



物联网技术导论

黄东军 主编

- ◎ 定位准确，从专业和技术上介绍物联网系统
- ◎ 内容新颖，涵盖物联网工程专业的核心技术
- ◎ 资源丰富，附有习题和参考文献，并配有教学课件



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

国家级特色专业（物联网工程）规划教材

物联网技术导论

黄东军 主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是依托中南大学国家级特色专业（物联网工程）的建设，结合国内物联网工程专业的教学情况编写的。本书定位于技术导论，具有比较专业的内容和紧凑的结构，紧密联系了物联网工程专业的专业课程设置。全书共分为8章，包括物联网概述、传感器及其应用、近距离无线通信技术、射频识别技术、无线传感器网络、物联网定位技术、物联网的计算技术、物联网安全技术等内容，这些内容都是物联网的核心技术。

本书可作为普通高等学校物联网工程专业的教材，也可供从事物联网及其相关专业的人士阅读。

本书配有教学用的PPT课件，读者可登录华信教育资源网（www.hxedu.com.cn）免费注册后下载。

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

物联网技术导论/黄东军主编. —北京：电子工业出版社，2012.9

国家级特色专业（物联网工程）规划教材

ISBN 978-7-121-18010-1

I. ①物… II. ①黄… III. ①互联网络—应用—高等学校—教材 ②智能技术—应用—高等学校—教材
IV. ①TP393.4 ②TP18

中国版本图书馆CIP数据核字（2012）第196978号

责任编辑：田宏峰

印 刷：北京京师印务有限公司
装 订：

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：787×980 1/16 印张：15.75 字数：347千字

印 次：2012年9月第1次印刷

印 数：4 000册 定价：39.00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。

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

服务热线：（010）88258888。

出版说明

物联网是通过射频识别 (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相连接,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概念。物联网是继计算机、互联网和移动通信之后的又一次信息产业的革命性发展。物联网产业具有产业链长、涉及多个产业群的特点,其应用范围几乎覆盖了各行各业。

2009年8月,物联网被正式列为国家五大新兴战略性产业之一,写入“政府工作报告”,物联网在中国受到了全社会极大的关注。

2010年年初,教育部下发了高校设置物联网专业申报通知,截至目前,我国已经有100多所高校开设了物联网工程专业,其中有包括中南大学在内的9所高校的物联网工程专业于2011年被批准为国家级特色专业建设点。

从2010年起,部分学校的物联网工程专业已经开始招生,目前已经进入专业课程的学习阶段,因此物联网工程专业的专业课教材建设迫在眉睫。

由于物联网所涉及的领域非常广泛,很多专业课涉及其他专业,但是原有的专业课的教材无法满足物联网工程专业的教学需求,又由于不同院校的物联网专业的特色有较大的差异,因此很有必要出版一套适用于不同院校的物联网专业的教材。

为此,电子工业出版社依托国内高校物联网工程专业的建设情况,策划出版了“国家级特色专业(物联网工程)规划教材”,以满足国内高校物联网工程的专业课教学的需求。

本套教材紧密结合物联网专业的教学大纲,以满足教学需求为目的,以充分体现物联网工程的专业特点为原则来进行编写。今后,我们将继续和国内高校物联网专业的一线教师合作,以完善我国物联网工程专业的专业课程教材的建设。

电子工业出版社

教材编委会

编委会主任：施荣华 黄东军

编委会成员：（按姓氏字母拼音顺序排序）

董 健 高建良 桂劲松 贺建飏
黄东军 刘连浩 刘少强 刘伟荣
鲁鸣鸣 施荣华 张士庚

鉴于专业人才培养对包括物联网在内的战略性新兴产业发展的重要性，教育部在2010年3月，发出了《关于战略性新兴产业相关专业申报和审批工作的通知》（以下简称《通知》）。《通知》指出，“国家决定大力发展互联网、绿色经济、低碳经济、环保技术、生物医药等关系到未来环境和人类生活的一些重要战略性新兴产业”，而“加大战略性新兴产业人才培养力度，支持和鼓励有条件的高等学校从本科教育入手，加速教学内容、课程体系、教学方法和管理体制与运行机制的改革和创新，积极培养战略性新兴产业相关专业的人才”，是“满足国家战略性新兴产业发展对高素质人才的迫切需求”。

《通知》发出后，全国有近300所高校提出了申报物联网工程专业的申请。2010年7月12日，教育部公布了高等学校战略性新兴产业相关本科专业名单，与物联网相关的专业有37个，其中物联网工程专业30个，传感网技术专业5个，还有2个智能电网信息工程专业。2011年，教育部又审批同意了25个物联网工程专业和2个传感网技术专业。由于对人才需求的预期不断提升，2012年教育部再次批准了80所高校开设物联网工程专业。这样，目前全国共有120多个物联网相关专业。实际上，部分高校从2010级本科生中招收了物联网专业的学生，这批学生将在2014年毕业，是我国首届物联网专业毕业生。

办好物联网工程专业，需要从教师、教材和教学条件三个方面入手。就教材来看，目前国内部分出版机构正在积极组织力量编写物联网工程专业的系列教材，先期推出了一些“物联网导论”教科书。但是，这些导论教材尽管在可读性、资料性、普及性等方面有其可取之处，也普遍存在体系庞杂、内容松散、专业性不强等问题，并不适合作高等学校的导论教材。针对这一情况，我们组织教师编写了这本《物联网技术导论》。编写组成员在物联网领域都从事过研究与开发工作，教学经验也比较丰富。

这本教材之所以取名为技术导论，是因为它重点介绍物联网的相关核心技术，并且具有较强的专业性。这种定位有别于上述以大众科普为目标的物联网导论教材。我们认为，对物联网专业的学生来说，导论是第一门专业基础课，必须在规定的课时内完成，有其特定的教学目标，因此，导论教材必须具有比较专业的内容和紧凑的结构，必须以帮助学生建立起对专业的框架性认知为目标，要紧密联系专业课程设置的实际，反映专

业教学内容和培养规格的要求。正是基于这一判断,我们确定了以专业核心知识为基本线索的编写框架。本书的特点在于,适合作为物联网工程专业的第一门专业课教材,它把全面介绍物联网的核心技术和专业要求放在首位,使学生在学完这门课程之后,能够对自己所学专业的知识体系有一个全面了解,并帮助学生形成专业兴趣,树立专业信心和自豪感。

第1章为物联网概述,介绍物联网的概念模型和发展历史,重点描述物联网的系统结构;采用四层的观点,自底向上阐述物联网感知层、传输层、支撑层(或服务层)和应用层的概念及其关键技术;本章用较大篇幅描述物联网的应用,试图激发学生的学习兴趣,并启发他们的创造性思维。

第2章为传感器及其应用,介绍传感器的概念和发展历史,给出传感器的分类,重点介绍传感器的应用方法,最后描述传感器的发展方向。本章阐述传感器与物联网的关系,指出在物联网产业链中,作为“金字塔”的塔座,传感器是整个链条需求总量最大的基础环节。需要注意的是,传感器应用方法部分技术性比较强,从传感器与系统接口的角度给出大量的系统框图,希望对学生有一定的“热身”作用。

第3章为近距离无线通信技术,首先介绍无线通信系统的一般概念及其发展历程,并对射频通信概念、射频通信系统的频段划分、使用情况及工作特点进行介绍。本章重点介绍典型近距离无线通信技术的特点及发展概况,并对近场通信(Near Field Communications, NFC)技术进行详细阐述,包括其工作原理、技术标准、技术特点、应用范围等。近距离无线通信技术是物联网体系结构中的重要基础性技术,对物联网终端组网、物联网终端网络与广域网互连互通都是至关重要的。

第4章为射频识别(RFID)技术,从自动识别技术的起源和发展开始讲起,包括条码、磁卡、IC卡等与RFID类似但有本质区别的技术,试图给出一个更广阔的知识背景;本章重点介绍RFID技术的基本工作原理、系统构成、技术特点、技术标准和应用场景,最后阐述RFID技术的发展前景。RFID不等于物联网,但是,没有RFID,物联网也发展不起来,事实上,物联网就是从RFID走来的。

第5章为无线传感器网络(WSN),介绍WSN的概念与发展历史,阐述WSN的特点和优势;重点介绍WSN的系统结构,从节点、软件、拓扑和协议4个方面,描述了WSN的系统构成;本章给出的应用场景比较生动,读者从中能够获得很大的启发。WSN是物联网的主要组成部分,物联网的全面感知能力和可靠的数据传输,都与WSN技术密不可分。

第6章为物联网的定位技术,介绍定位技术的起源与发展历史,阐述定位对物联网的意义和作用,描述定位技术在军事、灾害救援、智能交通、智能物流等领域的应用,并给出“基于位置的服务”这一重要课题的含义。在很多物联网应用中,“位置”信息非常重要,很多情况下,传感器采集的信息必须含有采集点的位置描述,否则这种信息

就会失去应用价值。物联网定位将会发展成为一门相对独立的技术，物联网专业的学生和研究人员必须予以高度重视。

第7章为物联网的计算技术，介绍云计算、Web技术、嵌入式系统和中间件技术，这几项技术都与物联网密切相关。云计算是从网络计算发展而来的，物联网的出现必将深化云计算的内涵。物联网是互联网的延伸和深化，互联网的主流技术Web对物联网同样重要。嵌入式系统和中间件技术对物联网也非常关键，是实现物联网工程的手段和基本途径。物联网需要各类计算技术的支持，反过来，物联网的特殊性也对计算技术提出了新的要求，由此促进计算技术的发展，催生新型计算模式的诞生。

第8章为物联网的安全技术，本章主要针对物联网中的安全问题和安全技术展开讨论，分析物联网多个层次存在的安全问题和相应技术方案，重点针对物联网感知层RFID系统和无线传感器网络中的安全问题展开详细讨论，对两者中存在的安全问题和现有解决方案进行归类介绍，并指出相应安全技术的不足和发展趋势。网络与信息安全问题是不能忽视的，谁忽视谁就要付出沉重的代价，更何况，物联网所面临的安全挑战远大于传统网络系统。

总体上，本书的内容安排体现了我们所理解的物联网工程专业在知识系统结构上的要求。

本书在编写过程中力求语言通俗易懂，行文简洁明了，使其具有较高的可读性。本书可在16个课时内讲授完毕，每章2个课时，比较符合目前高校专业导论课程的时间安排。同时，为了帮助教师和学生使用好本教材，我们在每一章都给出一定数量的思考题与练习题，列出撰写本书过程中用到的参考文献，此外，讲课用的PPT文件也能从出版社的资源网（www.hxedu.com.cn 华信教育资源网）上下载。

本书由中南大学信息科学与工程学院计算机工程系黄东军教授主持编写。由主编提出写作框架和写作要求，同时对各章初稿进行审阅并提出修改意见，最后进行统稿和整合。除第1章由主编撰写外，刘连浩教授编写第2章，董健博士编写第3章，高建良博士编写第4章，刘伟荣副教授编写第5章，张士庚博士编写第6章，王斌副教授编写第7章，王伟平教授编写第8章。研究生符晓娟、戴思等人为本书的资料收集、录入、排版、绘图等做了大量工作。在此，谨对上述人士表示诚挚的谢意。

由于作者水平有限，本书难免存在缺陷与遗漏，敬请广大读者批评指正。

黄东军

2012年6月28日于中南大学

目 录

CONTENTS

第 1 章 物联网概述	1
1.1 物联网的概念.....	2
1.1.1 物联网的定义.....	2
1.1.2 物联网的发展过程.....	4
1.1.3 物联网的特征.....	6
1.1.4 深入理解物联网时应注意的问题.....	6
1.2 物联网的系统结构.....	7
1.2.1 感知层.....	8
1.2.2 传输层.....	9
1.2.3 支撑层.....	9
1.2.4 应用层.....	9
1.3 物联网的应用.....	10
1.3.1 物联网的应用模式.....	11
1.3.2 物联网的典型应用.....	11
1.4 物联网的关键技术.....	20
1.4.1 感知技术.....	20
1.4.2 传输技术.....	22
1.4.3 支撑技术.....	23
1.4.4 应用技术.....	24
1.5 物联网的发展前景.....	25
思考与练习.....	27
参考文献.....	27
第 2 章 传感器及其应用	29
2.1 传感器概述.....	30
2.2 传感器分类.....	31
2.2.1 按传感器的工作原理分类.....	31

2.2.2	按传感器的用途分类	31
2.2.3	按传感器的输出信号分类	33
2.3	传感器的应用	34
2.3.1	一线总线接口传感器应用	34
2.3.2	I ² C 接口 ^[22,23] 传感温湿度传感器 SHT10	38
2.3.3	SPI 总线接口传感器温度传感器 TC77 ^[24]	38
2.3.4	RS 系列接口传感器应用	40
2.3.5	RJ-45 接口传感器应用	42
2.3.6	红外热释电传感器原理与应用	42
2.3.7	气体传感器的原理与应用	45
2.3.8	可见光光照度传感器原理与应用	47
2.3.9	红外对射传感器原理与应用	49
2.4	传感器的发展趋势	50
2.4.1	改善传感器性能的技术途径	50
2.4.2	传感器的发展方向	52
2.5	本章小结	56
	思考与练习	56
	参考文献	56
第 3 章	近距离无线通信技术	59
3.1	无线通信系统概述	60
3.2	无线与移动通信的概念	60
3.2.1	无线与移动通信的发展历程	61
3.2.2	宽带无线接入技术	63
3.3	射频通信	63
3.3.1	射频的概念	63
3.3.2	频谱的划分	64
3.3.3	RFID 使用的频段	67
3.4	微波通信	69
3.5	近距离无线通信技术概览	70
3.5.1	蓝牙	71
3.5.2	Wibree	75
3.5.3	Wi-Fi	75
3.5.4	WiGig (60 GHz)	76
3.5.5	IrDA	77
3.5.6	ZigBee	78

3.5.7	NFC	79
3.5.8	UWB	80
3.5.9	Z-Wave	82
3.5.10	小结	82
3.6	近场通信 (NFC)	83
3.6.1	NFC 发展概述	83
3.6.2	NFC 的工作原理	85
3.6.3	NFC 技术标准	86
3.6.4	NFC 技术的特点	86
3.6.5	NFC 技术的应用	88
3.7	本章小结	90
	思考与练习	90
	参考文献	91
第 4 章	射频识别技术	93
4.1	自动识别技术概述	94
4.1.1	自动识别技术的基本概念	94
4.1.2	自动识别技术的种类与特征比较	95
4.1.3	常见的自动识别技术及特征比较	96
4.2	RFID 的基本原理	99
4.2.1	RFID 的工作原理	99
4.2.2	RFID 技术的特点	102
4.2.3	RFID 技术标准	103
4.3	RFID 技术的应用	104
4.3.1	RFID 技术应用背景	104
4.3.2	RFID 技术的重要参数	105
4.3.3	RFID 技术的典型应用	106
4.3.4	RFID 技术的应用前景	107
4.4	RFID 技术的研究方向	109
4.5	本章小结	111
	思考与练习	111
	参考文献	112
第 5 章	无线传感器网络	115
5.1	无线传感器网络概述	116
5.1.1	WSN 对物联网的支撑作用	116
5.1.2	WSN 的概念	117

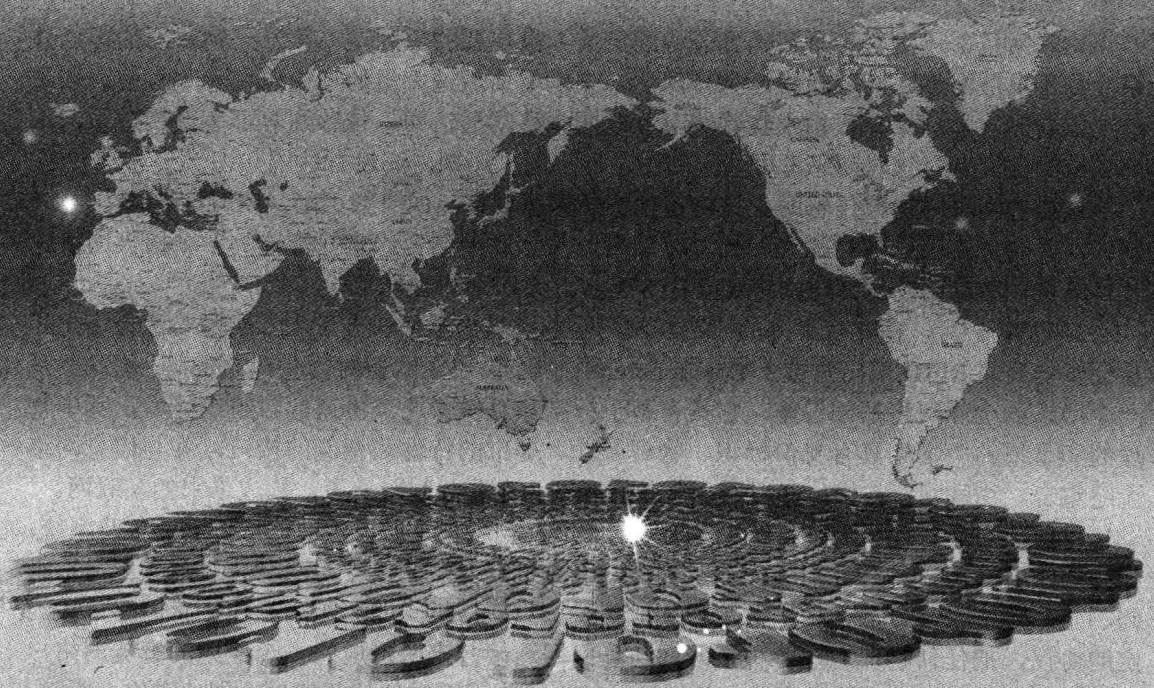
5.1.3	WSN 的发展历史	118
5.1.4	WSN 的特点和优点	120
5.1.5	WSN 的发展趋势	121
5.2	无线传感器网络的系统结构	123
5.2.1	节点结构	123
5.2.2	软件结构	124
5.2.3	拓扑结构	126
5.2.4	协议结构	128
5.3	无线传感器网络的应用	131
5.3.1	军事领域	131
5.3.2	环境观测和预报领域	133
5.3.3	空间、海洋探索	134
5.3.4	工业领域	135
5.3.5	农业领域	136
5.3.6	医疗健康与监护领域	138
5.3.7	建筑领域	139
5.3.8	其他领域	140
5.4	无线传感器网络的研究方向	141
5.5	本章小结	142
	思考与练习	143
	参考文献	143
第 6 章	物联网的定位技术	147
6.1	定位的概念与发展历史	148
6.1.1	定位的概念	148
6.1.2	定位技术发展简史	148
6.2	定位技术在物联网中的应用	150
6.2.1	定位技术在军事领域中的应用	150
6.2.2	定位技术在灾难救援中的应用	151
6.2.3	定位技术在智能交通中的应用	152
6.2.4	定位技术在智能物流中的应用	153
6.2.5	基于位置的服务	154
6.3	卫星导航系统	154
6.3.1	主要的几种卫星导航定位系统	154
6.3.2	GPS 全球定位系统简介	155
6.3.3	北斗卫星导航系统简介	157

6.3.4	北斗定位系统与 GPS 定位系统的比较	159
6.4	蜂窝系统定位技术	159
6.4.1	蜂窝系统定位技术简介	159
6.4.2	蜂窝系统常用定位技术	160
6.5	RFID 定位技术	164
6.5.1	基于 RFID 标签的定位技术	164
6.5.2	基于 RFID 读写器的定位技术	165
6.6	无线传感器网络定位技术	165
6.6.1	无线传感器网络定位技术的研究内容	166
6.6.2	典型无线传感器网络定位算法	167
6.7	定位技术的发展前景	168
6.8	本章小结	169
	思考与练习	169
	参考文献	169
第 7 章	物联网的计算技术	173
7.1	云计算	174
7.1.1	什么是云计算	174
7.1.2	云计算的服务模型	175
7.1.3	开放的云计算基础设施	177
7.1.4	融合云计算的物联网	181
7.2	嵌入式系统	183
7.2.1	嵌入式系统的基本概念	183
7.2.2	嵌入式系统的体系结构	186
7.2.3	嵌入式操作系统	187
7.2.4	嵌入式处理器	189
7.2.5	嵌入式系统与物联网	190
7.3	移动计算与物联网	191
7.3.1	移动计算的发展	191
7.3.2	移动计算在物联网中的应用	191
7.4	Web 技术	193
7.4.1	Web 技术的基础知识	193
7.4.2	Web 基本技术	197
7.5	物联网中间件	200
7.5.1	物联网中间件的概念	200
7.5.2	物联网中间件的系统结构	202

7.5.3 物联网中间件的技术平台.....	202
7.6 本章小结.....	204
思考与练习.....	204
参考文献.....	205
第8章 物联网的安全技术.....	207
8.1 物联网面临的安全问题.....	208
8.1.1 从信息处理过程看物联网安全.....	208
8.1.2 从安全性需求看物联网安全.....	213
8.2 RFID 系统的安全问题.....	214
8.2.1 RFID 的安全和隐私问题.....	214
8.2.2 RFID 安全解决方案.....	220
8.3 WSN 安全技术研究.....	223
8.3.1 WSN 中的密钥管理.....	224
8.3.2 WSN 中的安全路由协议 ^[32]	228
8.4 本章小结.....	234
思考与练习.....	234
参考文献.....	234

第 1 章

物联网概述



过去的几个世纪中，人类经历了一系列技术革命，而每次革命都由某种主流技术所引导。18世纪发端于英国的工业革命开启了伟大的机械时代；19世纪下半叶开始的第二次工业革命则迎来了非凡的电气时代。20世纪开启了影响更加深远的信息时代，而网络与计算机技术成为这个时代的标志。进入21世纪以来，随着传感设备、嵌入式系统与互联网的普及，物联网被认为是继计算机、互联网之后的第三次信息革命浪潮。物联网已经在全世界得到极大重视，主要工业化国家纷纷提出了各自的物联网发展战略。在我国，物联网已被视为战略性新兴产业，成为推动产业升级、经济增长的重要引擎。

1.1 物联网的概念

物联网（Internet of Things, IOT）是新一代信息技术的重要组成部分，其英文名称贴切地表达了“物物相连的互联网”这一本质含义。这里有两个基本点需要把握：第一，物联网的核心和基础是互联网，它是基于互联网的延伸和扩展；第二，物联网终端延伸和扩展到了任何物品与物品之间，并试图进行物与物之间的信息交换。

1.1.1 物联网的定义

物联网目前还没有一个精确且公认的定义，最主要的原因是：第一，物联网的理论体系尚处于发展时期，对其认识还有待深化，人们需要通过大量的理论研究和工程实践来透过现象看到本质；第二，由于物联网与互联网、移动通信网、传感网等都有密切关系，不同领域的研究者对物联网思考所基于的出发点不同，短期内还没有达成共识^[2]。

最初的物联网也称传感网，是将各种信息传感设备，如射频识别（RFID）装置、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等装置，与互联网结合起来而形成的一个巨大网络，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^[1-3]。

2009年9月，在北京举办的“物联网与企业环境中欧研讨会”上，欧盟委员会信息和社会媒体公司RFID部门负责人Lorent Ferderix博士给出了欧盟对物联网的定义：物联网是一个动态的全球网络基础设施，它具有基于标准和互操作通信协议的自组织能力，其中物理的和虚拟的“物”具有身份标识、物理属性、虚拟的特性和智能的接口，并与信息网络无缝整合。物联网将与媒体互联网、服务互联网和企业互联网一道，构成未来的互联网。

目前，物联网有一个被业界基本接受的定义：物联网是通过各种信息传感设备及系统，如传感器网络、射频识别（Radio Frequency Identification, RFID）、红外感应器、条码与二维码、全球定位系统、激光扫描器等和其他基于物物通信模式的短距离无线传感网络，按约定的协议，把任何物体通过各种接入网与互联网连接起来所形成的一个巨大的智能网络，通过这一网络可以进行信息交换、传递和通信，以实现了对物体的智能化识别、定位、跟踪、监控和管理。

上述定义同时说明了物联网的技术组成和联网目的。如果说互联网可以实现人与人之

间的交流，那么物联网则可以实现人与物、物与物之间的连通。按照这一定义，物联网的概念模型如图 1.1^[4]所示。

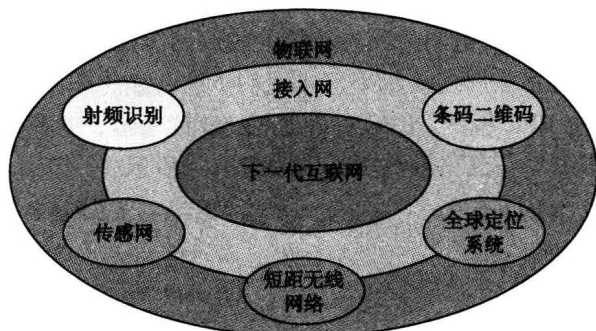


图 1.1 物联网的概念模型

从图中我们看到，物联网将生活中的各类物品与它们的属性标识后连接到一张巨大的互联网上，使得原来只是人与人交互的互联网升级为连接世界万物的物联网。通过物联网，人们可以获得任何物品的信息，而对这些信息的提取、处理并合理运用将使人类的生产和生活产生巨大的变革。这里的“物”具有以下条件才能被纳入“物联网”的范围：相应物品信息的接收器、数据传输通路、一定的存储功能、CPU、操作系统、专门的应用程序、数据发送器、遵循物联网的通信协议以及在网络中有可被识别的唯一编号。

在物联网时代，通过在各种各样的物品中嵌入一种短距离的移动收发器，人类在信息与通信世界里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扩展到人与物和物与物之间的沟通连接。美国总统奥巴马于 2009 年 1 月 28 日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了“智慧地球”这一概念。智慧地球，就是把感应器嵌入和配置到电网、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，形成物联网。一个物物相连的智慧地球如图 1.2 所示。



图 1.2 智慧地球的概念