



国际信息工程先进技术译丛

CRC Press
Taylor & Francis Group

自主式传感器系统的 能量收集——设计、分析 以及实践应用

**Energy Harvesting Autonomous Sensor Systems :
Design, Analysis, and Practical Implementation**

(新加坡) Yen Kheng Tan 著
薛建彬 和燕宁 等译

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际信息工程先进技术译丛

自主式传感器系统的 能量收集——设计、 分析以及实践应用

(新加坡) Yen Kheng Tan 著
薛建彬 和燕宁 等译



机械工业出版社

Energy Harvesting Autonomous Sensor Systems: Design, Analysis, and
Practical Implementation/by Yen Kheng Tan/ISBN: 978-1-4398-9273-2.

Copyright © 2013 by Taylor&Francis Group, LLC.

Authorized translation from English language edition published by CRC
Press, part of Taylor & Francis Group LLC. All rights reserved.

本书中文简体翻译版授权由机械工业出版社独家出版并限在中国大陆地区
销售。未经出版者书面许可,不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis Sticker on the cover are
unauthorized and illegal.

本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签,无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记 图字:01-2013-5758 号。

图书在版编目(CIP)数据

自主式传感器系统的能量收集:设计、分析以及实践应用/(新加坡)恩
肯檀著;薛建彬等译. —北京:机械工业出版社,2014.4

(国际信息工程先进技术译丛)

书名原文:Energy harvesting autonomous sensor systems

ISBN 978-7-111-46089-3

I. ①自… II. ①恩…②薛… III. ①传感器-能-收集
IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 044234 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:顾 谦 责任编辑:顾 谦

版式设计:霍永明 责任校对:申春香

封面设计:马精明 责任印制:李 洋

三河市国英印务有限公司印刷

2014 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·13 印张·245 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-46089-3

定价:59.90 元



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社 服 务 中 心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销 售 一 部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销 售 二 部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

随着现代通信技术、无线传感器技术以及高度集成的微电子技术的飞速发展，无线传感器网络（WSN）已经获得广泛的关注。通过促进对物理环境的监视和控制，尤其是一些边远地区，WSN 显示出了它的优越性。无线传感器的出现是有线传感器的重大突破，大大减少了固定通信电缆以及相关安装及维护的费用。对于工程系统的实时信息要求，如从智能控制系统的建立到医疗卫生系统、环境控制系统等，WSN 的应用是很宽泛的。

本书全面介绍了本书研究的背景知识，说明了这项研究的目的并明确了无线传感器节点的供电问题；讨论了风能收集（WEH）、热能收集（TEH）两种类型，基于压电的振动能量收集（VEH）系统，WEH 和太阳能收集（SHE）两种混合能源收集（HEH）方法；证明了一种通过 WPT 机制为低功率的电子设备远程供电的备选方式等各个方面的技术信息。作为一门复杂技术领域的高级专著，通过本书的学习可以使读者掌握自主传感器系统的能量收集方面的设计、分析以及实践应用的基础理论知识和基本技能。

本书内容极其丰富，可以作为信息工程等相关专业学生学习传感器技术的自学参考书，也适合作为信息类专业的教材和相关人士自修提高用书。

译者序

本书的目的在于告诉读者如何通过进一步优化分析，去设计并实践应用各种各样类型的自主式传感器系统。在无线传感器网络（WSN）的许多应用中，传感器部署的传感区域的环境条件往往是变化多端的。能源也具有间歇性和波动性，而无线传感器节点的运行需要一种恒定的电功率源，因此本书的重点之一是设计足够的功率管理电路，为能源收集（EH）机制和传感器节点之间提供一个恰当的匹配。

在 WSN 中大量的自主传感器节点由电池提供电能，这些电池对于节点的操作是必需的。电池占据了整个节点尺寸的显著部分和整个系统的大部分重量，而且它们也是系统中最弱的连接和最昂贵的部分。电池自身的维护（如电池的更换或再充电），也是另外一个要考虑的重要因素。当成百上千个传感器节点工作时，所需要的电池数也很可观，这成为了 WSN 的一个严重局限。

无线传感器“忘记部署”特点的主要阻碍在于它们有限的存储容量以及不可预测的电池寿命。为了克服这些问题，能量收集/采集技术从各种各样的能源中收集/采集能量，并将它们转化为电能供电池充电，该技术已成为一种非常有前景的技术。随着微电子技术的飞速发展，传感器节点的电源需求从几十毫瓦一直降低到几十微瓦。从传统的仅依赖于电池的 WSN 转变为真正自主且可持续发展的能源收集的 WSN，能源收集技术为这一范式转变铺平了道路。在本书中调查并研究了不同类型的能源收集系统和它们主要的组成部分、功率管理电路、能量存储设备和无线传感器节点。

本书提出了两种类型的小型风能收集（WEH）系统：①使用风力发电机（WTG）的直接 WEH 方法；②使用压电材料的间接 WEH 方法。提供了风能转换机制详细的分析和特征。基于 WEH 机制获得的特性，设计的功率管理单元需要注意在 WSN 中无线传感器节点的两种 WEH 机制在环境条件下的运行动态变化，比如不同的风速。因为绝大多数的传统最大功率点跟踪（MPPT）算法不再适合用于 WTG，针对 MPPT 已经介绍了一种仿真电阻或阻抗匹配机制。此外，使用金属—氧化物—半导体场效应晶体管替换二极管设计出一个交流—直流交替的有源整流器，用于整流 WTG 在低速的风力条件下产生的低幅度的交流（AC）电压。已经开发的 WEH 系统原型来验证该系统的性能。

本书介绍了一种热能收集（TEH）系统，应用于可能无法使用风能的地区。TEH 机制中有一个微型的热电发电机（TEG），已经设计的 TEG 用来从热源收集

热能。TEH 机制开发了一个等效电路模型，基于这个等效模型，介绍了 TEH 机制的热电分析。因为发现 TEH 机制的特征与 WTG 相似，开发了基于仿真电阻器的 MPPT，它可以使用很少的控制电路自然地跟踪 TEH 机制的最大功率点 (MPP)。

已经开发的无电池和无线远程控制器以无线方式控制家用电器的开关，如电灯和风扇。本书提出了两种类型基于压电的振动能量收集 (VEH) 系统，用于收集人类按下按钮或开关的冲击力。对 VEH 机制的性能进行详细地理解和表征。由于收集的功率低于无线射频发射机消耗的功率，因此需要执行能源管理电路。首先，将 VEH 机制收集的能量积累和存储在电容器中，直到有足够的存储能量为射频发射机供电为止；然后发射机通电。

对于一些 WSN 的应用，需要使用多个能源。本书提出了一种 WEH 和太阳能收集 (SHE) 的混合机制延长无线传感器节点的使用寿命。混合能源收集 (HEH) 系统用来同时收集这两个能源的能量，关于 MPP 的操作，WEH 子系统使用仿真电阻技术，而 SHE 子系统则采用恒定电压技术。HEH 的另一个研究提出室内环境光的混合 TEH 系统。将不同特性的能源直接相连。从 HEH 机制的角度，对它们之间的关系进行详细地分析，验证阻抗不匹配的问题不会影响功率达到最大值。本书研发了一种功率管理电路，以适应从两个能源中收集的输出功率。

本书为低功率电子设备提出了两种远程充电方式。一种已经研究的电磁感应方法能够将电功率沿着电源线以无线方式传输到传感器节点。基于无线射频发射机和电磁能量收集器的电功率要求，设计出了一种电磁感应系统并成功地应用。提出了运行在其电磁共振上的另一种无线功率传输 (WPT) 机制，即进一步延长了无线功率的传输距离。提供了 WPT 机制详细的理论分析，并通过仿真结果进行验证，WPT 机制的优化设计极大地提高了 WPT 的距离、效率以及形状系数。

本书研究并分析了各种类型的 EH 系统和它们各自的主要组成部分，即能量收集器 (源)、功率管理电路、能量存储设备以及无线传感器节点 (负载)。这些 EH 系统的设计和优化满足了目标应用的要求，作为概念证明落实到硬件原型中。

本书由薛建彬、和燕宁组织翻译，何凤婕、文兵、魏素盼、陈一鸣、王丹、张振华、何剑、王文华、张婷、杨阳、马维俊、张玺君、晏燕及其他兰州理工大学计算机与通信学院老师和研究生共同完成了本书的翻译工作，在此一并感谢。

译者在翻译过程中，对原书存在的一些错误进行了注释，以便读者参考学习正确的知识。如果书中仍然存在疏忽与错误之处，恳请读者批评指正。

原 书 前 言

关于本书

随着无线通信技术、传感器、驱动器以及高度集成的微电子技术的飞速发展，无线传感器网络（WSN）备受关注。通过对物理环境的监测和控制，尤其是一些偏远地区，这里的物理环境通常是指人为难以到达或很危险的地区，WSN 显示出了独特的优越性。WSN 的出现是有线传感器的重大突破，大大减少了电路通信电缆以及相关安装及维护的费用。针对工程系统的实时信息要求，WSN 的应用是非常宽泛的，如从智能控制系统到医疗卫生系统、环境控制系统等。随着硬件电路变得既便宜又小型化，出现了越来越多的 WSN 应用，特别是这些小型的无线传感器节点为电子系统提供了机遇，为了实现“忘记部署（deploy-and-forget）”的场景，将这些小型的无线传感器节点悄无声息地嵌入了日常用品中。

在 WSN 中大量的自主式传感器节点由电池提供电能，而这些电池对于节点的运行是必需的。电池占据了整个节点尺寸的显著部分和整个系统的大部分重量，而且它们也是系统中最薄弱的连接和最昂贵的部分。电池自身的维护，如电池的更换或再充电，也是另外一个要考虑的重要因素。当成百上千个传感器节点工作时，所需要的电池数也很可观，这成为 WSN 的一个很严重的局限。目前已报道的电池存储的最高电能是 $3.78\text{kJ}/\text{cm}^3$ ^[1]，这意味着一个超低功率的体积为 1cm^3 的小型无线传感器节点工作 10 年平均消耗的电能为 $100\mu\text{W}$ ，它需要体积为 10cm^3 的电池。因此，能量供给是传感器节点寿命的主要瓶颈之一，而能量也受限于电池的尺寸。

WSN “忘记部署”的特点其主要缺陷在于有限的存储容量以及不可预测的电池寿命。为了克服这些问题，能量收集（EH）/采集技术从各种不同的能源中收集/采集能量，并将它们转化为电能为电池充电，该技术已成为一种非常有前景的技术。随着微电子技术的飞速发展，传感器节点的功率需求从几十毫瓦一直降低到几十微瓦。从传统的仅依赖于电池的 WSN 转变为真正自主且可再生能源收集的无线传感器网络（EH-WSN），能源收集技术为这一范式转变铺平了道路。在本书中调查并研究了不同类型的 EH 系统和它们主要的组成部分 [例如能量收集器（源）、功率管理电路、能量存储设备和无线传感器节点（负载）]。基于风能收集（WEH）、热能收集（TEH）、振动能量收集（VEH）、太阳能收集（SEH）、混合能量收集（HEH）、磁能收集（MEH），这些 EH 系统设计符合周

围环境和事件/任务的需求,然后落实到硬件原型并对其概念进行证明。为了优化这些 EH 系统,介绍了一些不同类型的基于电功率的管理电路,例如有源交流-直流 (AC-DC) 转换器、具有最大功率点跟踪 (MPPT) 的 DC-DC 转换器、能量存储和锁存电路。

与任何常见的可再生能源一样,WEH 针对于较高功率 (大于几兆瓦) 的应用做了广泛的研究。然而相关文献关于小型 WEH 所作的研究并不多,这些小规模 WEH 通常用在功率较小的无线传感器中。小型 WEH 系统具有输出电压幅度低和所收集的功率较低的问题,因此它们严重限制了 WEH 无线传感器节点的电路设计。为了克服上述问题,有必要提出一种优化的 WEH 系统。优化的 WEH 系统适用于超低功率管理电路,其具有两个明显的特征:①使用金属—氧化物—半导体场效应晶体管 (MOSFET) 的有源整流器,用于整流风力发电机 (WTG) 在低风速条件下产生的较低幅度的交流电压;②DC-AC 升压转换器与仿真电阻算法在不同的风速条件下以执行 MPPT 机制。与传统的二极管桥式整流器相比,由于每对 MOSFET 的通态电压降 (从 0.6V 下降到 0.15V) 明显下降,则有源整流器的效率从 40% 增加到 70%。实施基于仿真电阻的低功率微控制器与闭环电阻反馈控制以确保电源和负载之间的阻抗匹配,从而提高功率转化的效率。从获得的实验结果得出,优化的 WEH 系统在平均风速为 3.62m/s 时收集的电功率平均值是 7.86mW,这几乎是传统的不采用 MPPT 的 EH 系统的 4 倍。

由于应用中受到空间的限制,WEH 系统要求尽可能小且携带方便,像这种传统的、大型的且体积庞大的 WTG 已经不再适合。同样地,提出了一种新的方法收集风能,即采用压电材料—锆钛酸铅 (PZT)。PZT 整体与 WTG 相比,它的尺寸非常小。基于压电的风能收集器收集的能源首先积累并存储到电容器中,直到存储的能量足以供给传感器节点为止;然后启动触发信号,将电容器存储的能量释放到风速传感器节点中。实验结果显示,存储的 917 μ J 电能用于暴风检测系统以检测风速是否超过特定门限值 6.7m/s 而发出早期警报。

在一些地方风能并不是必需的。目前,从具有低温差的环境热源中收集能量 (即 TEH) 受到了广泛关注,但是由于温度的波动性,导致 TEH 具有能量转换效率低、不一致性、较低的输出功率和成本高的挑战。为了补充 THE 机制,提出了一种高效的功率管理电路使得热能到与之相连接负载的功率传输最大化,这对于大范围的运行环境是适宜的。在这项研究中,为优化的 THE 机制介绍 DC-DC 降压转换器与基于仿真电阻的最大功率点跟踪 (MPPT) 器,以此维持无线传感器节点的运行。从实验测试的结果可以得出,由优化的 THE 系统在平均温差为 20K 的条件下收集的电功率平均值是 629 μ W,这几乎比传统的不使用 MPPT 机制的 EH 方法足足提高了两倍。

在住宅楼和工业建筑里布线和墙上安装控制开关成为了一件麻烦事,而且会

产生较高的安装成本。随着时间的推移,重新布线也可能产生电缆故障。为了克服这个问题,介绍一种无电池和无线远程控制器,即用无线的方式控制电子装置,如电灯和风扇的开/关。在这项研究中介绍了两种类型的基于压电的 VEH 系统,用它们收集人类按下按钮或开关的冲击力:①压电按钮点火器;②预应力压电隔膜材料,将产生的电能存储在电容器中。一旦收集到足够的能源,就为无电池且无线的远程控制器的运行供电。

EH 系统本身具有固有的缺点,即环境能源的间歇性。由于在很长一段时间内环境能源的不可用性,使得无线传感器节点运行的可靠性受到影响。为了增加无线传感器节点运行的可靠性,研究了两种类型的 HEH 方法。已经提出的 WEH 和 SHE 混合机制能够同时收集这两种能源,从而大大延长了传感器节点的寿命。但是将这两个不同特性的能源结合在一起时,必然产生两个不同源和负载之间的阻抗不匹配问题。因此,每个能源都有自己的功率管理单元,在各自的 MPP 上运行。WEH 子系统使用仿真电阻技术,而 SHE 子系统运行时使用恒定电压技术。实验结果显示,在平均风速为 4m/s 以及平均太阳辐射照度为 80W/m^2 的条件下,优化的 HEH 系统收集的平均电功率是 22.5mW ,这几乎高于基于单独风能的 3 倍。

在 HEH 的其他研究中,提出将室内环境光与从两个能源收集的输出功率相结合,并使用一个功率管理电路的 THE 机制,从而延长无线传感器节点的寿命。针对多个能源,通过避免单个功率管理电路的使用,使得 HEH 系统的组件数量减少,因此系统的形状系数、成本、功率损耗降低。将基于高效的微处理器的超低功率管理电路与基于恒定参考电压的 MPPT 在闭环电压反馈控制上同时实施,在宽泛的运行环境下,以确保邻近的最大功率从两个能源到与其相关的负载上传输。从实验结果可以看出,优化的 HEH 系统在平均室内太阳辐照度为 1010lx 和热梯度为 10K 的情况下,收集的平均电功率是 $621\mu\text{W}$,这几乎是传统的基于单独风能所获得功率的 3 倍。

除了 EH,本项研究也证明了另一种方法,即通过无线功率传输(WPT)机制为低功率的电子设备供电。WPT 机制采用电感耦合的概念(即收集杂散磁场的能量,无需任何物理连接,在电源线上传输电功率),在电源线上的交流电压和电流分别是 230V 和 $1\sim 4\text{A}$ 。实验结果显示,磁能收集器能够从电源线上收集 $685\mu\text{J}$ 的电能为射频发射机供电,该发射机以无线方式发送 10 个 12 位数字编码数据包到远程基站。为了延长 WPT 的距离,证明自谐振线圈以一种强耦合方式运行。实验结果显示,WPT 系统输出的功率是 1W ,效率为 51% ,可以为相距 20cm 的小灯泡供电。

直到这个阶段,提出的 EH 原型概念已经得到证明。研究 EH 系统在无线传感器供电过程中的特性,并在实验室用不同的运行环境对其进行测试。此外,根

据它们的设计应用进一步对 EH 原型进行优化，然而现实中部署区域的环境条件并不像实验室那样理想。因此，在未来的工作中，EH 研究的下一阶段将其实施到一系列的具体应用中，试图评估出 EH 系统在很长一段时间内现实部署环境下的性能。为了 EH 机制的成功应用，将介绍关于能源损耗的整体系统的优化，包括 WSN 在整个链条（即从感知环境参数到可靠地传输和传递已感知的参数）中的循环运行。这部分的研究超出了本书的范畴，因此在以后的工作中再做这方面的研究。

目 录

译者序

原书前言

第1章 概述	1
1.1 WSN 的动机	3
1.1.1 WSN 的结构	4
1.1.2 WSN 的应用	8
1.1.3 WSN 的无线传感器节点	9
1.2 无线传感器节点供电问题	12
1.2.1 传感器节点的高功耗	12
1.2.2 传感器节点的能源限制	15
1.3 无线传感器节点的能量收集方案	17
1.3.1 EH 的概述	17
1.3.2 EH 系统	20
1.3.3 对 EH 系统之前研究的回顾	21
1.4 本书的贡献	27
1.5 本书的结构	29
1.6 本章小结	30
第2章 风能收集系统	31
2.1 使用风力发电机的直接 WEH 方法	31
2.1.1 风力发电机	33
2.1.2 高效的功率管理电路的设计	35
2.1.3 实验结果	48
2.1.4 本节小结	53
2.2 采用压电材料的间接 WEH 方法	54
2.2.1 基于振动的压电风能收集器	54
2.2.2 压电风能收集器的特点和性能	64
2.2.3 PPU	68
2.2.4 实验结果	70

2.2.5 本节小结	73
第3章 热能收集系统	74
3.1 热能收集器	74
3.1.1 TEG 的介绍	75
3.1.2 热能收集器的分析	76
3.1.3 热能收集器的特性	78
3.2 基于电阻模拟的 MPPT	79
3.3 无线传感器节点的 TEH 的实现	83
3.3.1 降压变换器与基于仿真电阻的最大功率点跟踪	84
3.3.2 储能	85
3.3.3 调节型降压变换器和无线传感器节点	86
3.4 实验结果	86
3.5 本章小结	89
第4章 振动能收集系统	91
4.1 使用压电按钮式点火器的基于冲击力 VEH	92
4.1.1 压电式按钮	93
4.1.2 能量存储和功率处理单元	96
4.1.3 实验结果	97
4.1.4 本节小结	101
4.2 使用预应力压电隔膜材料的基于冲击力的 VEH	102
4.2.1 预应力压电隔膜材料的综述	103
4.2.2 THUNDER 锆钛酸铅双单晶片的特性和性能	105
4.2.3 功率管理电路	108
4.2.4 实验结果	110
4.2.5 本节小结	113
第5章 混合能量收集系统	114
5.1 SEH 系统	115
5.2 复合型太阳能和风能 (S+W)	118
5.2.1 WEH 子系统	119
5.2.2 SEH 子系统	120
5.2.3 太阳能和风能的混合型收集系统	125
5.2.4 实验结果	127
5.2.5 本节小结	132
5.3 复合型太阳能, 热 (S+T) 能源	132

5.3.1 室内能源的概述	133
5.3.2 室内 SEH 子系统	135
5.3.3 TEH 子系统	136
5.3.4 太阳能和热能的 HEH	139
5.3.5 实验结果	147
5.3.6 本节小结	151
第 6 章 “无线”电功率传输	153
6.1 从电源线上传输电感耦合功率	154
6.1.1 磁能收集器	155
6.1.2 功率管理电路	158
6.1.3 实验结果	161
6.1.4 本节小结	163
6.2 通过强耦合磁谐振的 WPT	164
6.2.1 WPT 与磁谐振的概念原理	165
6.2.2 仿真结果	169
6.2.3 WPT 系统的特性	172
6.2.4 实验结果	174
6.2.5 本节小结	178
第 7 章 结论和未来的工作	179
7.1 结论	179
7.2 未来研究工作	180
参考文献	182

第 1 章 概 述

随着无处不在的计算需求的快速增长，计算机已经成为人类日常生活的关键部分^[2]。无论我们是否使用计算机从网络中收集信息，或用于娱乐，或做生意，计算机已显著地变为越来越普遍的工具，其尺寸也越来越小。我们经常会忽略周围那些数以亿计的小型计算设备，这些设备与现实世界的智能环境^[2]融为一体从而提供智慧，以此帮助我们解决一些日常生活中的关键问题。当我们在 Google 上忘乎所以地学习“加 1”游戏时，物联网（IOT）刚刚超过了居住在地球上的人数。不仅仅是智能手机和平板电脑，连接到因特网上的“物体”数量只会随着连接的设备数目的不断增加而继续扩大。甚至可以将每头牛编码和归类，用于发送消息到网络。思科（Cisco）公司的戴夫·伊万斯（Dave Evans）提到“将有越来越多的设备接入网络，这些设备数量可能比地球上使用这些设备的人还要多。”这怎么可能呢？图 1.1 显示了一张该公司刚刚发布的信息图，使我们对物体接入网络有了一个视觉上的简单印象，即他们如何在可预见的未来为我们提供服务。

从图 1.1 可以看出，到 2020 年，我们周围将有 500 亿这样的物体。为了实现智能环境和普适计算这样一个愿景，其中普适计算也称为泛在计算，许多这样的小型化计算设备融入到日常物体和行为中，更好地实现了人机交互。这些计算设备都配备感知、处理和计算能力，称为无线传感器节点。当这些无线传感器之间相互连接时，组成的网络称为无线传感器网络（WSN），如图 1.2 所示。

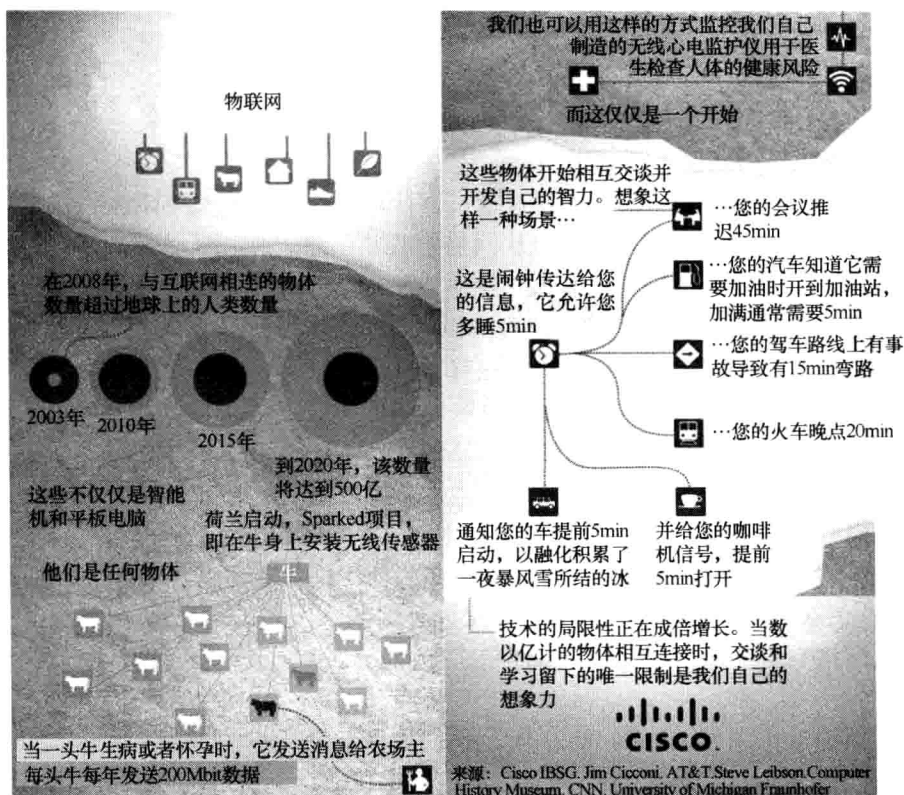


图 1.1 超越人类网络的物联网

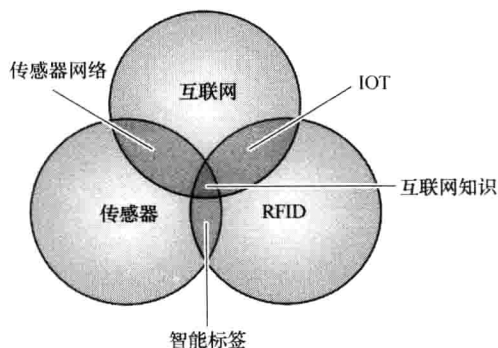


图 1.2 WSN 和 IOT 之间的重叠 (RFID: 射频识别)

1.1 WSN 的动机

后现代是指包括人类的每件事相互连接的时代，如图 1.3 所示。随着周围环境与不可见的小型智能计算设备的紧密相连，并将传感器嵌入到日常环境的物体

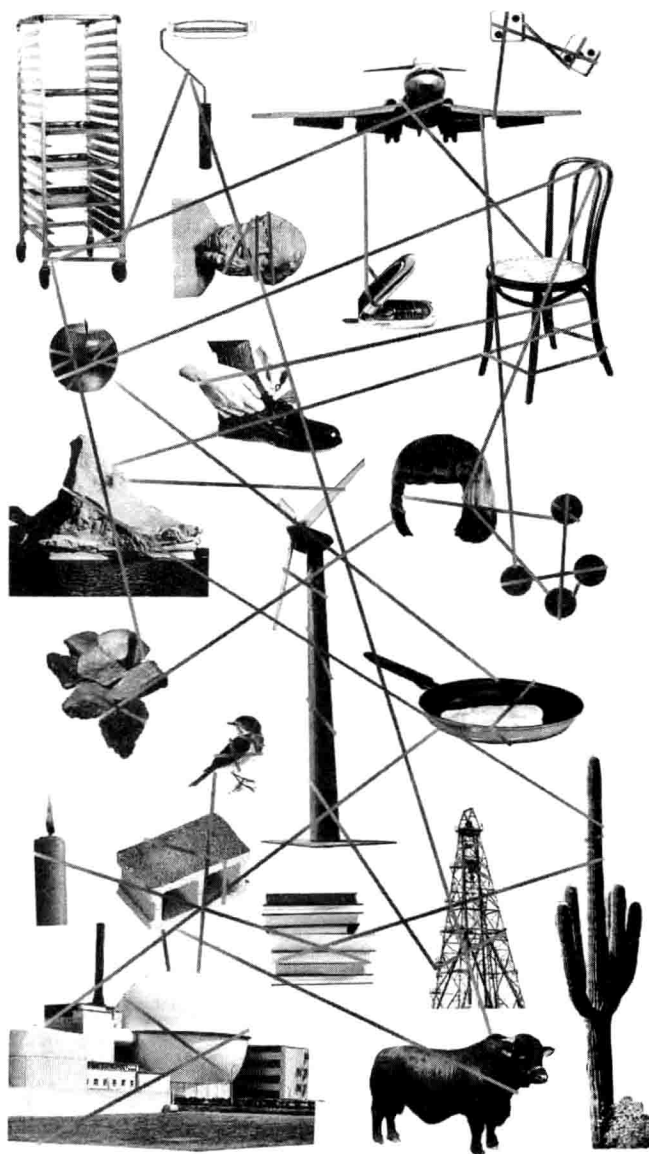


图 1.3 当一切都连接成网络时

中,环境能够以个性化和相关的方式识别和响应任何个体的存在和行为。随着无线通信技术的迅速发展,传感器和驱动器、高度集成的微电子技术以及 WSN 得到了全世界的广泛关注,这些设备能够方便地监测和控制远程位置的物理环境,而这些位置通常是人为很难到达或比较危险的地方。在麻省理工学院(MIT)创新技术回顾杂志(Technology Review magazine)上所刊载的2003年2月出版的文章^[3],编辑们将 WSN 确定为十大改变世界的新兴技术中的第一位。

在许多行业中,这些网络通信的传感器和计算智能正在转变为产品和经验。智能的工业装置包括喷气发动机、桥梁和石油钻塔,当这些工业装置需要维修时,传感器节点会提醒人们防止设备发生故障。计算机追踪传感器节点上关于喷气发动机的操作性能或是石油钻塔上一些轻微的结构变化数据,从而找到即将出现故障的报警模式。在水果或蔬菜中的传感器可以追踪位置和发现产品,提前发出产品腐烂的警报,使得出货前就能够更改产品的线路或日期。计算机从铁路机车上获取 GPS(全球定位系统)数据,考虑到火车的重量和长度以及地形,以此减少不必要的制动而抑制燃油消耗高达10%以上。

1.1.1 WSN 的结构

WSN 表示了有线传感器网络得到显著地改善,从而大大降低了电路的通信电缆和相关的安装和维修费用。图1.4说明了这些网络系统的概况。一个 WSN 的结构典型地包含了多个普遍的传感器节点、接收点、公共网络、管理节点和端用户^[4]。在目标传感器区域散布着许多微小的、智能的且便宜的传感器节点,用于收集数据,并将有用的信息传回到端用户。这些传感器节点通过无线连接彼此合作,组成了一个通信网络,从而实现收集、传送和分析环境中的数据。为了确保全连通性、容错和长时间的运行寿命,WSN 以移动自组织方式进行部署,该网络使用多跳网络协议以获得现实世界中的信息并执行无处不在的控制^[5]。如图1.5所示,节点A沿着传感器域内其他节点的路径传送收集的数据。当数据到达传感器节点域的边界即节点E时,将此数据传送给接收节点。该接收节点充当具有较高处理能力的网关,与任务管理节点进行通信。通过因特网或卫星构成的公共网络完成接收节点和任务管理节点之间的连接。一旦端用户接收到来自任务管理节点的数据,它则马上在接收的数据上执行一些处理行为。

在图1.5中,接收节点本质上是一个已部署的传感器节点和端用户之间的协调器,它也可以视为一个网关节点。由于每个无线传感器节点的功率和计算能力有限,则 WSN 结构中必须具有接收节点。对于网关节点,通常是由方便且有效的交流(AC)主电路供电,这些网关节点配备了一个较好的处理器和足够大的存储空间,在数据传送到最终目的地之前,这些空间就能满足额外信息处理的需要。因此,网关节点能够共同承担并加载无线传感器节点上的负载,因而延长了