



物联网系统设计



开发方法与应用

© 常 玲 赵 滨 高秀艳 著



 吉林大学出版社

物联网系统设计

开发方法与应用

◎ 常玲 赵滨 高秀艳 著

RFID

 吉林大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

物联网系统设计开发方法与应用 / 常玲, 赵滨, 高秀艳著. — 长春: 吉林大学出版社, 2019. 2

ISBN 978-7-5692-4431-1

I. ①物… II. ①常… ②赵… ③高… III. ①互联网
络—应用—研究②智能技术—应用—研究 IV.

① TP393.4 ② TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 046614 号

书 名 物联网系统设计开发方法与应用

作 者 常玲 赵滨 高秀艳 著

策划编辑 魏丹丹

责任编辑 魏丹丹

责任校对 王婷

装帧设计 凯祥文化

出版发行 吉林大学出版社

社 址 长春市人民大街 4059 号

邮政编码 130021

发行电话 0431-89580028/29/21

网 址 <http://www.jlup.com.cn>

电子邮箱 jdcbs@jlu.edu.cn

印 刷 河北纪元数字印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 14.25

字 数 248 千字

版 次 2019 年 2 月 第 1 版

印 次 2019 年 2 月 第 1 次

书 号 ISBN 978-7-5692-4431-1

定 价 59.00 元

版权所有 翻印必究

前 言

物联网由于其具有广阔的应用前景以及能带来巨大的经济效益而受到世界各国的普遍关注，我国也在《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》中明确将物联网作为重要任务和重大工程。对于培养新一代物联网开发、设计人才的高等院校物联网工程专业来说，培养学生掌握物联网应用系统的综合设计能力是一个非常重要的任务。

物联网系统的建立，不仅涉及种类繁多的传感设备互连，还涉及传感信息处理系统之间的互连。大多数情况下，这些信息处理系统由不同的开发者研发，彼此独立，结构各异，互连困难，严重制约了物联网技术的快速发展及应用。因此，物联网的大规模建立和高效率研发，必须具备统一的框架结构、软件模型和接口协议。

针对上述问题，本书对物联网系统的体系架构、IOT 仪器模型、多种物联网技术进行了阐述，对系统互联模型和云架构模型以及在此基础上利用模型进行物联网系统高效开发的方法进行了阐释。上述模型和方法的提出，为物联网系统的顶层设计、快速开发及软件高效率复用，提供了切实有效的设计思路 and 实现方法。本书以成熟的传感设备硬件环境为背景，从物联网的实用角度进行了阐述，既总结出了传感设备硬件互连所遵循的规律、物联网应用软件结构组成和设计开发方法，又提供了可供参考的传感信息处理系统之间的互联接口协议，并通过多个领域的应用案例对提出的模型和方法进行了翔实研究和论述。

本书由常玲、赵滨、高秀艳共同编写完成，具体分工如下：常玲负责第一章、第二章、第三章、第六章、第七章内容的编写和全书的统稿工作，赵滨负责第五章、第八章内容的编写工作，高秀艳负责第四章内容的编写工作。

全书深入浅出，内容系统全面，是笔者多年从事物联网研究工作的总结，特将此书推荐给对物联网研究和应用系统开发有兴趣的读者。在编写本书的过程中，为力求内容丰富、理论准确，笔者收集并参考了大量物联网相关资料与文献，在此对文献和资料的作者表示郑重感谢。物联网发展迅速，技术和知识更新换代速度快，书中难免存在疏漏之处，恳请各位读者批评、指正，笔者会在今后的研究过程中查漏补缺。

常 玲

2018年10月

目 录

第一章 物联网系统概述	1
第一节 物联网的定义	1
第二节 物联网的体系架构	3
第三节 RFID 技术	14
第四节 ZigBee 技术	19
第五节 无线传感器网络技术	24
第六节 定位技术	31
第七节 物联网通信技术	39
第八节 物联网系统前景展望	44
第二章 物联网体系结构与网络设计方法	47
第一节 物联网体系结构	48
第二节 物联网网络设计方法	50
第三章 物联网系统概要设计	54
第一节 物联网系统概要设计概述	54
第二节 物联网系统接口设计	64
第三节 物联网系统数据库设计	65

第四节	物联网系统概要设计与详细设计的衔接	68
第五节	物联网系统概要设计实例分析	69
第四章	物联网系统详细设计	75
第一节	物联网系统详细设计概述	75
第二节	物联网系统面向对象设计	87
第三节	物联网系统用户界面设计	97
第四节	物联网系统详细设计实例分析	101
第五章	物联网系统网络层设计	110
第一节	网络层的基本拓扑结构	110
第二节	基于网关的网络层设计	114
第三节	基于 IPv6 的网络层设计	119
第四节	网络层的安全设计	136
第六章	物联网系统设计在自动监测中的应用	142
第一节	物联网系统设计应用于智能农业大棚	142
第二节	物联网系统设计应用于机房安全监控	146
第三节	物联网系统设计应用于海洋环境观测	150
第七章	物联网系统设计在工业测试中的应用	159
第一节	工业测试中的物联网系统需求	159
第二节	物联网系统设计应用于电冰箱测试	161
第三节	物联网系统设计应用于热水器测试	168
第四节	物联网系统设计应用于空调测试	184
第八章	物联网系统设计在系统互联中的应用	189
第一节	物联网系统设计应用于软件复用	189
第二节	物联网系统设计应用于软件云服务	190

第三节 物联网系统设计应用于同构云互联·····	194
第四节 物联网系统设计应用于转接云互联·····	198
第五节 物联网系统设计应用于综合云互联·····	203
参考文献 ·····	217
后 记 ·····	220

第一章

物联网系统概述

本章主要介绍物联网的定义、物联网的体系架构、射频识别（RFID）技术、ZigBee 技术、无线传感器网络技术、无线传感器网络定位技术、物联网通信技术及物联网系统的应用前景等内容，知识要点为物联网的框架结构、RFID 的工作原理及无线传感器网络定位的算法。

第一节 物联网的定义

随着“智慧地球”到“感知中国”的提出，全球一体化、工业自动化和信息化进程的不断深入，物联网（Internet of Things）悄然来临。物联网被看作信息领域的一次重大发展与变革，在未来 5~15 年，它的广泛应用将为解决现代社会问题做出极大的贡献。物联网被称为继计算机、互联网之后，世界信息产业的第三次浪潮。2009 年以来，美国、欧盟、日本等纷纷出台物联网发展计划，进行相关技术产业的前瞻布局。但整体而言，物联网在全球范围内的研究和开发还处于起步阶段，不同领域的专家学者对物联网的研究方向各异，关于物联网的定位及特征的认识还未能统一，对于其框架模型、标准体系和关键技术还缺乏清晰的界定。

一、国际电信联盟的定义

2005年11月17日，在突尼斯举行的信息社会世界峰会（WSIS）上，国际电信联盟（ITU）发布了《ITU互联网报告2005：物联网》，正式提出“物联网”的概念。报告指出，无所不在的“物联网”通信时代即将来临，世界上的所有物体，从轮胎到牙刷，从房屋到纸巾，都可以通过因特网主动进行信息交换；射频识别（RFID）技术、传感器技术、纳米技术、智能嵌入技术将得到更加广泛的应用。根据ITU的描述，在物联网时代，通过在各种各样的日常用品上嵌入一种短距离的移动收发器，人类在信息与通信世界将获得一个新的沟通维度，从任何时间、任何地点的人与人之间的沟通连接将扩展到人与物及物与物之间的沟通连接。

二、美国IBM“智慧地球”中的定义

2009年1月28日，奥巴马就任美国总统后，与美国工商业领袖举行了一次“圆桌会议”。作为仅有的两名代表之一，IBM首席执行官彭明盛首次提出“智慧地球”这一概念，建议新政府投资新一代的智慧型基础设施。2009年2月24日，IBM大中华区首席执行官钱大群在2009 IBM论坛上公布了名为“智慧的地球”的最新策略。此概念一经提出，就得到美国各界的高度关注。IBM认为，IT产业下一阶段的任务是把新一代IT技术充分运用在各行各业，具体地说，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，并且被普遍连接，形成物联网。

三、产品电子代码（EPC）系统基于“RFID”的定义

物联网是在计算机互联网的基础上，利用RFID、无线数据通信等技术，构造一个覆盖世界上万事万物的“Internet of Things”。在这个网络中，物品（商品）能够彼此进行“交流”，而无须人的干预。其实质是利用射频自动识别（RFID）技术，通过计算机互联网实现物品（商品）的自动识别和信息的互联与共享。

四、我国中科院基于传感网的定义

随机分布的集成有传感器、数据处理单元和通信单元的微小节点，通过一定的组织和通信方式构成的网络，是传感网，又叫物联网。

五、电信运营商的定义

中国物联网的整体架构就是基于 RFID、GPRS 和高速宽带的无处不在的网络。现在，运营商的责任在于找到每一个“物”，匹配相应的终端和网络，同时引入产业链上下游，形成完善的物联网体系。

如上所述，目前比较流行的能够被各方所接受的物联网定义为：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、监控和管理的一种网络。其目的是让所有的物品都与网络连接在一起，方便识别和管理。其核心是将互联网扩展应用于我们生活中的各个领域。

第二节 物联网的体系架构

物联网分为软件、硬件两大部分。软件部分即物联网的应用服务层，包括应用、支撑两部分。硬件部分分为网络传输层和感知控制层，分别对应传输部分、感知部分。软件部分大多基于互联网的 TCP/IP 通信协议，而硬件部分则有 GPRS、传感器等通信协议。物联网作为一种形式多样的聚合性复杂系统，涉及信息技术自上而下的每一个层面，其体系架构分为感知层、网络层、应用层，如图 1-1 所示。

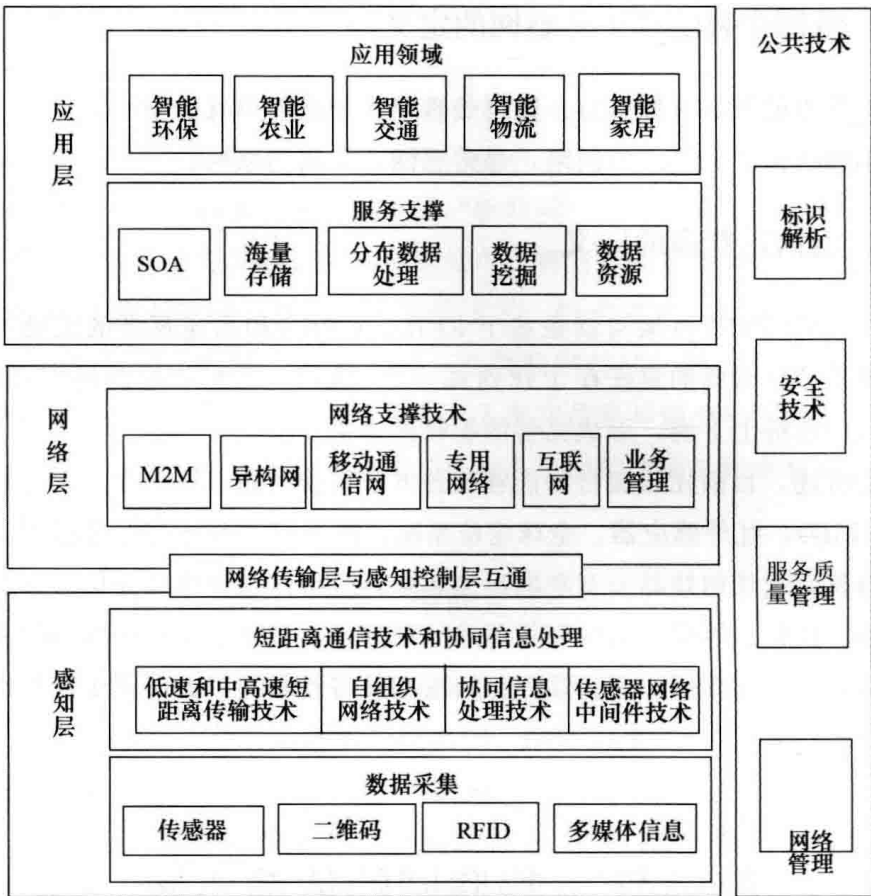


图 1-1 物联网体系架构

其中，公共技术不属于物联网技术的某个特定层面，而是与物联网技术架构的三层都有关系，包括标识解析、安全技术、服务质量管理和网络管理。

感知层由数据采集子层、短距离通信技术和协同信息处理子层组成。数据采集子层通过各种类型的传感器获取物理世界中发生的物理事件和数据信息，如各种物理量、标识、音频和视频多媒体数据。物联网的数据采集涉及传感器、RFID、多媒体信息采集、二维码和实时定位等技术。短距离通信技术和协同信息处理子层将采集到的数据在局部范围内进行协同处理，以提高信息的精度，降低信息冗余度，并通过有自组织能力的短距离传感网接入广域承载网络。感知层中间件技术旨在解决感知层数据与多种应用平台间的兼容性问题。

网络层将来自感知层的各类信息通过基础承载网络传输到应用层，包括移动通信网、互联网、卫星网、广电网、行业专网及形成的融合网络等。根据应

用需求，其可作为透明传送的网络层，也可升级以满足未来不同内容传输的要求。

经过十余年的快速发展，移动通信、互联网等技术已比较成熟，在物联网的早期发展阶段基本能够满足数据传输需要。

应用层主要将物联网技术与行业专业系统相结合，实现广泛的物物互联的应用解决方案，主要包括业务中间件和行业应用领域。其中，服务支撑子层应用于支撑跨行业、跨应用、跨系统的信息协同、共享、互通；应用领域子层包括智能环保、智能农业、智能交通、智能物流、智能家居等行业应用领域。

一、感知层

物联网在传统网络的基础上，从原有网络用户终端向“下”延伸和扩展，扩大通信的对象范围，即通信不再局限于人与人之间的通信，还扩展到了人与现实世界各种物体之间的通信。

物联网感知层解决的就是人类世界和物理世界的的数据获取问题，即获取各类物理量、标识、音频、视频等数据。感知层处于三层架构的最底层，是物联网发展和应用的基础，具有全面感知的核心能力。作为物联网的最基本一层，感知层具有十分重要的作用。

感知层所需要的关键技术包括检测技术、中低速无线或有线短距离传输技术等。具体来说，感知层综合了传感器技术、嵌入式计算技术、智能组网技术、无线通信技术、分布式信息处理技术等，能够通过各类集成化的微型传感器的协作，实时监测、感知和采集各种环境或监测对象的信息。感知层通过嵌入式系统对信息进行处理，并通过随机自组织无线网络以多跳中继方式将所感知到的信息传送到接入层的基站节点和接入网关，最终到达用户终端，从而真正实现“无处不在”的物联网的理念。下面将对传感器技术、RFID技术、二维码技术等关键技术进行简要介绍。

（一）传感器技术

人是通过视觉、嗅觉、听觉及触觉等来感知外界信息的，将感知到的信息输入大脑并由大脑进行分析、判断和处理，大脑再指挥人做出相应的动作，这是人类具有的认识世界和改造世界的最基本的能力。但是通过人的五官感知的

外界信息非常有限。例如，人无法利用触觉来感知超过几十甚至上千度的温度，而且也不能辨别微小的温度变化，这就需要电子设备的帮助。利用电子仪器，特别是利用计算机控制自动化装置来代替人的劳动时，计算机类似于人的大脑，需要“五官”——各类传感器。

在物联网系统中，对各种参数进行信息采集和简单加工处理的设备，被称为物联网传感器。传感器是一种检测装置，能感受到被检测的信息，并将感受到的信息按一定的规律转变成电信号或其他所需形式的信号输出，以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。传感器可以独立存在，也可以与其他设备以一体方式呈现，但无论哪种形式，它都是物联网中的感知和输入部分。传感器采集信息的过程是实现自动监测和自动控制的首要环节。在未来的物联网中，传感器及其组成的传感器网络将在数据采集前端发挥重要的作用。

传感器的分类方法多种多样，比较常用的是按传感器的物理量、工作原理和输出信号三种方式来分类。此外，按照是否具有信息处理能力，传感器可分为一般传感器和智能传感器。按照这种方式来分类的意义越来越重要，特别是在未来的物联网时代。一般传感器采集信息需要计算机进行处理；智能传感器带有微处理器，本身具有采集、处理、交换信息的能力，具备高精度、高可靠性、高稳定性、高信噪比、高分辨率、强自适应性、高性能价格比等优点。

(二) RFID 技术

RFID 是射频识别 (Radio Frequency Identification) 的英文缩写，是 20 世纪 90 年代开始兴起的一种自动识别技术。它利用射频信号通过空间耦合交变磁场实现无接触信息传递并通过所传递的信息实现物体识别。我们既可以将其看成一种设备标识技术，也可以将它归类为短距离传输技术。RFID 是一种能够让物品“开口说话”的技术，也是物联网感知层的一个关键技术。在对物联网的构想中，RFID 标签中存储着规范而具有互用性的信息，可以通过有线或无线的方式，把它们自动采集到中央信息系统，实现物品（商品）的识别，进而通过开放式的计算机网络实现信息交换和共享，对物品进行“透明”管理。

RFID 具有无须接触、自动化程度高、耐用可靠、识别速度快、适应各种

工作环境、可实现高速和多标签同时识别等优势，因此应用领域广泛，如物流和供应链管理、门禁安防系统、道路自动收费、航空行李处理、文档追踪、图书馆管理、电子支付、生产制造和装配、物品监视、汽车监控、动物身份标识等。以简单的 RFID 系统为基础，结合已有的网络技术、数据库技术、中间件技术等，构筑一个由大量联网的读写器和无数移动的标签组成的、比 Internet 更为庞大的物联网，已成为 RFID 技术发展的趋势。

(三) 二维码技术

二维码 (Two-Dimensional Bar Code) 技术是物联网感知层实现过程中最基本和关键的技术之一。它也叫二维条码或二维条形码，是用某种特定的几何形体按一定规律在平面上分布 (黑白相间) 形成的图形来记录信息的应用技术。从技术原理来看，二维码在代码编制上巧妙地利用构成计算机内部逻辑基础的“0”和“1”比特流的概念，使用若干与二进制相对应的几何形体来表示数值信息，并通过图像输入设备或光电扫描设备自动识读以实现信息的自动处理。与一维条形码相比，二维码有着明显的优势，归纳起来主要有以下几个方面：数据容量更大，能够在横向和纵向两个方位同时表达信息，因此能在很小的面积内表达大量的信息；超越字母数字的限制；尺寸相对较小；具有抗损毁能力。此外，二维码还可以引入保密措施，其保密性较一维码要强很多。

二维码可分为堆叠式/行排式二维码和矩阵式二维码。其中，堆叠式/行排式二维码形态上是由多行短截的一维码堆叠而成；矩阵式二维码以矩阵的形式组成，在矩阵相应元素位置上用“点”表示二进制“1”，用“空”表示二进制“0”，并由“点”和“空”的排列组合成代码。二维码具有条码技术的一些共性：每种码制有其特定的字符集；每个字符占有一定的宽度；具有一定的校验功能等。

与 RFID 相比，二维码的最大优势在于制作成本较低，一条二维码的成本仅为几分钱，而 RFID 标签因其芯片成本较高，工艺制造复杂，所以价格较高。RFID 与二维码的功能比较，见表 1-1。

表 1-1 RFID 与二维码的功能比较

功能	RFID	二维码
读取数量	可同时读取多个 RFID 标签	一次只能读取一个二维码
读取条件	RFID 标签不需要光线就可以读取或更新	二维码读取时需要光线
容量	存储资料的容量大	存储资料的容量小
读写能力	电子资料可以重复读写	资料不可更新
读取方便性	RFID 标签可以很薄，放在包里仍可读取资料	二维码读取时需要清晰可见
资料准确性	准确性高	须靠人工读取，有人为疏忽的可能性
坚固性	RFID 标签在严酷、恶劣和肮脏的环境下仍可读取资料	当二维码污损时将无法读取，无持久耐性
高速读取	在高速运动中仍可读取	移动中读取有所限制

(四) ZigBee 技术

ZigBee 是一种短距离、低功耗的无线传输技术，是一种介于无线标记技术和蓝牙之间的技术，它是 IEEE 802.15.4 协议的代名词。ZigBee 采用分组交换和跳频技术，并且可使用三个频段，分别是 2.4GHz 的公共通用频段、欧洲的 868MHz 频段和美国的 915MHz 频段。^① ZigBee 主要应用在短距离范围并且数据传输速率不高的各种电子设备之间。与蓝牙相比，ZigBee 更简单，速率更慢，功率及费用也更低。ZigBee 技术的低速率和通信范围较小的特点，决定了它只适合于承载数据流量较小的业务。

(五) 蓝牙

蓝牙 (Bluetooth) 是一种无线数据与语音通信的开放性全球规范，和 ZigBee 一样，也是一种短距离的无线传输技术。其实质内容是为固定设备或移动设备之间的通信环境建立通用的短距离无线接口，将通信技术与计算机技术进一步结合起来，是各种设备在无电线或电缆相互连接的情况下，能在短距离范围内实现相互通信或操作的一种技术。

蓝牙采用高速跳频 (Frequency Hopping) 和时分多址 (Time Division

^① 边玮. 基于 ZigBee 的多信道干扰避免研究与应用 [D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2017.

Multiple Access, TDMA) 等先进技术, 支持点对点及点对多点通信。其传输频段为全球公共通用的 2.4GHz 频段, 能提供 1Mbit/s 的传输速率和 10m 的传输距离, 并采用时分双工传输方案实现双工传输。

蓝牙除和 ZigBee 一样, 可以全球范围适用、功耗低、成本低、抗干扰能力强外, 还有许多独有的特点。

(1) 同时可传输语音和数据。蓝牙采用电路交换和分组交换技术, 支持异步数据信道、三路语音信道以及异步数据与同步语音同时传输的信道。

(2) 可以建立临时性的对等连接 (Ad-Hoc Connection)。

(3) 开放的接口标准。为了推广蓝牙技术, 蓝牙技术联盟 (Bluetooth SIG) 将蓝牙的技术标准全部公开, 全世界范围内的任何单位和个人都可以进行蓝牙产品的开发, 只要最终通过 Bluetooth SIG 的蓝牙产品兼容性测试, 就可以推向市场。

蓝牙作为一种电缆替代技术, 主要有以下三方面应用: 语音/数据接入、外围设备互连和个人局域网 (PAN)。在物联网的感知层, 主要是用于数据接入。蓝牙技术有效地简化了移动通信终端设备之间的通信, 也成功地简化了设备与因特网之间的通信, 从而使数据传输变得更加迅速、高效, 为无线通信拓宽了道路。

二、网络层

物联网的网络层是在现有网络的基础上建立起来的, 它与目前主流的移动通信网、国际互联网、企业内部网、各类专网等一样, 主要承担着数据传输的功能。

物联网要求网络层能够把感知层感知到的数据无障碍、高可靠性、高安全地进行传送, 它解决的是感知层所获得的数据在一定范围内, 尤其是远距离的传输问题。同时, 物联网的网络层将承担比现有网络更大的数据量和面临更高的服务质量要求, 所以现有网络尚不能满足物联网的需求, 这就意味着物联网需要对现有网络进行融合和扩展, 利用新技术以实现更加广泛和高效的互联功能。

由于物联网的网络层是建立在 Internet 和移动通信网络等现有网络基础之上的, 除具有目前已经比较成熟的技术, 如远距离有线、无线通信技术和网络