器的尺寸和成本也是需要考虑的重要因素。对于较小的系统，微控制器自带的存储器就有可能满足系统要求，而较大的系统可能要求增加外部存储器。为嵌入式系统选择存储器类型时，需要考虑一些设计参数，包括微控制器的选择、电压范围、电池寿命、读/写速度、存储器尺寸、存储器的特性、擦除/写入的耐久性以及系统总成本等。

按照与 CPU 的接近程度，存储器分为内存储器和外存储器，简称内存和外存。内存储器又称为主存储器，属于主机的组成部分；外存储器又称辅助存储器，属于外围设备。CPU 不能像访问内存那样直接访问外存，外存要与 CPU 和 I/O 设备进行数据传输，必须通过内存进行。在 80386 以上的高档微机中，还配置了高速缓冲存储器 (Cache)，这时内存包括主存和高速缓存两部分。对于低档微机，主存即为内存。

根据两类存储器设备的特点，计算机一般采用两级存储层次，这样做的优点是：合理解决速度与成本的矛盾，以获取较高的性价比；使用磁盘作为外存，不仅价格便宜，可以把存储容量做得很大，而且在断电时它所存放的信息也不会丢失，可以长期保存，且复制、携带都很方便。

(3) 常规的外设及其接口

常规外设是指一般的计算设备不能缺少的外设。常规外设通常包括以下 3 类。

① 输入设备：用于数据的输入。常见的输入设备有键盘、鼠标、触摸屏、扫描仪、各种各样的媒体视频捕获卡等。

② 输出设备：用于数据的输出。常见的输出设备有各种显示器、打印机、绘图仪、声卡、音响等。

③ 外存设备：用于存储程序和数据。常见的外存设备有硬盘、软盘、光盘、磁带机、存储机等。

通过接口可以将外设连接到计算机上，使外设的信息能够输入计算机，计算机的信息能够输出到外设。

2. 嵌入式软件

嵌入式系统的软件与通用计算机一样，包含应用软件、应用编程接口、嵌入式操作系统、

板级支持包（BSP），其软件层次结构如图 1.3.2 所示。

嵌入式操作系统为上层的应用软件提供应用编程接口，BSP 负责与底层硬件交互、屏蔽硬件的差异。BSP 的存在使嵌入式操作系统的开发不再依赖于某种系统结构的嵌入式硬件，因此硬件厂商提供适合自己硬件的 BSP 即可。

（1）BSP

在嵌入式操作系统中，BSP 以嵌入式操作系统“驱动程序”的身份出现。在系统启动初始，BSP 所做的工作类似于通用计算机的 BIOS，负责系统加电、各种设备初始化、操作系统装入等。

（2）嵌入式操作系统

嵌入式操作系统是嵌入式系统极为重要的组成部分，是嵌入式系统的灵魂。嵌入式操作系统从一开始便在通信、交通、医疗、安全方面展现出强大的魅力和强劲的发展潜力。嵌入式操作系统伴随着嵌入式系统的发展而发展，主要经历了 4 个比较明显的阶段：第一阶段是无操作系统的嵌入式算法阶段，通过汇编语言编程对系统进行直接控制；第二阶段是以嵌入式 CPU 为基础、简单操作系统为核心的嵌入式系统；第三阶段是通用的嵌入式实时操作系统阶段，该阶段以嵌入式操作系统为核心；第四阶段是以基于 Internet 为标志的嵌入式系统，这还是一个正在发展的阶段。

嵌入式操作系统具有一定的通用性，规模较大的嵌入式系统一般都有操作系统。嵌入式操作系统一般具有体积小、实时性强、可裁剪、可靠性强、功耗低等特点，其中实时性是最典型的特点。因此，实时性是嵌入式系统最重要的要求之一。目前，使用的嵌入式操作系统有几十种，但是最常用的是 Linux 和 Windows CE，本书将重点介绍 Linux 操作系统。

（3）应用软件

在传统的操作系统领域中，应用软件是指那些为了完成某些特定任务而开发的软件；在嵌入式系统领域的应用软件与通用计算机领域的应用软件从作用上讲都是类似的，也是为了解决某些特定的应用性问题而设计的软件，比如浏览器、播放器等。虽然嵌入式系统与通用的计算机系统分属于两个不同的领域，但二者的通用软件在某些情况下是可以通用的，当然更多数的情况是为了更好地适应嵌入式系统而作出了一定的修改，比如在智能手机中，可以看到非常高效的 Office 软件，它们在有限的资源下仍然可以完成大部分任务。嵌入式系统的应用软件与通用计算机软件相比，由于嵌入式系统的资源有限，致使对应用软件有更多苛求，要求尽量做到高效、低耗。而且嵌入式系统的应用软件还存在着操作系统的依赖性，一般情况下，不同操作系统之间的软件必须进行修改才能移植，甚至需要重新编写。

嵌入式系统是面向特定应用的，因此不同的嵌入式系统的应用软件可能会完全不同，但大多数嵌入式系统的应用软件都要满足实时性要求。

1.3.3 嵌入式系统的特点

从嵌入式系统的定义可以看出，嵌入式系统是面向应用的，与通用系统最大的区别在于嵌入式系统功能专一。根据这个特性，嵌入式系统的软、硬件可以根据需要进行精心设计、量体裁衣、去除冗余，以实现低成本、高性能。也正因如此，嵌入式系统采用的微处理器和外围设备种类繁多，系统不具有通用性。

嵌入式系统大多用在特定场合，要么是环境条件恶劣，要么要求其长时间连续运转，因此



图 1.3.2 嵌入式系统层次结构

嵌入式系统应具有高可靠性、高稳定性、低功耗等特点。

由于成本和应用场合的特殊性，通常嵌入式系统的硬件资源（如内存等）都比较少，为此对嵌入式系统设计也提出了较高的要求。嵌入式系统的软件设计要求高质量，要在有限资源上实现高可靠性、高性能的系统。虽然随着硬件技术的发展和成本的降低，在高端嵌入式产品上也开始采用嵌入式操作系统，但和 PC 资源比起来还是少得可怜，所以，嵌入式系统的软件代码依然要在保证性能的情况下，占用尽量少的资源，保证产品的高性价比，使其具有更强的竞争力。

为了提高执行速度和系统可靠性，嵌入式系统中的软件一般都固化在存储器芯片或单片机本身中，而不是存储于磁盘中。很多采用嵌入式系统的应用具有实时性要求，所以大多数嵌入式系统采用实时性系统。但需要注意的是，嵌入式系统不等于实时系统。嵌入式系统不仅功能强大，而且要求使用灵活、方便，一般不需要键盘、鼠标等。人机交互以简单方便为主。

嵌入式软件开发有别于桌面软件系统开发的一个显著特点是，它一般需要一个交叉编译和调试环境，即编辑和编译软件在主机上进行（如在 PC 的 Windows 操作系统下），编译好的软件需要下载到目标机上运行（如在一个 PC 目标机上的 VxWorks 操作系统下），主机和目标机建立起通信连接，并传输调试命令和数据。由于主机和目标机往往运行着不同的操作系统，而且处理器的体系结构也彼此不同，这就提高了嵌入式开发的复杂性。

嵌入式系统是将先进的计算机技术、半导体技术和电子技术与各个行业的具体应用相结合后的产物。这一点就决定了它必然是一个技术密集、资金密集、高度分散、不断创新的知识集成系统，从事嵌入式系统开发的人才也必须是复合型人才。

1.4 物联网与嵌入式系统

物联网中的“物”要满足以下条件：

- 要有数据传输通路；
- 要有一定的存储功能；
- 要有 CPU；
- 要有操作系统；
- 要有专门的应用程序；
- 遵循物联网的通信协议；
- 在世界网络中有可被识别的唯一编号。

物联网有 3 个源头，即智慧源头、网络源头、物联源头。智慧源头是微处理器，网络源头是物联网，物联源头是嵌入式应用系统的 4 个通道接口：与物理参数相连的是前向通道的传感器接口；与物理对象相连的是后向通道的控制接口；实现人物交互的是人机交互接口；实现物物交互的是通信接口。物联网系统的基本特点是“三化两性”，即无人化、自动化、智慧化、实时性与无限性。

物联网的实现需要用到嵌入式技术，嵌入式技术系统作为“物联网”的核心，是当前最热门的 IT 应用领域之一。物联网其实就是把所有的物体都连在网络上，这些就是要通过嵌入式系统来实现。嵌入式系统诞生于嵌入式处理器，距今已有 30 多年的历史。早期经历过电子技术领域独立发展的单片机时代，进入 21 世纪，才进入多学科支持的嵌入式系统时代。从诞生之日起，嵌入式系统就以“物联”为己任，具体表现为：嵌入式到物理对象中，实现物理对象的智能化。

1.5 基于嵌入式技术的物联网应用领域

1.5.1 物联网与智能家居

智能家居概念的起源很早：20世纪80年代初，随着大量采用电子技术的家用电器面世，住宅电子化开始实现；20世纪80年代中期，将家用电器、通信设备与安全防范设备各自独立的功能综合为一体，又形成了住宅自动化概念；至20世纪80年代末，由于通信与信息技术的发展，出现了通过总线技术对住宅中各种通信、家电、安防设备进行监控与管理的商用系统，这在美国被称为 Smart Home，也就是现在智能家居的原型。智能家居在 Wiki 百科中定义如下：以住宅为平台，兼备建筑、网络通信、信息家电、设备自动化，集系统、结构、服务、管理为一体的高效、舒适、安全、便利、环保的居住环境。进入21世纪后，智能家居的发展更是多样化，技术实现方式也更加丰富。总体而言，智能家居发展大致经历了4代。第一代主要是基于同轴线、两芯线进行家庭组网，实现灯光、窗帘控制和少量安防等功能。第二代主要基于 RS-485 线、部分基于 IP 技术进行组网，实现可视对讲、安防等功能。第三代实现了家庭智能控制的集中化，控制主机产生，业务包括安防、控制、计量等业务。第四代基于全 IP 技术，末端设备基于 ZigBee 等技术，智能家居业务提供采用“云”技术，并可根据用户需求实现定制化、个性化。

目前智能家居大多属于第三代产品，而美国已经对第四代智能家居进行了初步的探索，并已有相应产品。近年来，物联网成为全球关注的热点领域，被认为是继互联网之后最重大的科技创新。物联网通过射频识别（RFID）、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等信息传感设备，按约定的协议把任何物品与互联网连接起来进行信息交换和通信，以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理。物联网的发展也为智能家居引入了新的概念及发展空间，智能家居可以被看作是物联网的一种重要应用。

基于物联网的智能家居，表现为利用信息传感设备（同居住环境中的各种物品松耦合或紧耦合）将家居生活有关的各种子系统有机地结合在一起，并与互联网连接起来，进行监控、管理信息交换和通信，实现家居智能化。其包括：智能家居（中央）控制管理系统、终端（家居传感器终端、控制器）、家庭网络、外联网络、信息中心等，如图 1.5.1 所示。

1.5.2 物联网与智能农业

智能农业是现代农业的重要标志和高级阶段。智能农业是现代科学技术革命对农业产生的巨大影响下逐步形成的一个新的农业形态，是现代农业发展的必然趋势和高级阶段。其基本特征是高效、集约，在农业产业链的各个环节，通过信息、知识和现代高新技术的高度融合，用信息流调控农业生产与经营活动的全过程。在智能农业环境下，信息和知识成为重要的投入主体，并大幅度提高物质流与能量流的投入效率。在加快传统农业转型升级的过程中，智能农业将成为发展现代农业的重要内容和显著特征，为加快传统农业人产业化进程，促进农业生产方式和经营方式的转变，增强农业综合竞争力发挥革命性的作用，如图 1.5.2 所示。

智能农业是一个新兴产业，它是现代信息化技术与人的经验和智慧的结合及其应用所产生的新的农业形态。在智能农业环境下，现代信息技术得到了充分应用，可最大限度地把人的智慧转变为先进的生产力，通过知识要素的融入，实现有限的资本要素的投入效应最大化，使得信息、知识成为驱动经济增长的主导因素，使农业增长方式从主要依赖自然资源向主要依赖信

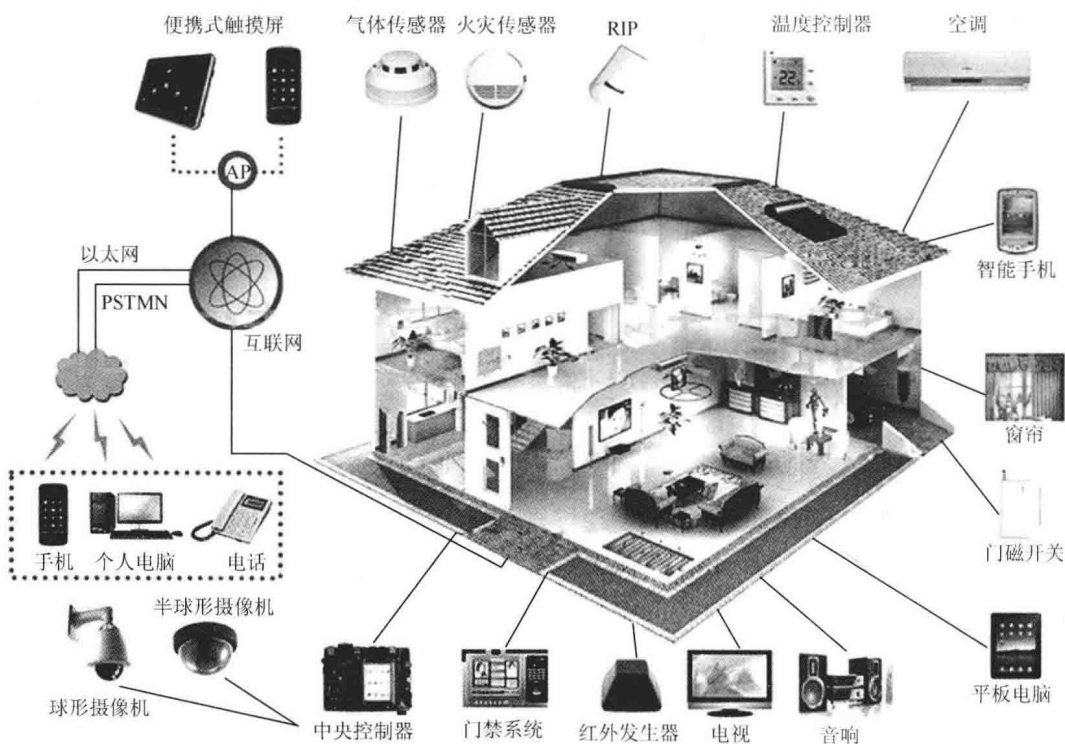


图 1.5.1 物联网与智能家居示意图

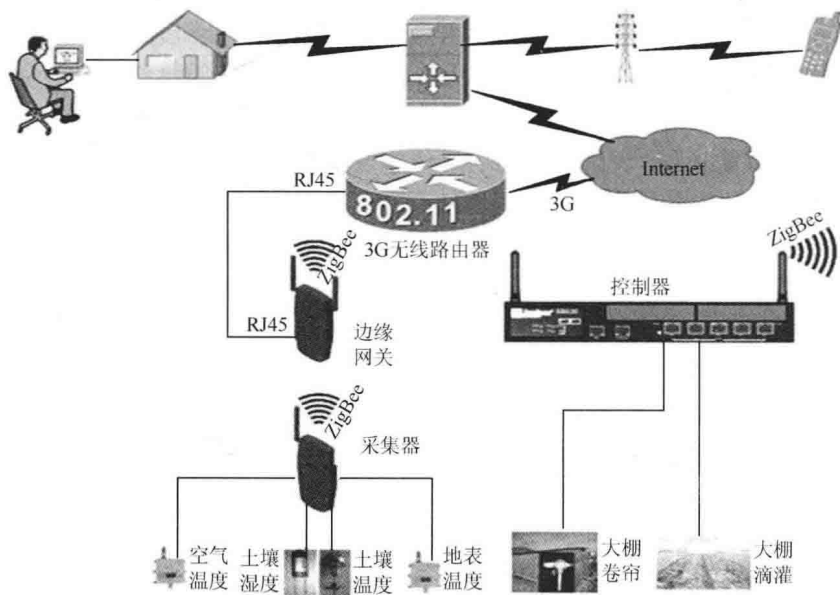


图 1.5.2 物联网与智能农业示意图

息资源和知识资源转变。因此，智能农业也是低碳经济时代农业发展形态的必然选择，符合人类可持续发展的趋势。

物联网对智能农业的影响主要体现在以下 5 个方面。

(1) 物联网技术引领现代农业发展方向

智能装备是农业现代化的一个重要标志，物联网技术在农业中广泛应用，可以实现农业生产资源、生产过程、流通过程等环节信息的实时获取和数据共享，以保证产前正确规划，提高资源利用效率；产中精细管理而提高生产效率，实现节本增效；产后高效沟通并实现安全追溯。农业物联网技术的发展，将是实现传统农业向现代农业转变的助推器和加速器，也将为培育物联网农业应用相关新兴技术和服务产业发展提供无限的商机。

(2) 物联网技术推动农业信息化、智能化

应用各种感应芯片和传感器，广泛地采集人和自然界各种属性信息，然后借助有线、无线和互联网络实现各级管理者、农民、农业科技人员等“人与人”相连，进而拓展到土、肥、水、气、作物、仓储和物流等“人与物”相连，以及农业数字化机械、自动温室控制、自然灾害监测预警等“物与物”相连，并实现即时感知、互联互通和高度智能化。

(3) 物联网技术提高农业精准化管理水平

在农业生产环节，利用农业智能传感器实现农业生产环境信息的实时采集和利用自组织智能物联网对采集数据进行远程实时报送。通过物联网技术监控农业生产环境参数，如土壤湿度、土壤养分、降水量、温度、空气湿度和气压、光照强度、浓度等，可为农作物大田生产和温室精准调控提供科学依据，优化农作物生长环境。不仅可获得作物生长的最佳条件，提高产量和品质，同时可提高水资源、化肥等农业投入的利用率和产出率。

(4) 物联网技术保障农产品和食品安全

在农产品和食品流通领域，集成应用标签、条码、传感器网络、移动通信网络和计算机网络等农产品和食品追溯系统，可实现农产品和食品质量跟踪、溯源和可视数字化管理，对农产品从田头到餐桌、从生产到销售全过程实行监控，可实现农产品和食品质量安全信息在不同供应链主体之间的无缝衔接，不仅实现农产品和食品的数字化物流，同时也可以大大提高农产品和食品的质量。

(5) 物联网技术推动新农村建设

通过互联网长距离信息传输与接近终端小范围无线传感节点物联网的结合，可实现农村信息最后落脚点的解决，真正让信息进村入户，把农村远程教育培训、数字图书馆推送到偏远村庄，缩小城乡数字鸿沟，加快农村科技文化的普及，提高农村人口的生活质量，加快推进新农村建设。

1.5.3 物联网与智能物流

物流业是物联网很早就实实在在落地的行业之一。物流行业不仅是国家十大产业振兴规划的其中一个，也是信息化及物联网应用的重要领域。信息化和综合化的物流管理、流程监控不仅能为企业带来物流效率提升、物流成本控制等监控效益，也从整体上提高了企业以及相关领域的信息化水平，从而达到带动整个产业发展的目的。

目前，国内物流行业的信息化水平仍不高，从内部角度，企业缺乏系统的 IT 信息解决方案，不能借助功能丰富的平台，快速定制解决方案，保证订单履约的准确性，满足客户的具体要求。对外，各个地区的物流企业分别拥有各自的平台及管理系统，信息共享水平低，地方壁垒较高。针对行业目前存在的问题，局部采用了物联网技术，并且也取得了一定的进展。目前相对成熟的应用主要体现在以下几大领域。

(1) 产品的智能可追溯网络系统

如食品的可追溯系统、药品的可追溯系统等，这些智能的产品可追溯系统为保障食品安全、

药品安全提供了坚实的物流保障。目前，在医学领域、制造领域，产品追溯体系都发挥着货物追踪、识别、查询、信息等方面的巨大作用，有很多成功案例。

(2) 物流过程的可视化智能管理网络系统

这是基于 GPS 卫星导航定位技术、RFID 技术、传感技术等多种技术，在物流过程中可实时实现车辆定位、运输物品监控、在线调度与配送、可视化与管理系统。目前，还没有全网络与智能化的可视管理网络，但初级的应用比较普遍，如有的物流公司或企业建立了 GPS 智能物流管理系统；也有的公司建立了食品冷链的车辆定位于食品温度实时监控系统等，初步实现了物流作业的透明化、可视化管理；在公共信息平台与物联网结合方面，也有一些公司在探索新的模式。展望未来，一个高效精准、实施透明的物流业将呈现在眼前。

(3) 智能化的企业物流配送中心

这是基于传感、RFID、声、光、电、移动计算等各项先进技术的网络，旨在建立全自动化的物流配送中心，建立物流作业的智能控制和制造自动化，实现物流与制造联动，实现商流、物流、信息流、资金流的全面协同。

(4) 企业的智慧供应链

在竞争日益激烈的今天，面对着大量的个性化需要与订单，怎样能使供应链更加智慧呢？怎样才能作出准确的客户需求预测？这些是企业经常遇到的现实问题。这就需要智慧物流和智慧供应链的后勤保障网络系统支持。打造智慧供应链，是 IBM 智慧地球解决方案重要的组成部分，也有一些应用的案例，如图 1.5.3 所示。

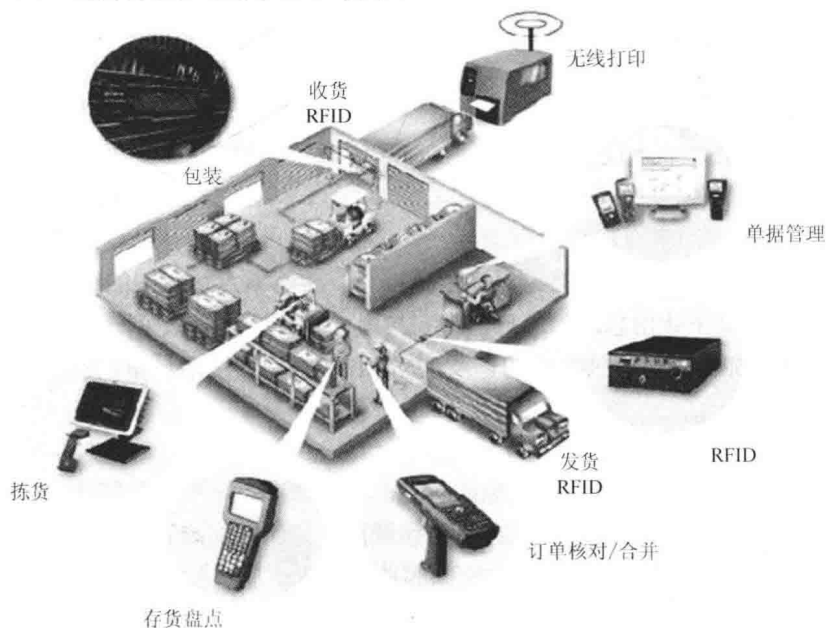


图 1.5.3 物联网与智能物流示意图

此外，基于智能配货的物流网络化公共信息平台建设、物流作业中智能手持终端产品的网络化应用等，也是目前很多地区推动的物联网在物流业中应用的模式。

在物流业，物联网在物品可追溯领域技术与政策条件已经成熟，应该全面推进；在可视化与智能化物流管理领域应该开展试点，力争取得重点突破，取得示范意义的案例；在智能化物流中心建设方面需要物联网理念进一步提升，加强网络建设和物流与生产的联动；在智能配货的信息化平台建设方面应该统一规划，全力推进。