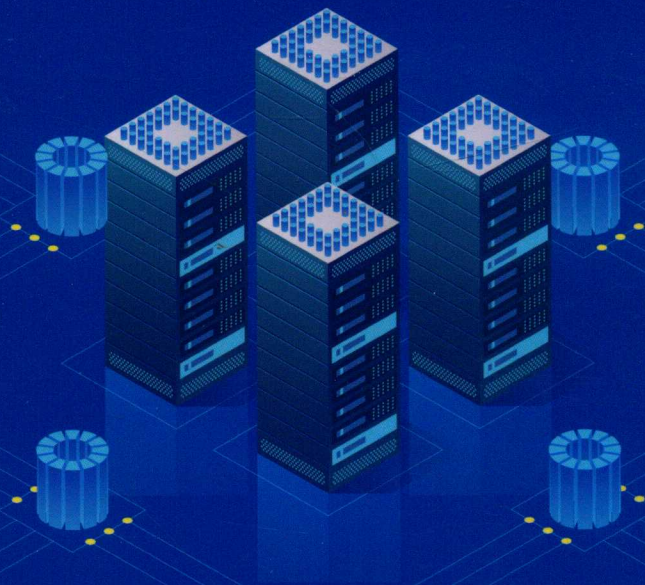


# 智能物联网的 存储器设计与实现

[美] 贝蒂·普林斯 (Betty Prince) 戴维·普林斯 (David Prince) 著  
林杰 牛毅 李甫 译 石光明 审校



MEMORIES FOR THE INTELLIGENT INTERNET OF THINGS



机械工业出版社  
China Machine Press

物联网核心  
技术丛书

# 智能物联网的 存储器设计与实现

[美] 贝蒂·普林斯 (Betty Prince) 戴维·普林斯 (David Prince) 著  
林杰 牛毅 李甫 译 石光明 审校



MEMORIES FOR THE INTELLIGENT INTERNET OF THINGS



机械工业出版社  
China Machine Press

## 图书在版编目 (CIP) 数据

智能物联网的存储器设计与实现 / (美) 贝蒂·普林斯 (Betty Prince), (美) 戴维·普林斯 (David Prince) 著; 林杰, 牛毅, 李甫译. —北京: 机械工业出版社, 2019.10  
(物联网核心技术丛书)

书名原文: Memories for the Intelligent Internet of Things

ISBN 978-7-111-63718-9

I. 智… II. ①贝… ②戴… ③林… ④牛… ⑤李… III. ①互连网络-应用-存储器  
②智能技术-应用-存储器 IV. TP333

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 207397 号

本书版权登记号: 图字 01-2018-6838

Copyright © 2018 John Wiley & Sons Ltd

All rights reserved. This translation published under license. Authorized translation from the English language edition, entitled Memories for the Intelligent Internet of Things, ISBN 9781119296355, by Betty Prince, David Prince, Published by John Wiley & Sons. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyrights holder.

本书中文简体字版由约翰·威立父子公司授权机械工业出版社独家出版。未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书内容。

本书封底贴有 Wiley 防伪标签, 无标签者不得销售。

## 智能物联网的存储器设计与实现

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 冯秀泳

责任校对: 李秋荣

印刷: 北京市荣盛彩色印刷有限公司

版次: 2019 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 186mm×240mm 1/16

印张: 16.5

书号: ISBN 978-7-111-63718-9

定价: 99.00 元

客服电话: (010) 88361066 88379833 68326294

投稿热线: (010) 88379604

华章网站: www.hzbook.com

读者信箱: hzit@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光/邹晓东

## 内容简介

随着物联网（IoT）技术不断发展并在一系列专业和消费产品应用中变得越来越普遍，工程师们在物联网硬件中设计新一代灵活、低成本、低功耗的嵌入式存储器的需求越来越大。本书可以帮助他们满足这种需求。本书由存储器方面国际领先的专家和多项专利持有人共同撰写，使工程师能够快速了解物联网硬件中最先进的存储器实现方式。

对于从事电子系统和半导体行业的电气工程师和工程经理而言，本书是宝贵的工作资源。对于对集成电路器件和系统的最新发展感兴趣的研究生和高年级本科生，它也是不可或缺的参考书。

## 作者简介

**贝蒂·普林斯 (Betty Prince)**，博士，在半导体行业有超过30年的经验，曾与德州仪器、飞利浦、摩托罗拉、R.C.A和Fairchild公司合作。她目前是美国得克萨斯州莱安德国际存储器战略公司的首席执行官。她拥有存储器、处理器和接口设计方面的多项专利。

**戴维·普林斯 (David Prince)**，在过去18年一直致力于为美国得克萨斯州莱安德国际存储器战略公司编写存储器报告。他拥有得克萨斯大学的计算机科学、物理和天文学学位。

近年来，物联网（IoT）技术得到了广泛的关注，物联网不仅仅涉及计算机，还包括智能手机、家用电器、个人穿戴产品等设备，现今已呈现出万物联网的趋势。在物联网系统的构建过程中，对于低成本的、低功耗的嵌入式存储器的需求变得越来越大。针对多种不同的应用场景，例如智能家居、自动驾驶、穿戴设备等，本书将基础科学与物联网存储技术相结合，给出了最先进并且实用的物联网存储器解决方案。本书还描述了可用于物联网设备的超低功耗存储器，讲述了用于医疗电子等特殊应用的塑料电路和聚合物电路。探讨了可用于智能控制的具有嵌入式存储器的微控制器。物联网中会产生大量数据，本书针对人工智能与深度学习应用，对采用 FeRAM、RRAM 和 MRAM 技术的神经形态存储器进行了分析，给出了对物联网硬件产生的大量数据进行收集、处理及深度学习等的方案。针对至关重要的物联网安全性问题，给出了片上安全系统的设计方案。为了节省开发成本，本书讲述的重点内容是与 CMOS 兼容的存储器技术，包括嵌入式浮栅和电荷捕获 EEPROM / 闪存以及 FeRAM、FeFET、MRAM 和 RRAM。

本书适合从事电子系统和半导体行业的电气工程师和工程经理阅读。同时，对于对集成电路器件和系统的最新发展感兴趣的研究生和高年级本科生，它也是不可或缺的参考书。

物联网 (Internet of Things, IoT) 是从“机器通信”这一旧有概念演化而来的, 它工作在不需人工干预的环境下, 由负责发送和接收数据的专用网络部件组成。物联网概念指的是具有网络连接的日常物品, 这些物品可以发送、接收和分析数据。智能物联网不但可以发送、接收和分析数据, 并且能够根据数据的分析结果进行干预。我们希望, 个别的专用网络能将其知识传递给其他网络, 从而提升整个社会范围内网络的功能。

这样的物联网网络无处不在。在零售商店里, 早期的条码提供了商品的扫描信息, 包括库存、价格以及来源。在高端零售商店, 可提供商品状态信息的 RFID 标签已取代了条形码。例如, 酒瓶上的温度监测器可以检测温度, 并记录其所经历的最高温度。这些信息可以通过无线电从标签发送到附近的接收器, 接收器可以分析库存的状态, 并对定价或退货提出建议。这些建议也会被记录在原始的 RFID 标签上。

还有一些其他可相互通信的系统构成智能网络的例子。可穿戴医疗设备可以采集数据, 并定期将数据传输到医疗服务提供者节点, 辅助实现对患者的医疗监控和评估。医疗服务提供者节点还可以根据原始输入数据, 将推荐的治疗方法反馈到可穿戴设备上, 从而实现相关的医疗实践。为了迅速形成成功的新疗法, 可采用类似的数据来收集治疗的结果。

另一个例子是智能家居网络。传感器可以检测运动、火灾、烟雾、门锁状态; 控制摄像机或音频设备记录以上信息, 并依据智能网络控制器发出的指令打开/关闭家用电器。一旦检测到温度升高或烟雾, 表示发生了火灾, 此时智能家居网络可以打开已安装的喷水灭火系统, 同时启动火警, 通知消防部门, 并向应急人员通报建筑物内人员的存在和位置。通过沿着路缘安装的传感器, “智慧城市”交通管理系统中的网络可以记录汽车的位置, 并检测汽车速度, 使用嵌入式智能技术来控制交通信号灯, 以改善交通流量。如果检测到超速, 这些传感器还可以向交通监控器进行标示。作为可以提升人类生活质量的交互式网络, 智慧城市将在第 1 章中进行讨论。

不同的物联网应用对微处理器 (MCU) 的要求差别很大, 并会影响 MCU 使用的嵌入式非易失性存储器的类型。对不同的应用, 嵌入式存储器可能需要考虑的因素包括: 待机功率、有源功率、耐久性、编程电压、擦除电压、读写速度和数据保持时间。还可选择使用的嵌入式存储器技术的类型。

人们感兴趣的应用程序包括：用于能量采集的超低功耗 MCU、用于电池供电应用的超低功耗 MCU、具有非易失性阵列和电源门控的处理器、用于间歇性操作的处理器和通信处理器。汽车网络应用中使用的处理器对嵌入式存储器有不同的要求。第 2 章讨论了不同物联网应用中处理器及其嵌入式存储器的不同特性。

想要低成本大容量地制造物联网处理器，就需要在标准 CMOS 逻辑工艺生产线上大批量生产处理器中的存储器。目前，大多数晶圆制造领域具有简单的传统嵌入式闪存宏和 EEPROM 宏，可作为在其工艺生产线上运行的 MCU 中的 IP。随着对物联网处理器的需求不断增加，已经开发出易于理解的逻辑兼容存储器的新配置。第 3 章讨论嵌入式浮栅闪存和 EEPROM 存储器的现状与发展，以及 CMOS 逻辑兼容的电荷捕获存储器。

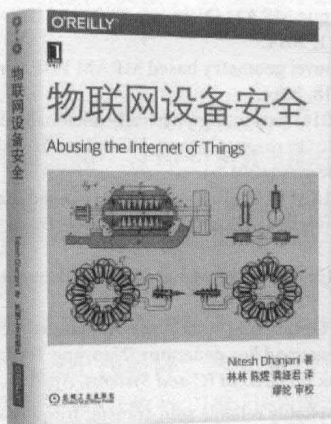
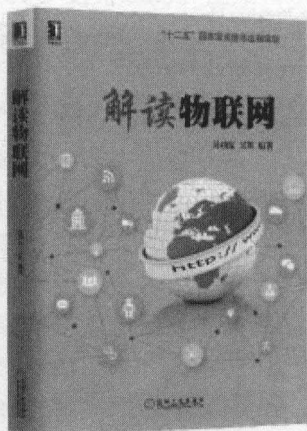
对电池供电或能量采集的传感器来说，对存储器和处理器的要求是具有非常低的功耗和非常低的成本。对可穿戴设备，电路必须是柔性的。在没有半导体处理开销的情况下，大批量制造电路可以降低成本，因此在铁电、电荷捕获和电阻存储器的研制中投入了大量工作，这些存储器可以通过喷墨印刷或丝网印刷制成，并且还可以形成逻辑电路。第 4 章讨论了，为实现物联网中低功耗、低成本的柔性存储器，行业技术所经历的演变过程，并且讨论了由柔性基板上安装的薄硅芯片制成的高性能柔性电路。

位于互联网边缘的局域网 (Local Area Network, LAN) 可能会使用基于记忆的神经形态计算机，这些计算机目前正处在一个初期水平。使用这些本地智能节点意味着可以分析本地数据，并将结果发送到云端。这可以提供更高级别的数据安全性。第 5 章讨论了这些基于记忆的神经形态计算机的发展。

由诸多传感器节点收集的大量数据和这些节点的标识数据必须存储到广泛可用的地方，通常存储在构成互联网的服务器组中。这些服务器中存储器的层次结构对于系统的高效运行至关重要。与云服务器相关的复杂搜索引擎需要达到新的人工智能水平，目前仍处于研发阶段。第 6 章讨论了一些此类的人工智能系统。

第 7 章讨论涉及存储器设备的因特网安全的各个方面，还介绍了基于新兴存储器设备 (如 MRAM 和 RRAM) 的物理不可克隆功能 (Physical Unclonable Function, PUF) 的使用。

## 推荐阅读



### 解读物联网

作者：吴功宜 吴英 ISBN：978-7-111-52150-1 定价：79.00元

本书采用“问/答”形式，针对物联网学习者常见的困惑和问题进行解答。通过全书300多个问题，辅以400余幅插图以及大量的数据、表格，深度解析了物联网的背景知识和疑难问题，帮助学习者理解物联网的方方面面。

### 物联网设备安全

作者：Nitesh Dhanjani 等 ISBN：978-7-111-55866-8 定价：69.00元

未来，几十亿互联在一起的“东西”蕴含着巨大的安全隐患。本书向读者展示了恶意攻击者是如何利用当前市面上流行的物联网设备（包括无线LED灯泡、电子锁、婴儿监控器、智能电视以及联网汽车等）实施攻击的。

### 从M2M到物联网：架构、技术及应用

作者：Jan Holler 等 ISBN：978-7-111-54182-0 定价：69.00元

本书由长期从事M2M和物联网领域研发的技术和商务专家撰写，他们致力于从不同视角勾画出一个完整的物联网技术体系架构。书中全面而又详实地论述了M2M和物联网通信与服务的关键技术，以及向物联网演进的过程中所要面临的挑战与需求，同时还介绍了主要的国际标准和一些业界最新研究成果。本书在强调概念的同时，通过范例讲解概念和相关的技术，力求进行深入浅出的阐明和论述。

译者序	1.6.4 车身处理器	7
前言	1.6.5 信息娱乐处理器	7
	1.6.6 自动驾驶汽车	7
<b>第1章 智慧城市——智能物联网</b>	<b>1.7 智能交通网络</b>	<b>7</b>
<b>的原型</b>	1.7.1 智能公共运输网络	7
1.1 概述	1.7.2 个人汽车交通管理	8
1.2 智慧城市	1.7.3 智能高速公路	8
1.3 智能商务——智慧城市的要素	<b>1.8 智能能源网络</b>	<b>9</b>
1.3.1 智能库存控制	1.8.1 智能电表	9
1.3.2 智能配送	1.8.2 智能电网	9
1.3.3 利用人工智能进行智能	<b>1.9 智能互联楼宇</b>	<b>10</b>
营销	1.9.1 智能办公楼	10
1.4 智能住宅	1.9.2 智能工厂	11
1.5 人——智能互联家居的中心	1.9.3 智能医院	11
1.5.1 可穿戴电子产品	1.9.4 智能公共建筑	12
1.5.2 控制电子设备	1.10 想法	12
1.6 智能个人交通	参考文献	12
1.6.1 智能汽车概述	<b>第2章 智能物联网存储器应用</b>	<b>14</b>
1.6.2 驾驶辅助系统	2.1 简介	14
1.6.3 发动机处理器		

2.2 各种非易失性嵌入式存储器特性的比较 .....	15	2.4.4 具有嵌入式 FeRAM 的超低功耗 电池供电 MCU .....	24
2.2.1 嵌入式 EEPROM、闪存和 熔丝器件 .....	15	2.5 使用新兴存储器实现非易失性 逻辑的非易失性 MCU .....	26
2.2.2 嵌入式新兴存储器在 MCU 中的应用 .....	16	2.5.1 使用 FeRAM 的非易失性 逻辑阵列 .....	26
2.2.3 嵌入式非易失性存储器在 各种应用中的必要属性 .....	17	2.5.2 使用 MTJ MRAM 的非易 失性逻辑阵列 .....	28
2.3 支持能量采集、具有嵌入式 存储器的超低功耗 MCU 电路 .....	19	2.5.3 用于非易失性逻辑阵列的 RRAM 处理器 .....	30
2.3.1 采用能量采集的超低功耗 MCU 简介 .....	19	2.6 存储器传感器标签的通信 协议 .....	34
2.3.2 支持能量采集、具有嵌入式 闪存的超低功耗 MCU .....	20	2.6.1 射频识别标签 .....	34
2.3.3 支持能量采集、具有嵌入式 FeRAM 存储器的超低功耗 MCU .....	20	2.6.2 近场通信 .....	34
2.3.4 支持能量采集、具有嵌入式 RRAM 存储器的超低功耗 MCU .....	21	2.6.3 基于蓝牙的信标和传感器 节点 .....	36
2.3.5 支持能量采集电源管理的 超低功耗 MCU .....	22	2.6.4 具有 Wi-Fi 的物联网设备 .....	38
2.4 超低功耗电池供电的闪存 MCU .....	22	2.6.5 具有 USB 连接功能的物联网 设备 .....	39
2.4.1 超低功耗电池供电的闪存 MCU 简介 .....	22	2.6.6 单线连接 .....	40
2.4.2 具有嵌入式闪存的超低功耗 电池供电的闪存 MCU .....	23	2.6.7 ZigBee 接口 .....	40
2.4.3 具有嵌入式 RRAM 的超低功耗 电池供电 MCU .....	23	2.6.8 ANT 接口 .....	40
		2.7 可穿戴医疗设备 .....	40
		2.7.1 可穿戴医疗设备概述 .....	40
		2.7.2 使用 FeRAM 存储器的微型 助听器 .....	41
		2.7.3 使用 CB-RAM 存储器的人体 传感器节点平台 .....	41

2.7.4 以存储为主使用 MRAM 的 医疗保健系统 .....	42	2.10.1 智能电表市场概述 .....	58
2.7.5 具有 NFC 和嵌入式 eFeRAM 存储器的可穿戴生物监测 .....	42	2.10.2 具有嵌入式闪存智能 电表芯片 .....	58
2.7.6 使用 FeRAM 并配备 ECG 处理器 的可穿戴医疗保健系统 .....	43	2.10.3 具有大容量嵌入式闪存的 智能电表芯片 .....	58
2.8 低功耗电池供电的医疗设备和 系统 .....	45	2.11 消费者家庭系统和网络 .....	61
2.8.1 低功耗电池供电医疗设备 概述 .....	45	2.11.1 远程控制 .....	61
2.8.2 使用 eFlash 的低功耗电池 供电医疗设备 .....	45	2.11.2 环境传感器 .....	62
2.8.3 使用嵌入式新兴存储器的 低功耗电池供电医疗设备 .....	48	2.11.3 家庭网络系统 .....	62
2.8.4 医疗系统的安全性 .....	49	2.12 具有嵌入式存储器的电机控制 芯片 .....	62
2.9 汽车网络应用 .....	50	2.12.1 使用嵌入式存储器的小型 系统电机控制 .....	62
2.9.1 汽车应用概述 .....	50	2.12.2 使用嵌入式 MONOS 存储器 的多电机控制 .....	63
2.9.2 早期的高级汽车驾驶员辅助 系统 .....	52	2.12.3 使用嵌入式 NV FeRAM 的 电机控制 .....	63
2.9.3 最近的高级驾驶员辅助系统 .....	54	2.13 高级应用中的智能芯片卡 .....	63
2.9.4 汽车导航和定位 .....	54	2.14 用于物联网的大数据服务器中 存储器的层次结构分析 .....	64
2.9.5 发动机盖下的应用 .....	55	参考文献 .....	66
2.9.6 用于发动机盖下应用的 MONOS 存储器 .....	56	<b>第 3 章 用于智能物联网的嵌入式 闪存和 EEPROM .....</b>	<b>73</b>
2.9.7 汽车信息娱乐系统 .....	57	3.1 智能物联网 eFlash 和 eEEPROM 简介 .....	73
2.9.8 安全汽车 .....	57	3.1.1 智能物联网 eFlash 和 eEEPROM .....	73
2.9.9 汽车车身处理器 .....	58		
2.10 智能电网和数码智能电表 .....	58		

3.1.2 物联网中嵌入式闪存的应用需求 .....	74	3.7 具有堆叠栅极结构的双层多晶硅闪存 .....	106
3.2 用于物联网的单层多晶硅浮栅 eFlash/EEPROM 单元 .....	75	3.8 电荷捕获嵌入式闪存 .....	109
3.2.1 物联网应用中的单层多晶硅浮栅 eFlash/EEPROM 概述 .....	75	3.8.1 早期的嵌入式电荷捕获存储器概述 .....	109
3.2.2 早期的单层多晶硅浮栅 EEPROM .....	75	3.8.2 嵌入式 40nm 电荷捕获 (MONOS) 闪存 MCU .....	111
3.2.3 用于特殊应用的单层多晶硅 EEPROM 单元 .....	79	3.8.3 嵌入式 28nm 电荷捕获 (MONOS) 闪存 MCU .....	113
3.2.4 多次可编程单层多晶硅嵌入式非易失性存储器 .....	81	3.8.4 嵌入式应用的专用 1T-MONOS 闪存宏 .....	115
3.2.5 最近的单层多晶硅全 CMOS 嵌入式 EEPROM 器件 .....	85	3.8.5 FinFET SG-MONOS .....	116
3.2.6 高压 CMOS 中的单层多晶硅 eNVM .....	87	3.8.6 嵌入式电荷捕获 (SONOS) NOR 闪存 .....	117
3.3 使用多个单层多晶硅 CMOS 逻辑晶体管的嵌入式闪存单元 .....	88	3.8.7 高压 CMOS 中的嵌入式 2T SONOS NVM .....	119
3.4 浮栅嵌入式闪存的分栅技术 .....	92	3.8.8 自对准氮化逻辑 NVM .....	120
3.4.1 早期的分栅嵌入式闪存浮栅技术 .....	92	3.8.9 p 沟道 SONOS 嵌入式闪存 .....	121
3.4.2 分栅存储器的发布、外设和特定应用的浮栅分栅存储器 .....	96	3.8.10 低能耗应用中的电荷捕获嵌入式闪存 .....	122
3.4.3 小于 50nm 的先进分栅浮栅技术 .....	102	3.8.11 DT BE-SONOS 性能的阻挡氧化物和隧道氧化物 .....	122
3.5 堆叠闪存和处理器 TSV 集成 .....	104	3.8.12 新型嵌入式电荷捕获存储器 .....	123
3.6 OTP/MTP 嵌入式 Flash 单元和熔丝 .....	104	3.9 分栅 CT eFlash 纳米晶体存储 .....	127
		3.10 新型嵌入式闪存 .....	129
		参考文献 .....	130

<b>第 4 章 薄膜聚合物和柔性存储器</b> .....	136	4.5.3 喷墨印刷纳米粒子 存储器 .....	160
4.1 概述 .....	136	4.5.4 柔性基板上的其他纳米粒子 电荷捕获存储器 .....	161
4.2 有机铁电存储器 .....	136	4.6 将常规存储器芯片转移到柔性 基板上 .....	163
4.2.1 有机铁电存储器的特性和 特点 .....	136	4.6.1 使用 SOI 基片转移硅片 .....	164
4.2.2 可印刷铁电嵌入式存储器 .....	140	4.6.2 使用底层空腔创建薄芯片 .....	165
4.2.3 薄膜铁电存储器的物联网 应用 .....	144	4.6.3 用于在柔性基板上组装硅 芯片的扇出型晶圆级封装 .....	166
4.3 聚合物铁电隧道结 .....	145	参考文献 .....	170
4.4 具有柔性基板的聚合物电阻式 RAM 的类型和特性 .....	146	<b>第 5 章 使用新兴 NV 存储器件的 神经形态计算</b> .....	175
4.4.1 具有柔性基板的聚合物 电阻式 RAM 概述 .....	146	5.1 神经形态系统中电阻式 RAM 和铁电 RAM 的概述 .....	175
4.4.2 基于聚对二甲苯-C 的电阻式 RAM .....	146	5.2 各种电阻式 RAM 用作神经形态 系统中的突触 .....	175
4.4.3 Cu 原子开关 .....	147	5.2.1 金属氧化物电阻式 RAM 作为突触 .....	175
4.4.4 柔性基板上的无机薄膜电阻式 RAM .....	150	5.2.2 导电桥 RRAM 作为突触 .....	178
4.4.5 IZO 和 IGZO 电阻式 RAM 存储器 .....	152	5.2.3 相变存储器作为突触 .....	179
4.4.6 具有柔性基板的其他聚合物 电阻式 RAM .....	153	5.2.4 PCMO RRAM 作为突触 .....	179
4.5 柔性基片上的电荷捕获纳米 粒子 (NP) 存储器 .....	159	5.2.5 可同时增强和抑制的 RRAM .....	180
4.5.1 柔性基片上的电荷捕获 NP 存储器概述 .....	159	5.2.6 其他具有模拟特性的非易失性 存储器 .....	181
4.5.2 具有柔性衬底的碳纳米管 电荷捕获存储器 .....	159	5.3 3D 神经形态存储器 .....	182

5.3.1 作为密集 TSV 3D 结构的神经形态架构 .....	182	5.8.3 用于神经形态计算的大型 RRAM 阵列设计 .....	202
5.3.2 3D 垂直 RRAM 作为连接神经元的突触 .....	182	5.8.4 RRAM 相对于 SRAM 交叉阵列在矩阵乘法中的优势 .....	204
5.4 RRAM 作为突触器件的建模和表征 .....	186	5.9 使用聚合物和柔性存储器的神经形态存储器 .....	204
5.5 脉冲神经网络、STDP、增强和抑制 .....	187	参考文献 .....	207
5.5.1 脉冲神经网络简介 .....	187	<b>第 6 章 大数据搜索引擎和深度计算机 .....</b>	<b>210</b>
5.5.2 混合 RRAM/CMOS STDP 神经形态系统 .....	187	6.1 大数据搜索引擎和深度计算机概述 .....	210
5.5.3 记忆突触和神经元系统 .....	191	6.2 使用各种新兴非易失性存储器制作的内容可寻址存储器 .....	210
5.5.4 新型 RRAM 突触的应用 .....	193	6.2.1 使用电阻式 RAM 的三元 CAM .....	211
5.6 使用铁电 RAM 技术的神经网络系统 .....	195	6.2.2 使用磁存储器制作的 CAM .....	212
5.6.1 使用铁电存储器突触的神经网络电路 .....	195	6.2.3 使用其他新兴存储器的 CAM .....	214
5.6.2 在神经网络电路中使用 FeMEM .....	196	6.3 大型搜索引擎和人工神经网络的构成 .....	214
5.6.3 神经形态电路中的铁电隧道结 .....	197	6.3.1 使用 RRAM 的大型搜索引擎的查找表 .....	214
5.7 使用相变存储器的早期神经形态计算机 .....	198	6.3.2 使用 STT MRAM 的大型神经网络 .....	216
5.8 神经形态系统设计和应用中的电阻式 RAM .....	201	6.4 深度学习系统中的存储器问题 .....	218
5.8.1 用于神经形态计算的突触器件的设计 .....	201	6.4.1 SRAM 和 RRAM 突触阵列的分区问题 .....	218
5.8.2 在各种神经形态计算应用中 使用 RRAM .....	202		

6.4.2	极限学习机架构的 RRAM 可变性问题 .....	220	7.2	用作物理不可克隆功能的 存储器 .....	234
6.4.3	受限玻耳兹曼机中 RRAM 存储器的问题 .....	220	7.2.1	RRAM 用于物理不可克隆 功能 .....	235
6.4.4	使用存储器突触的大型神经 网络 .....	222	7.2.2	用作物理不可克隆功能的 MRAM .....	241
6.5	物联网的深度神经网络 .....	225	7.2.3	用作物理不可克隆功能的 闪存 .....	244
6.5.1	物联网深层神经网络的 类型 .....	225	7.2.4	用作物理不可克隆功能的 其他存储器 .....	244
6.5.2	含噪声数据的深度神经网络 ..	226	7.3	基于片上存储器的安全系统 .....	245
6.5.3	用于语音和视觉识别的深度 神经网络 .....	227	7.3.1	片上安全系统简介 .....	245
6.5.4	其他应用的深度神经网络 .....	231	7.3.2	物理安全密钥和 TAG 的 存储 .....	245
	参考文献 .....	232	7.3.3	安全系统中的人脸和特征 检测 .....	247
<b>第 7 章</b>	<b>物联网安全问题中的 存储器 .....</b>	<b>234</b>	7.3.4	嵌入式系统的安全性 .....	248
7.1	物联网安全问题中的存储器简介 ..	234		参考文献 .....	248

# 智慧城市——智能物联网的原型

## 1.1 概述

智能物联网 (Internet of Things, IoT) 正处于发展过程中, 这种智能交互式的人文环境已经取得了长足的进步, 后续将会取得更深远的发展。重要的预言性概念已浮出水面, 导致了人们对这些未来概念中内在的夸张的普遍厌恶。这并不影响已经取得的和将来将会取得的重要进展。本章将尝试展望未来, 并同时具体论述智能物联网的当前发展和近期的未来趋势。

## 1.2 智慧城市

在发达国家的城市化地区, 智能物联网最为发达, 这些地区研制出了必要的商务、交通、公共设施、住宅和生活必需品的高效网络。

目前所设想的这些智能网络的概览, 可以通过智慧城市的概念进行构建, 如图 1-1 所示。

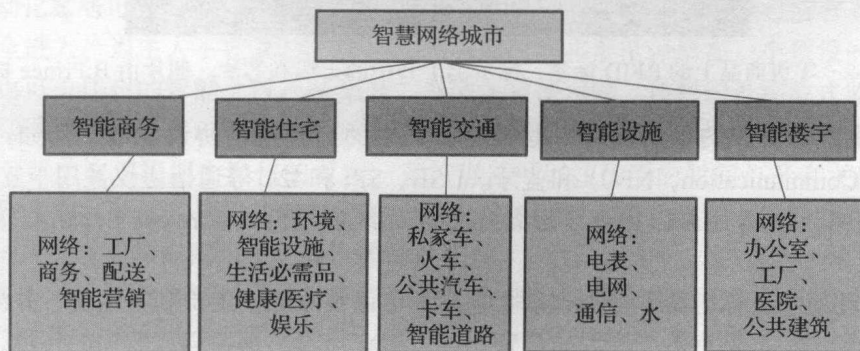


图 1-1 智慧城市中的元素, 包括交通、商务、公共服务、住宅和公共设施的连接网络