

城市运行管理物联网 监测技术及应用

靖常峰 杜明义 孙天成 著

非外借



科学出版社

城市运行管理物联网监测 技术及应用

靖常峰 杜明义 孙天成 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

集成现代城市空间信息技术服务城市精细管理,实现城市管理对象的信息采集、知识挖掘和决策支持,是提高城市管理智能化和精细化水平的主要信息化手段之一。本书从新时期现代城市精细化管理理念入题,融合城市管理理论、网格化管理模式、地理学理论等,从城市系统论等理论基础导入城市运行管理的理论研究,系统阐述城市运行管理物联网监测的相关概念、内涵及相互关系;紧跟技术发展趋势引入物联网技术,以城市运行管理业务为应用依托,讲述了物联网数据采集、处理、空间技术集成等技术体系;以城市运行物联网监测平台为示范,实现了理论与技术在城市运行管理中的应用。

本书理论与技术结合、结构清晰,适合作为地理信息系统专业或相关专业本科生、研究生教材;同时本书引入了部分实践案例,探索了新的应用模式,因此本书也可供城市管理、城市规划等相关业务,以及从事 GIS 数据管理与分析的企业等相关人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

城市运行管理物联网监测技术及应用/靖常峰,杜明义,孙天成著. —北京:科学出版社,2019.11

ISBN 978-7-03-062811-4

I. ①城… II. ①靖… ②杜… ③孙… III. ①互联网络—应用—城市管理—研究 ②智能技术—应用—城市管理—研究 IV. ①C912.81

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第239870号

责任编辑:丁传标/责任校对:何艳萍
责任印制:吴兆东/封面设计:图阅盛世

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019年11月第 一 版 开本:720×1000 B5

2019年11月第一次印刷 印张:11 1/4

字数:230 000

定价:99.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

城市精细化管理是面向我国城镇化进程加速及城市规模化发展中实现城市可持续发展的主要指导方针。政府及社会日益关注利用新型信息化技术实现城市可持续发展,对城市运行管理中的管理对象及信息实时监测成为城市精细化管理的重点和热点。以测绘及 GIS 技术为代表的空间信息技术早已在城市各细分行业得到了广泛应用,同时物联网技术也逐渐得到了相关应用的实践验证。集成物联网技术、GIS 技术等应用于城市运行管理不仅能满足城市管理业务的发展需要,也探索了物联网城市运行监测的理论框架和技术体系。

本书以城市精细化管理理念入题,讲述了城市精细化管理涉及的网格化管理概念、物联网基础、地理学等理论基础;总结了作者团队多年的科研成果和应用实践,以空间位置服务技术、物联网技术、空间信息技术为核心阐述了城市运行精细化管理所需要的现代空间信息技术体系;最后,作者结合城市精细化管理业务需求,集成城市空间信息技术讲述了城市运行管理物联网平台的技术架构、技术实现和应用示范。

本书对基于物联网和空间信息技术的城市运行精细化管理的理论基础、关键技术、应用模式、实践示范分步阐述。全书分为 5 章。第 1 章从物联网基本概念、特征、体系结构分别讲述其理论和技术基础,探索和总结了物联网技术在城市管理中的应用框架模式,并简述了在市政设施监测管理中的部分应用;第 2 章重点讲述了城市运行精细化管理中的核心技术,即空间感知定位技术;第 3 章介绍物联网数据采集与预处理的相关理论和关键技术;第 4 章阐述了物联网与空间信息技术的集成模式及应用;第 5 章介绍了作者团队研制的城市运行管理物联网监测平台。

本项研究及本书出版得到了国家自然科学基金、北京市自然科学基金、北京市未来城市设计高精尖中心、北京建筑大学的共同资助。十分感谢研究团队

教师及学生们的支持和帮助，正是他们的辛勤付出为本书稿积累了丰富的技术和应用案例，特别感谢研究生董梦、朱艳丽、伏家云、刘思君、王守庆、王剑为本书所做的实验工作与校对工作。作者衷心感谢科学出版社对本书出版的大力支持；向本书引用文献的作者表示衷心感谢。

由于作者水平有限，书中难免存在不妥之处，敬请读者批评指正。

作 者

2019 年 8 月

目 录

前言

第 1 章 物联网与城市管理	1
1.1 物联网概述	2
1.1.1 基本定义	2
1.1.2 物联网的发展	4
1.1.3 物联网基本特征	6
1.2 物联网体系结构	7
1.2.1 网络结构	7
1.2.2 技术体系	8
1.2.3 标准体系	9
1.3 物联网国内外研究现状	11
1.3.1 国外物联网发展现状	11
1.3.2 国内物联网发展现状	13
1.4 物联网在城市管理中的应用	14
1.4.1 在智慧城市中的应用模式	15
1.4.2 物联网在城市中的应用	16
1.4.3 物联网在智慧城管中的应用	18
参考文献	21
第 2 章 空间感知定位技术	23
2.1 空间定位研究概述	24
2.1.1 基于 RFID 的空间定位研究现状	24

2.1.2	基于图像的视觉定位研究现状	25
2.2	基于 RFID 与 GNSS 的协同定位技术	27
2.2.1	三点定位原理	27
2.2.2	多点定位原理	29
2.2.3	协同定位流程及实现	30
2.2.4	协同定位算法优化	30
2.2.5	基于 RFID 与 GNSS 的协同定位应用实例	34
2.3	基于街景影像的定位技术	37
2.3.1	基于视觉技术的街景影像定位算法	37
2.3.2	顾及地理未知的特征匹配优化	41
2.3.3	城市街景视觉定位技术实现及实例	46
	参考文献	52
第 3 章	物联网数据采集与处理的技术与实现	56
3.1	物联网数据概述	56
3.1.1	物联网传感器	57
3.1.2	物联网数据组成	60
3.1.3	物联网数据特性	61
3.1.4	物联网数据管理技术	63
3.1.5	典型城市物联网数据	64
3.2	物联网协议框架	65
3.2.1	物联网协议架构	65
3.2.2	物联网通信协议	67
3.2.3	MQTT 通信协议	76
3.2.4	CoAP 通信协议	77
3.3	物联网采集技术	78
3.3.1	传感器采集数据模型	79
3.3.2	异构数据接入技术	80
3.3.3	主流的物联网数据采集平台	83
3.3.4	降水监测计数据采集系统实例	88
3.4	物联网数据清洗技术	92
3.4.1	物联网数据预处理技术	92
3.4.2	数据清洗策略	96
3.4.3	数据清洗算法	98

3.4.4 城市降水数据清洗实例	102
3.5 城市运行物联网数据综合采集与处理	104
3.5.1 雪雨水实时监测预警技术	104
3.5.2 基于二维码的便民设施公众参与监管	107
3.5.3 室内环境传感器数据采集分析	110
参考文献	111
第 4 章 物联网和 GIS 集成的数据分析	115
4.1 空间信息技术	115
4.1.1 层次分析法	115
4.1.2 模糊综合评价法	118
4.1.3 空间核密度分析	121
4.1.4 重力模型	121
4.1.5 空间自相关	122
4.2 物联网传感器部署空间优化分析	123
4.2.1 智能空间优化模型	123
4.2.2 基于 GIS 的空间优化模型	125
4.2.3 基于 GIS 的雨量监测计优化部署应用分析	126
4.3 城市管理案件关联性分析	129
4.3.1 数据来源	129
4.3.2 研究方法	131
4.3.3 城管案件空间聚类分析	134
4.3.4 城管案件核密度分析	135
参考文献	136
第 5 章 城市运行管理物联网平台	138
5.1 物联网平台架构技术	138
5.1.1 SOA 架构技术	140
5.1.2 Web Services 技术	141
5.1.3 中间件技术	142
5.2 城管物联网项目概述	143
5.2.1 建设意义	143
5.2.2 建设目标	144
5.2.3 建设内容	145

- 5.3 系统设计 147
 - 5.3.1 系统总体框架 147
 - 5.3.2 系统软件结构 149
 - 5.3.3 系统网络结构 150
 - 5.3.4 系统信息处理流程 152
- 5.4 系统实现 153
 - 5.4.1 雨雪实时监测系统 154
 - 5.4.2 早餐车二维码管理系统 159
 - 5.4.3 城市防汛监测与管理系统 162
 - 5.4.4 背街小巷监督系统 167
- 参考文献..... 169

第 1 章 物联网与城市管理

物联网（Internet of Things）是指物物的互联互通，即物物相连的互联网。物联网本质是以物体为连接对象的互联网，并进行信息传输和交换。正是物体的空间方位及物体之间的空间关系和信息关联性，使得空间信息成为物联网行业及技术体系中的重要构成单元。基于传统空间信息的采集、组织、管理与分析的理论和体系，开展面向空间信息的物联网理论和技术研究，是拓展物联网技术应用的重要前提。随着社会不断地发展及对信息技术需求的紧迫性日益增强，数字城市 / 智慧城市、云计算、物联网及移动互联网技术正在不断发展与成熟，智慧城市已成为当今社会发展的前沿话题。然而随着新一代信息技术的概念、理论框架、技术的逐步探索和成熟，在各个领域开展信息技术的广泛应用也逐渐成为科研、行业等领域的共识，其中，面向智慧城市的物联网技术成为示范引领性应用技术。

联合国人居署认为城市管理是面向利益相关者的冲突与制度的持续过程，是指对城市一切活动进行管理，包括政治的、经济的、社会的和市政的管理（Union Nation, 2000）。以物联网、云计算、大数据等新一代信息技术为核心的智慧城市是城市管理的主要技术方式之一，有助于突破城市发展的数据瓶颈、技术限制，提升城市管理和发展的智能化、全面化和动态化。物联网技术以其全覆盖、实时信息采集、支持信息提取与分析等优势在城市个体识别感知、智能管控、综合研判与决策分析等方面提升了现代城市管理智能化水平。物联网的发展具有明显的区域特征，从经济发达地区或者区域中心地区启动，逐渐辐射周边城市（孔晓波，2011）。在行业领域的应用中，物联网技术已经广泛地在城市规划、公共交通、楼宇管控、城市管理、农业等行业领域开展了物联网的应用探索与试点，取得了初步进展，但总体上还处于初级阶段。面对狭义的城市管理概念，物联网技术以实时监测能力弥补了人力监察成本高及时间覆盖性差的缺点，支持 24 小时实时信息监测。国内很多大中城市已将物联网技术运用到城市管理平台中，

并构建了融入物联网技术后的城管通业务流程（席晓晶，2016）。

本章从物联网基本概念、特征、体系结构分别讲述其理论和技术基础，探索总结了物联网技术在城市管理中的应用框架模式，并简述了在市政设施监测管理中的部分应用案例。

1.1 物联网概述

1.1.1 基本定义

1. 物联网基本定义

物联网的基本概念是一个随科技进步发展的动态定义，其本质是物体通过传感设备等构成的互联网，具有多维度的信息构成（图 1-1）。Alavi 等（2018）提出随着人口增长联网设备急速增长（图 1-2），这对物联网定义和应用的发展起到了促进作用。

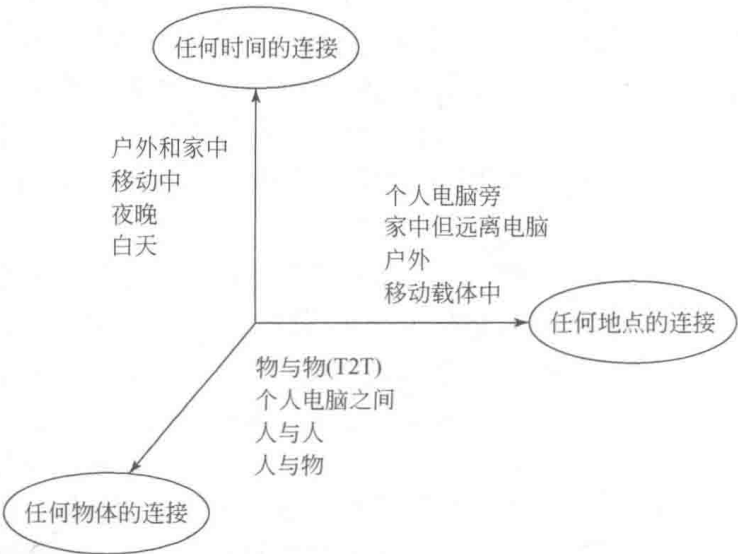


图 1-1 物联网连接维度（孙其博等，2010）

美国 MIT 大学 Auto-ID 中心的 Ashton 教授在 1999 年首次提出物联网概念，但此时的物联网概念主要是指以 RFID 为核心的传感网，其定义是通过射频识别（radio frequency identification, RFID）、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等数据标识和信息感知设备，采用预先约定的信息协议，将物品与互联网

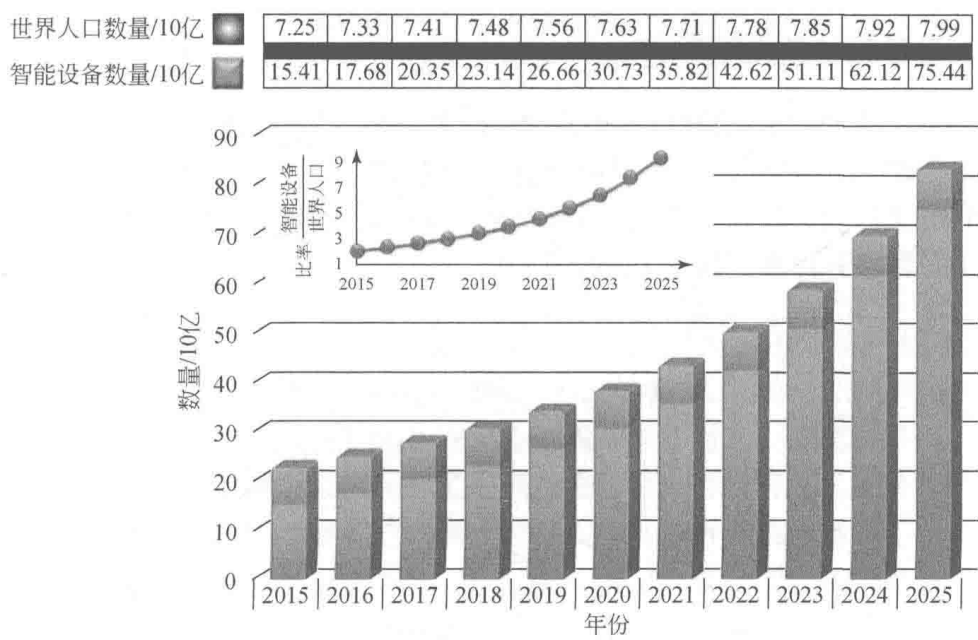


图 1-2 世界人口与智能设备数量增长预测对比（2015~2025 年）（Alavi et al., 2018）

相连接，构建数据和信息采集与传输网络，实现智能化识别、定位、跟踪和管理的一种互联网网络（Ashton，2009）。赫尔辛基理工大学（Helsinki University of Technology）较早在科研中实现了现代物联网概念用于连接各种物体（Huvio et al., 2002）。2005 年联合国国际电信联盟（ITU）第一次在研究报告中提出了物联网概念（ITU，2005）。与 1999 年 Ashton 的概念相比，ITU 报告中物联网概念的定义和范围已经发生了变化，拓展了原有以 RFID 技术为核心的物联网范围，指向任何时刻、任何地点、任何物体之间的互联，无所不在的网络和无所不在的计算的发展愿景，使得传感器技术、智能终端技术、定位技术等都得到更加广泛的应用。

工业和信息化部电信研究院在 2011 年的《物联网白皮书》中给出物联网的基本定位为：物联网是通信网和互联网的拓展应用和网络延伸，它利用感知技术与智能装备对物理世界进行感知识别，通过网络传输互联，进行计算、处理和知识挖掘，实现人与物、物与物信息交互和无缝链接，达到对物理世界实时控制、精确管理和科学决策目的（工业和信息化部电信研究院，2011）。

从以上定义可以得出结论：中国对物联网的定义已经不仅仅是基于传感设备实现物体的连接，而是拓展到了数据分析、知识挖掘和面向具体应用。

2. 物联网的基本要素

根据工业和信息化部电信研究院报告，物联网发展的关键要素包括由应用、网络和感知组成的网络架构，物联网技术和标准，包括服务业和制造业在内的物联网相关产业、资源体系、隐私和安全，以及促进和规范物联网发展的法律、政策和国际治理体系，如图 1-3 所示。

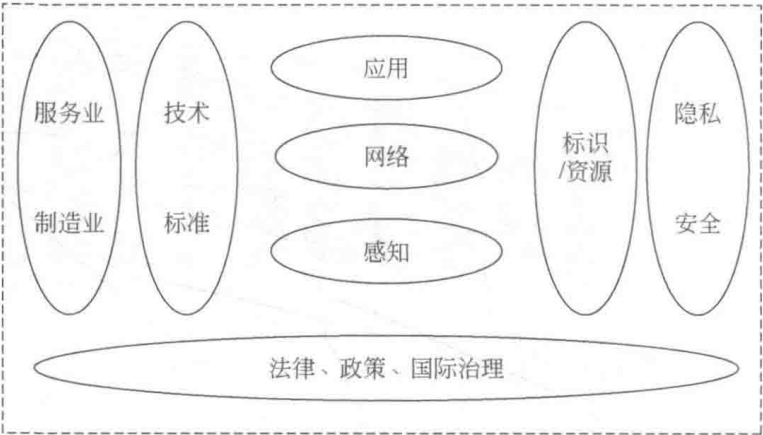


图 1-3 物联网关键要素（工业和信息化部电信研究院，2011）

1.1.2 物联网的发展

1. 国家战略规划

物联网概念的兴起，尤其是国际电信联盟物联网报告发布之后，国际上主要发达国家认为物联网技术会极大推动社会进步与国家发展，纷纷制订了相关国家战略规划，其中以美国、欧盟、韩国为代表。

进入 21 世纪，美国对物联网产业的研究引起了美国联邦政府层面的极大关注。美国国家情报委员会（NIC）及奥巴马总统颁布和实施了多项扶持物联网产业发展的政策，推动了整个产业发展。在 2009 年奥巴马总统就任后的首次美国工商业领袖圆桌会上，IBM 公司提出了基于物联网概念的新一代智能型基础设施，实现物物相连，即“智慧地球”的发展理念。通过物物联通，利用云计算等现代高性能计算设施进行物物信息整合，实现社会与物理世界融合。该提议得到了奥巴马总统的积极肯定，并很快被提升为美国国家物联网的发展战略。

2014 年，美国标准与技术研究院成立了信息物理系统工作组，职责是定义物联网相关标准体系，并于 2016 年 5 月发布了《信息物理系统框架》，全面定

义了物联网基本术语（乔健，2017）。2015年9月，美国启动跨部门的“智慧城市计划”，目的是通过物联网技术解决市政挑战并改善政府服务，并投入超过1.6亿美元开展从联网车辆试点到先进应急响应技术的研究。2016年9月，白宫再次为该计划追加预算8000万美元，集中于气候变化、交通、公共安全、城市服务等领域的物联网技术应用（乔健，2017）。

2009年6月，欧盟执委会发表了 *Internet of things—an action plan for Europe*（Commission of the European Communities, 2009），在世界范围内首次系统地提出了物联网发展和管理设想，并提出了12项行动保障物联网加速发展，标志着欧盟已经将物联网的实现提上日程（孙其博等，2010）。2009年10月，韩国通信委员会通过了《物联网基础设施构建基本规划》，将物联网技术及应用定义为国家增长战略规划，确定了基础设施建设、物联网技术发展的四大领域和12项具体课题（孙其博等，2010）。

中国对物联网技术的政策支持，以2009年8月时任总理温家宝提出“感知中国”理念为重要标志。2010年《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》出台，在这一决定中，物联网作为新一代信息技术里面的重要一项被列为其中，成为国家首批加快培育的七个战略性新兴产业，物联网被列入国家发展战略，对中国物联网的发展具有里程碑的重要意义。2011年，工业和信息化部电信研究院发布了《中国物联网白皮书（2011）》，定义了物联网概念和内涵，梳理了物联网架构、技术体系等。2013年3月，国务院办公厅发布《国家重大科技基础设施建设中长期规划（2012~2030年）》，指出三网融合、云计算和物联网发展，建设未来网络试验设施，并在10个城市开展示范。2014年6月，工业和信息化部制定了《2014年物联网工作要点》，推动了具体技术及应用的发展；2014年7月，国家发改委制订了《物联网发展专项行动计划》，联合多个部委制定了10项专项行动计划，推进相关技术发展和应用示范。2016年，《国家“十三五”规划》中提出了面向大数据、云计算、虚拟现实等多方位技术的整个大生态环境物联网技术研发。2017年1月，工业和信息化部发布《物联网“十三五”规划》，推动5G网络建设和移动物联网建设。

通过一系列国家政策及示范专项任务的颁布与实施，在国家层面已经制定了物联网发展战略和路线图，推动了物联网技术和应用的全生态环境建设。

2. 行业发展

根据《物联网白皮书》（工业和信息化部电信研究院，2011），物联网行业发展主要表现在以下几个方面。

(1) 物联网应用仍以闭环应用居多

目前物联网行业应用主要以部分行业或企业的闭环应用为主,信息传输与管理还局限在闭环环境内,跨行业、跨区域、跨应用的信息传输和管理还存在问题,主要表现在协议的独立性、标准和平台的异构性,但闭环应用实践为跨行业应用积累了丰富的经验。

(2) 物联网应用由点到面逐渐扩大

目前,物联网应用在国内外仍以点为主,应用规模逐步扩大,以点带面的局面逐渐出现。随着世界主要国家和地区政府的大力推动,以点带面、以行业应用带动物联网产业的局面正在逐步呈现。

(3) 物联网应用具有地区不均衡性

全球范围内,发达国家物联网应用整体上领先。美国、欧洲及日本、韩国等信息技术能力和信息化程度较高的国家或地区在应用深度、广度及智能化水平等方面处于领先地位。美国成为物联网应用最广泛的国家,物联网已在多个行业应用,其 RFID 应用案例占全球 59%。欧盟物联网应用大多围绕 RFID 和 M2M 展开,在电力、交通及物流领域已形成一定规模的应用。日本是较早启动物联网应用的国家之一,在灾难应对、安全管理、公众服务、智能电网等领域开展了应用。韩国物联网应用主要集中在其本土产业能力较强的汽车、家电及建筑领域。

我国物联网应用总体上处于发展初期,已经在电网、交通、物流等多个领域积极开展了物联网的应用探索与试点,但在应用水平上与发达国家仍有一定差距。在“金卡工程”和二代身份证等政府项目推动下,我国已成为继美国、英国之后的全球第三大 RFID 应用市场,但应用水平相对较低。

1.1.3 物联网基本特征

物联网技术的核心和基础仍是互联网,但与传统互联网相比,由于智能传感设备硬件的接入,物联网具有自己固有的特征。主要表现在以下几个方面。

(1) 海量特性

海量特性主要表现在物联网设备和物联网数据两个方面。随着物联网技术的推广和应用,物联网设备将会越来越多,形成海量规模,实现设备的高效管理成为一个重要研究命题。随着大量设备接入,传感设备可将信息定时或实时传输,由于所要传输的信息量极大,出现了海量信息。

(2) 异构性

海量设备的多类型、监测物体的物理属性和目的不同等,所关注信息会有

差异，从而导致数据传输协议、数据类型的异构性。

(3) 数据的高噪声

海量信息的实时采集和传输因受到各种环境要素（如信号遮挡、物体移动速度影响等）的影响，数据具有较高的噪声和不确定性。

(4) 智能处理

与传统互联网相比，物联网具有极强的信息智能处理功能，可实现智能连接、智能管理，利用云计算、智能识别等技术可实现大范围的智能化监测和处理。

(5) 通信及识别

物联网中部署了大量各种类型的传感器，作为一个集信息收集、处理为一体的综合系统，其必定需要一个完善的通信系统，并能智能识别传感器属性。

1.2 物联网体系结构

1.2.1 网络结构

无论从 1999 年 Ashton 提出基于 RFID 的物联网概念还是到 ITU2005 年提出物物相连的现代物联网概念，物联网都是以互联网为本质的一种泛在网络结构。物联网的网络架构主要由感知层、网络层和应用层组成，如图 1-4 所示。其中感知层作为拓展互联网信息采集的神经末梢，主要由各类传感设备或具备传感功

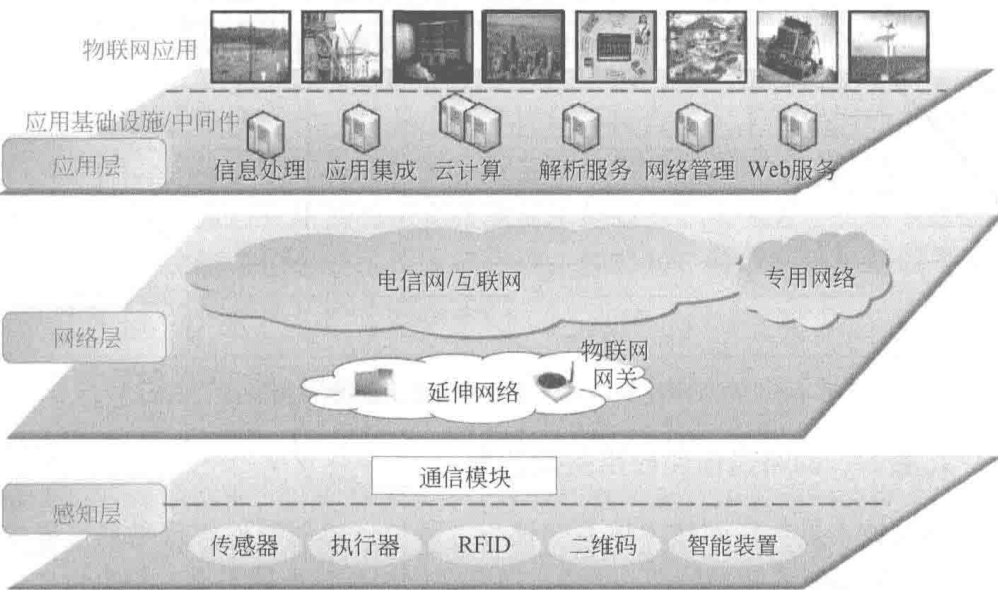


图 1-4 物联网的网络架构（工业和信息化部电信研究院，2011）

能的事物构成（如部分研究将人作为一类重要传感器），主要实现信息和数据的智能采集、处理和自动控制；网络层是以现有互联网为核心实现信息的传递、路由和控制；应用层包括面向开发集成商的开发接口服务和中间件产品，以及面向终端用户的信息开发共享和业务集成。

1.2.2 技术体系

物联网是一个泛在网络架构体系，适用于国民经济多个行业，在理论和技术上是一个多学科交叉的研究领域，包括数学、计算机学科、物理学科、空间信息学科，以及其他应用学科等。因此，物联网的技术体系跨度较大，从芯片设计、网络规划到空间部署、应用技术等，其中也存在行业应用的共性技术和各领域技术。根据工业和信息化部电信研究院发布的《物联网白皮书》，将物联网技术体系划分为感知关键技术、网络通信关键技术、应用关键技术、共性技术和支撑技术，如图 1-5 所示。

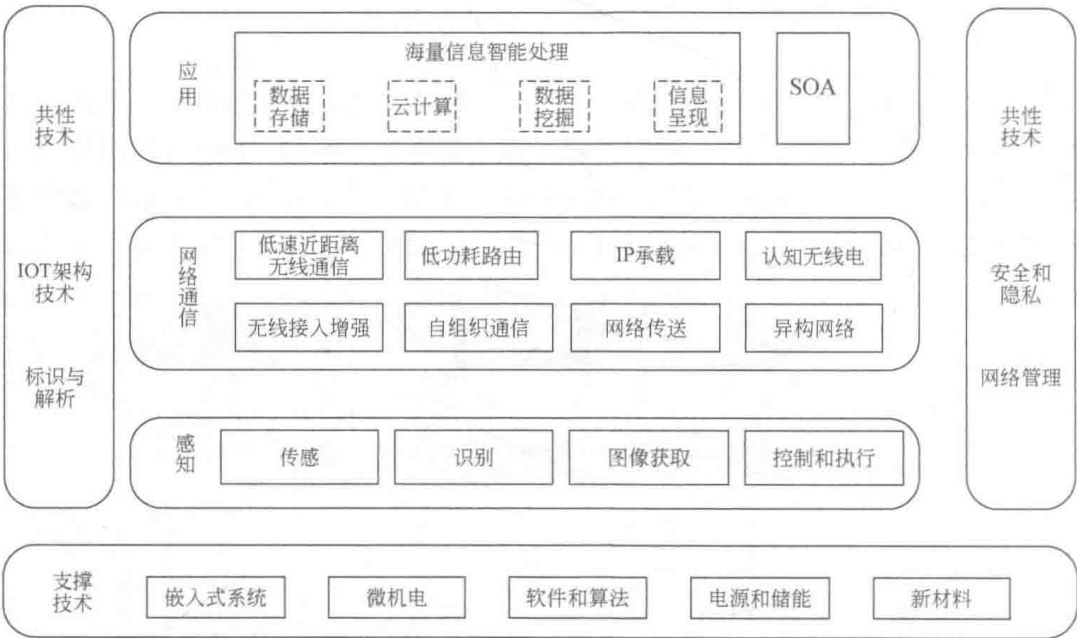


图 1-5 物联网技术体系（工业和信息化部电信研究院，2011）

1. 感知、网络通信和应用关键技术

感知技术是物联网技术体系的核心，通过传感器硬件实现物理世界中事物对象属性的实时感知和处理，从语义信息映射为计算所能识别的信息世界数据，为智能分析提供数据基础。网络通信技术是基于传感网、互联网的信息传输和