

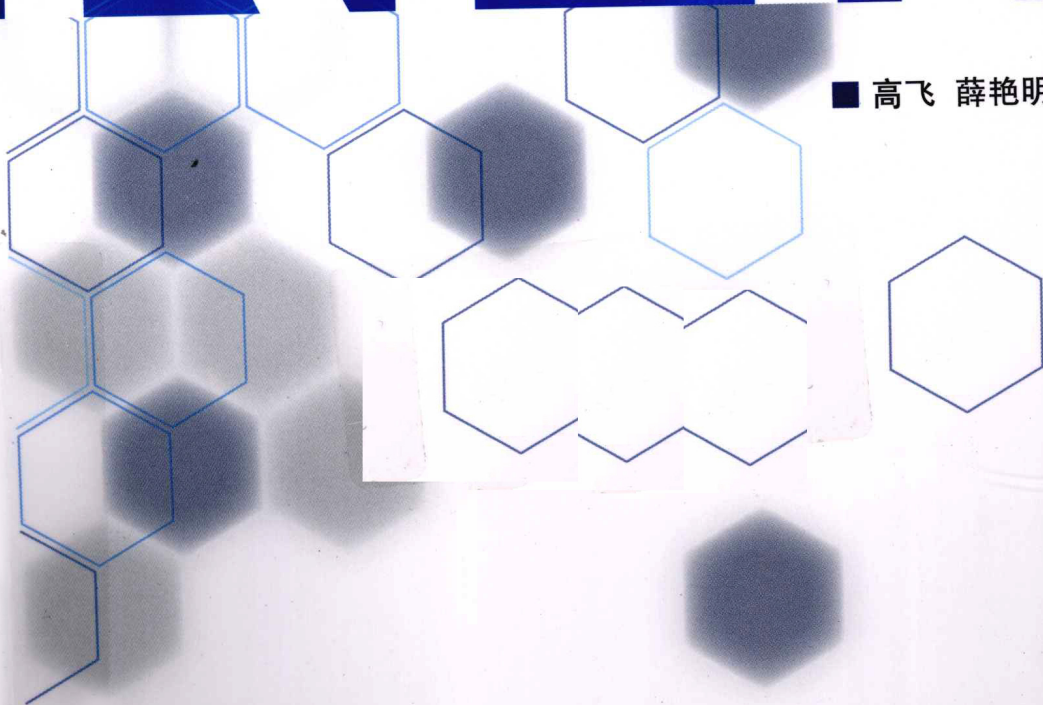
物联网核心技术——

RFID

原理与应用



■ 高飞 薛艳明 王爱华 编著



 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

物联网核心技术

——RFID 原理与应用

高 飞 薛艳明 王爱华 编著

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

物联网核心技术：RFID原理与应用 / 高飞，薛艳明，王爱华编著. -- 北京：人民邮电出版社，2010.12
ISBN 978-7-115-23891-7

I. ①物… II. ①高… ②薛… ③王… III. ①无线电
信号—射频—信号识别—应用—物流 IV. ①
F253.9②TN911.23

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第200321号

内 容 提 要

本书较为系统地介绍了物联网与射频识别 (RFID) 技术的基本概念、基本原理、关键技术和应用实例。本书的主要内容包括物联网的基本概念和典型架构，射频识别技术的工作原理，无线射频识别的频率标准与技术规范，读写器和电子标签的结构，射频识别应用系统，以及 RFID 在通信应用中的相关算法等内容，并着重介绍了 RFID 在交通、安全防伪、供应链管理、公共管理等领域的应用。

本书内容丰富，实用性、专业性强，既可以作为射频识别工程技术人员的参考书，又可以作为高等院校自动识别、通信、电子工程等专业高年级本科生和研究生的教学用书。

物联网核心技术——RFID 原理与应用

-
- ◆ 编 著 高 飞 薛艳明 王爱华
责任编辑 梁 凝
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本：787×1092 1/16
印张：12.25 2010 年 12 月第 1 版
字数：293 千字 2010 年 12 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-23891-7

定价：40.00 元

读者服务热线：(010)67129264 印装质量热线：(010)67129223
反盗版热线：(010)67171154

前 言

物联网的概念是在 1999 年提出的。它的英文全称是 “The Internet of things”，即 “物物相连的互联网”。这有两层含义：第一，物联网的核心和基础仍然是互联网，是在互联网的基础上延伸和扩展的网络；第二，其用户终端扩展到了任何物品与物品之间，进行信息交换和通信。严格来说，物联网的定义是：通过射频识别（RFID）装置、红外感应器、全球定位系统、激光扫描仪等信息传感设备，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。

物联网中非常重要的技术就是 RFID 技术。以简单 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，构建一个有大量联网的阅读器和无数移动的标签组成的，比 Internet 更为庞大的物联网成为 RFID 技术发展的趋势。

RFID（Radio Frequency Identification，射频识别）技术是 20 世纪 90 年代开始兴起的一种自动识别技术，射频识别技术是一项利用射频信号通过空间耦合（交变磁场或电磁场）实现无接触信息传递，并通过所传递的信息达到识别目的的技术。RFID 作为无线通信和自动识别技术的一种完美结合，被认为是 21 世纪最有前途的 IT 技术之一，在生产、物流、交通、公共管理等行业有着广泛的应用前景。

正是由于物联网和射频识别技术是近年来才兴起的技术，虽然针对这个课题已有大量的论文发表，但是系统介绍它们的专业书籍还很少。因此，为了填补这方面参考文献的空白，也为了推动物联网和射频识别技术在中国的发展，我们编写了此书。本书按照从理论到应用的顺序，首先介绍了物联网的概念和典型架构，接下来介绍了射频识别技术的工作原理、技术标准和规范、关键部件、应用系统以及在通信中应用的相关算法等内容，最后通过对其在交通、安全防伪、供应链管理、公共管理等领域的应用案例进行分析，让读者不仅能对相关领域的应用有更深入的认识，还能设计和制造相应的系统，以推动 RFID 技术在中国的发展。

本书共分 3 部分 12 章。第一部分介绍物联网的相关内容：第 1 章是物联网简介；第 2 章介绍物联网的典型架构——EPC。第二部分介绍无线射频识别技术的相关内容：第 3 章介绍无线射频识别技术的工作原理；第 4 章介绍无线射频识别的频率标准与技术规范；第 5 章介绍读写器的基本知识；第 6 章介绍射频电子标签的基本知识；第 7 章介绍 RFID 应用系统；第 8 章介绍 RFID 在通信应用中的相关算法。第三部分介绍 RFID 技术的应用实例：第 9 章介绍 RFID 技术在交通领域的应用实例；第 10 章介绍 RFID 技术在安全防伪领域的应用实例；第 11 章介绍 RFID 技术在供应链管理领域的应用实例；第 12 章介绍 RFID 技术在公共管理领域的应用实例。

本书内容丰富，举例新颖，既可以作为高等院校高年级本科生和研究生的教学用书，也可作为射频识别项目的参考用书。本书内容由浅入深，全面详尽地介绍了射频识别技术的基本原理、系统组成以及数据处理算法，通过对应用实例的分析，让读者可以全面地了解射频

识别技术的应用情况，并为射频识别技术在其他领域的应用提供了参考。

本书是由高飞、薛艳明、王爱华合作编著的。本书在成稿过程中，也得到了很多有关人员的帮助，尤其要感谢孙成、姜芳、胡惠敏等同学在资料收集、部分内容的研究和部分章节的校对方面给予的帮助。

本书所有参考和引用的资料，在各章的参考文献中都已提及，再次感谢所有提供资料的公司和作者。

物联网和 RFID 技术正在飞速发展，各种新的理论和技术与日俱增，本书只是根据个人的理解对现有的资料加以总结和整理，书中难免存在谬误之处，请各位专家和读者给予批评和指正。

编 著 者

目 录

第一部分 物 联 网

第 1 章 物联网简介	3
1.1 物联网的基本概念	3
1.2 物联网的发展	3
1.3 物联网的体系结构	4
1.4 物联网的应用	5
参考文献	7
第 2 章 物联网的典型架构——EPC	8
2.1 EPC 系统概述	8
2.1.1 EPC 的产生与发展	8
2.1.2 EPC 的特点	9
2.2 EPC 系统组成及结构	9
2.2.1 EPC 系统组成	9
2.2.2 EPC 系统结构	11
2.3 EPC 网络技术	12
2.3.1 Savant 系统	12
2.3.2 ONS 解析	15
2.3.3 PML——实体标记语言	17
2.3.4 EPC 信息服务	19
2.3.5 EPC 网络系统模型	20
参考文献	22

第二部分 无线射频识别技术

第 3 章 无线射频识别技术的工作原理	25
3.1 无线射频识别的基本概念与发展历史	25
3.1.1 无线射频识别技术的基本概念	25
3.1.2 无线射频识别技术的发展历史	25

3.1.3	无线射频识别技术的不同分类方法	25
3.1.4	射频识别市场发展现状与预测	26
3.2	无线射频识别技术的基本工作流程	27
3.3	无线射频识别工作的物理学原理	28
3.3.1	相关的电磁场基本理论	28
3.3.2	能量耦合和数据传输	28
3.4	无线射频识别的数据传输协议与安全性	31
3.4.1	数据传输协议与方式	31
3.4.2	数据的安全性	34
3.5	数据的完整性	37
3.5.1	校验方法	38
3.5.2	干扰与抗干扰	39
3.5.3	识读率与误码率	39
	参考文献	41
第 4 章	无线射频识别的频率标准与技术规范	42
4.1	RFID 标准简介	42
4.1.1	RFID 标准的推动力	42
4.1.2	RFID 标准化组织	43
4.2	无线射频识别的频率标准	44
4.2.1	频率标准许可	44
4.2.2	不同电磁波频段	45
4.2.3	射频识别系统的工作频率与应用范围	45
4.2.4	射频系统工作频段解释	46
4.2.5	电感耦合射频识别系统的使用频率选择	48
4.3	无线射频识别的应用行业标准	49
4.3.1	ISO TC23/SCI9 WG3 应用于动物识别的标准	49
4.3.2	ISO TC204 应用于道路交通信息学的标准	49
4.3.3	ISO TC104 应用于集装箱运输的标准	50
4.3.4	ISO TC122 应用于包装的标准	50
4.3.5	ISO/IEC JTC1 SC31 自动识别应用标准	50
4.3.6	ISO/IEC 18000 项目管理的无线射频识别-非接触接口	51
4.3.7	SCI7/WG8 识别卡非接触式集成电路	51
4.4	RFID 标准体系结构	51
	参考文献	54
第 5 章	读写器	55
5.1	读写器概述	55
5.1.1	读写器的作用	55

5.1.2 读写器的基本构成	56
5.2 读写器的形式	60
5.2.1 读写器的分类	60
5.2.2 读写器的选择	63
5.3 读写器天线	63
5.3.1 读写器天线简介	63
5.3.2 天线的结构	64
5.4 读写器技术的发展趋势	65
参考文献	67
第6章 射频电子标签	68
6.1 射频电子标签概述	68
6.2 电子标签的种类	68
6.3 双频标签与双频系统	70
6.3.1 有源系统	70
6.3.2 无源系统	71
6.4 电子标签的封装	72
6.4.1 标签的封装形式	72
6.4.2 标签的封装加工	74
6.5 电子标签的天线	75
6.6 电子标签的发展趋势	76
参考文献	78
第7章 RFID应用系统	79
7.1 无线射频识别技术的基本技术参数	79
7.2 RFID系统的选择标准与性能评估	79
7.3 无线射频识别技术的运行环境与接口方式	81
7.3.1 无线射频识别系统的运行环境	81
7.3.2 接口方式	81
7.3.3 接口软件	83
7.4 无线射频识别技术应用系统简介	83
7.4.1 无线射频识别系统概述	83
7.4.2 典型的RFID应用系统——智能车辆自动称重系统	88
7.5 不同的读头信息处理系统模型	89
7.5.1 多读头单工作站网络系统模型	90
7.5.2 单读头多工作站网络系统模型	90
7.5.3 多读头多工作站远程网络系统模型	91
7.6 RFID系统中的隐私问题及策略	92
7.6.1 RFID系统中的隐私问题及策略	92

7.6.2 隐私安全对电子标签应用前景的影响	93
7.7 RFID 应用系统的发展趋势	94
参考文献	95
第 8 章 RFID 在通信应用中的相关算法	96
8.1 RFID 防标签碰撞算法的研究	96
8.1.1 防碰撞技术简介	96
8.1.2 ALOHA 系列算法	97
8.1.3 二进制防碰撞算法	100
8.2 LZSS 压缩算法在 RFID 标签中的应用	102
8.2.1 常见文本压缩算法的比较	102
8.2.2 LZSS 算法简介	104
8.2.3 LZSS 编码算法在电子标签中的应用	105
8.3 Hash 函数和混沌算法在 RFID 认证协议中的应用	107
8.3.1 RFID 认证协议	107
8.3.2 Hash 系列认证协议	108
8.3.3 基于混沌算法的 RFID 认证协议	110
参考文献	112

第三部分 应用实例

第 9 章 交通领域	115
9.1 远距离射频识别系统	115
9.1.1 远距离射频识别系统的基本原理	115
9.1.2 技术特性	116
9.1.3 广泛的应用领域	116
9.2 电子车牌系统	117
9.2.1 概述	117
9.2.2 电子车牌系统构成	118
9.2.3 电子车牌系统应用与前景展望	119
9.3 高速公路不停车收费系统	120
9.3.1 高速公路不停车收费系统架构	120
9.3.2 高速公路不停车收费系统发展前景	123
9.4 智能停车场系统	124
9.4.1 智能停车场系统架构	124
9.4.2 智能停车场系统功能	125
9.4.3 智能停车场系统详细设计	126
9.5 智能称重管理系统	128

9.5.1	智能称重管理系统总体结构	129
9.5.2	智能称重管理系统的功能及实现	130
9.6	城市智能公共交通系统	132
9.6.1	国内外城市智能公共交通系统现状	132
9.6.2	城市公共汽车自主定位系统	133
9.6.3	城市智能公共交通系统设计	133
9.6.4	城市智能公共交通系统应用前景	134
	参考文献	136
第 10 章	安全防伪	137
10.1	数字化安防简介	137
10.1.1	数字化安防的基本概念	137
10.1.2	安防科技面临的挑战	137
10.1.3	RFID 安防解决方案	138
10.1.4	数字化安防的意义	141
10.2	门禁系统	141
10.2.1	概述	141
10.2.2	门禁系统构成	142
10.2.3	门禁系统技术原理及标准选择	142
10.2.4	门禁系统的特点	143
10.3	电子门票系统	144
10.3.1	采用电子门票的必要性	144
10.3.2	电子门票系统功能	145
10.3.3	电子门票系统构成	147
10.3.4	电子门票系统的安全与扩展	149
10.4	汽车防盗系统	150
10.4.1	概述	150
10.4.2	基于 RFID 技术的车辆自动识别系统	150
10.4.3	基于 AVI 和 GPS 的防盗网络	151
10.5	酒类防伪系统	152
10.5.1	概述	152
10.5.2	酒类防伪系统构成	154
10.5.3	酒类防伪系统设计	155
	参考文献	158
第 11 章	供应链管理	159
11.1	供应链管理应用概述	159
11.1.1	供应链及供应链管理的基本概念	159
11.1.2	RFID 在供应链管理中的优势	160

11.1.3 RFID 在供应链管理中的应用实例	161
11.2 物流配送环节	163
11.2.1 物流配送应用简介	163
11.2.2 物流配送解决方案	163
11.2.3 物流配送应用实例	166
11.3 仓库管理环节	168
11.3.1 仓库管理应用简介	168
11.3.2 仓库管理解决方案	169
11.3.3 仓库管理应用实例	170
11.4 运输管理环节	171
11.4.1 集装箱运输管理应用简介	171
11.4.2 集装箱运输管理应用实例	172
参考文献	174
第 12 章 公共管理	175
12.1 RFID 在图书馆中的应用	175
12.1.1 RFID 在图书馆中的应用概述	175
12.1.2 基于 RFID 的图书馆解决方案	177
12.1.3 RFID 在图书馆中的应用实例	179
12.2 RFID 在医疗行业中的应用	181
12.2.1 RFID 在医疗行业中的应用概述	181
12.2.2 RFID 在医院管理中的应用方法	181
12.3 RFID 在学生管理中的应用	183
参考文献	186

第一部分

物联网

第 1 章 物联网简介

1.1 物联网的基本概念

物联网的概念是在 1999 年 10 月由美国麻省理工学院（MIT）的教授率先提出来的，它是在 Internet 基础上，利用无线射频识别（RFID）、无线数据通信等技术构造的一个实现全球物品信息实时共享的网络。在这个网络中，物品能够彼此进行“交流”，而无需人工干预。其实质是利用无线射频识别技术，通过计算机互联网实现物品的自动识别和信息的互联与共享。

在物联网的构想中，RFID 标签中存储着规范而具有互用性的信息，通过无线数据通信网络把它们自动采集到中央信息系统，实现物品的识别，进而通过开放性的计算机网络实现信息交换和共享，实现对物品的“透明”管理。

物联网展示了一个在全球范围内对每个产品跟踪的全新理念，一个带有 RFID 电子标签的产品，其电子标签中存有这个产品的唯一编码，当其通过一个阅读器时，这个产品的信息就会通过互联网传输到指定的计算机内，这是一个全自动的产品流动检测网络。物联网将在全球范围内从根本上改变对产品生产、运输、仓储、销售各环节物品流动监控的管理水平。

1.2 物联网的发展

物联网是在互联网的基础上，利用信息技术实现物体自动识别和信息共享的网络系统，其产生是信息社会及经济贸易发展的必然结果，是一项革命性的新技术，被预言为继计算机、互联网与移动通信网之后的世界信息产业第三次浪潮。

目前，最具代表性的物联网架构是欧美支持的 EPC（Electronic Product Code，电子产品编码）架构。EPC 的概念是由 MIT 的 Sanjey Sarma 和 David Brock 两位教授于 1999 年 10 月提出的，其核心思想是为每一个产品提供唯一的电子标识符；通过射频识别技术完成数据自动采集；电子标签上只存储 EPC 码，而对应于 EPC 码的解析是通过与互联网相连的服务器来完成的。2003 年 11 月，负责国际商用条码的国际组织——国际物品编码协会（EAN）和美国统一代码协会（UCC）联合收购了 EPC 技术，并成立了一个新的组织 EPC-global，以推动 EPC 技术的商业应用。

在提出电子产品编码的概念后，国际物联网技术的标准化、研发、应用测试工作进展迅速。2004 年 6 月 22 日，EPC-global 完成了第一个产品电子代码技术的全球标准，宣告了第

一代标签标准的完成，并在部分应用领域进行测试。

在欧洲，物联网的发展也得到了各国的支持，欧洲自 2006 年 9 月开始采用 EPC 标准。此外，欧盟在政策层面上，积极推动了物联网及其核心技术 RFID 的发展，将其纳入到正在实施的、预算高达 500 亿欧元的欧盟第七个科技框架计划（2007—2013 年）中。

除此之外，由日本提出的 UID（Ubiquitous Identification）标准也是国际上具有较大影响力的 RFID 和物联网的标准之一。

我国对物联网信息系统的研究较欧美和日本要晚一些。

2004 年 1 月，全球电子产品代码管理中心与中国物品编码中心正式签署了中国大陆唯一授权代理机构，标志着中国正式开始物联网信息系统的管理与开发工作。按照工作计划，EPC-global China 将在 EPC 注册、技术研究、标准制定、推广应用和教育培训等方面全面与国际接轨。

2004 年 4 月 22 日，EPC-global China 正式成立，并成功举行“首届中国国际 EPC 与物联网高层论坛”，对我国 EPC 技术的发展和运用有着不同寻常的意义，不但从组织机构上保障了 EPC-global 在我国的整体有效推进，同时标志着我国在及时跟踪国际物联网技术的发展动态，研究开发物联网技术的相关产品，推进物联网技术的标准化，推广物联网技术的应用等方面的工作的全面启动。

我国目前在邮政、航空、仓储、烟草、车辆识别，以及烟酒，医药防伪上也开始逐步采用 RFID 技术。RFID 项目也被纳入了国家“863”计划。2006 年 6 月 9 日，国家科技部联合十五部委共同编写的《中国射频识别（RFID）技术政策白皮书》正式发布，重大的 RFID 项目有 20 项，经费达到 1.28 亿元人民币，这些项目中的部分技术将为物联网的发展奠定一定的基础。

物联网作为一个智能项目，世界各国都极为重视。相信当“物联网”的构想成为现实的时候，世界上的万事万物无论何时、何地都能够彼此相关，互相“交流”，整个世界的面貌就会为之焕然一新。更为重要的是“物联网”将给人类与事物之间的关系带来深刻的变化，使人们从许多简单而枯燥的劳动中解脱出来，并赋予人类更大的力量，去探索和开发“物的世界”。

1.3 物联网的体系结构

采用 RFID 技术的 Internet 把世界上所有的物品联系在一起，而且彼此之间可以“交流”，从而组成一个全球性实物互相联系的“物联网”。

典型的物联网结构示意图如图 1.1 所示，大致可以分为 5 部分，即电子标签、阅读器、物联网中间件（Internet of Things Middle Ware, IOT-MW）、物联网名称解析服务（Internet of Things Name Service, IOT-NS）和物联网信息发布服务（Internet of Things Information Service, IOT-IS）。

在物联网系统中，每一个物品都有一个唯一的 RFID 码，存储于该物品上的电子标签中。同时，这个 RFID 码所对应的详细信息和属性（包含名称和类别、生产日期、保质期等）被存储在物联网信息发布服务（IOT-IS）器中。阅读器对电子标签进行读取后，将读取到的 RFID

码发送给物联网中间件 (IOT-MW)。中间件服务器通过 Internet 向相关的物联网名称解析服务 (IOT-NS) 器发出一条查询指令, IOT-NS 服务器收到查询指令后, 根据规则查得与之相匹配的地址信息, 就像 Internet 中的 DNS (Domain Name Sever, 域名服务器) 的功能一样, 同时引导中间件服务器访问存储该物品详细信息的物联网信息发布服务 (IOT-IS) 器。IOT-IS 接收到查询信息后, 就将物品的详细信息以网页的形式发送给中间件, 从而获得与物品对应的详细信息。

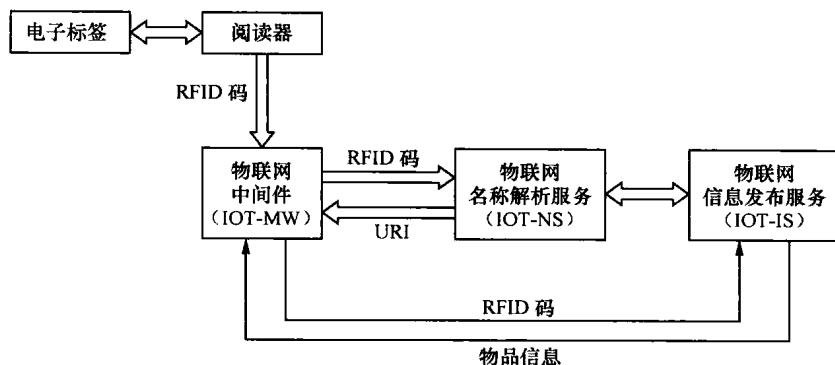


图 1.1 物联网结构示意图

1.4 物联网的应用

早在伊拉克战争中, 美军就开始了物联网技术的最初应用, 其利用物联网技术建设的可视化后勤网络, 使美军的后勤补给能力变得空前强大。美军将 RFID 标签贴于仓库内的托盘、包装箱或者元件上, 标签内包含元件规格、序列号等信息, 当物资通过安装在预置地点的 RFID 阅读器时, 便可以完成库存信息的自动盘点, 无线局域网将数据传输到后台管理信息系统中共享, 指挥中心便能够得到实时的物资储存信息。整个过程不再需要保管员使用手持条形码扫描仪对仓储物资进行逐个扫描, 大大加快了物资在物流供应链中的流通速度, 减少了人工操作失误, 降低了管理成本, 同时美军可以轻松掌握所有后勤补给的实时信息。英军也利用这个网络, 让高达 90% 的后勤物资能够有效地运抵前线。

目前, 物联网技术的应用领域已十分广泛, 有关产品常用在以下一些方面。

(1) 生态环境的监测和保护。具体的内容有: 生物环境适应性跟踪; 河流沿线分区域水位监测及相关水资源被污染的信息监控; 山区泥石流、滑坡等自然灾害容易发生地方的提前预警; 重点保护林区监控内部火险情况和火势大小等。

(2) 安全检测与监控。在一些危险的工业环境如井矿、核电厂等, 工作人员可以通过传感网络实施安全监测。此外, 在桥梁、高速铁路等重要基础设施中引入传感网络感知振动频率、湿度等信息, 可以提前对不安全因素进行预警。

(3) 物流管理和配送。随着现代社会的发展, 物流和配送业的重要性被提高到了一个新的水平。通过在物流商品中引入传感节点, 可以从采购、生产制造、包装、装卸、仓库、运输、配送、分销、销售到服务的供应链上的每一个环节做到精确了解和掌握。

(4) 智能化电网，包括远程抄表、负荷优化、能源管理。美国最早提出了智能电网，甚至有一个城市专门做了一个电力网格——Smart Grids。

(5) 智能交通，包括导航定位、e Call 等。最典型的是欧洲的 e Call，用于保护车辆，在危机情况下出现任何故障，系统都会自动感知、自动呼救，以拯救乘客或修复车辆。

另外，还可以在市政设施管理（路灯管理、城市数字网格）、数字家庭（智能家居、遥控家电、家庭安保）、远程医疗（残疾、老人、诊断、监护）、绿色农业（灾害监测、施肥）、电子收款（Epos）等领域应用，发展前景将十分广阔。

业内专家指出，物联网把我们的生活拟人化了，万物成为了人的同类。在这个物物相连的世界中，物品能够彼此进行交流，而无需人工干预。可以说，物联网描述的是充满智能化的世界。在物联网的世界里，物物相连，天罗地网。物联网用途广泛，遍及智能交通、环境保护、政府工作、公共安全、平安家居、智能消防、工业检测等多个领域。有研究机构预计，10 年内物联网就可能大规模普及，这一技术将会催生一个上万亿元规模的高科技市场，其产业规模要比互联网大 30 倍。