

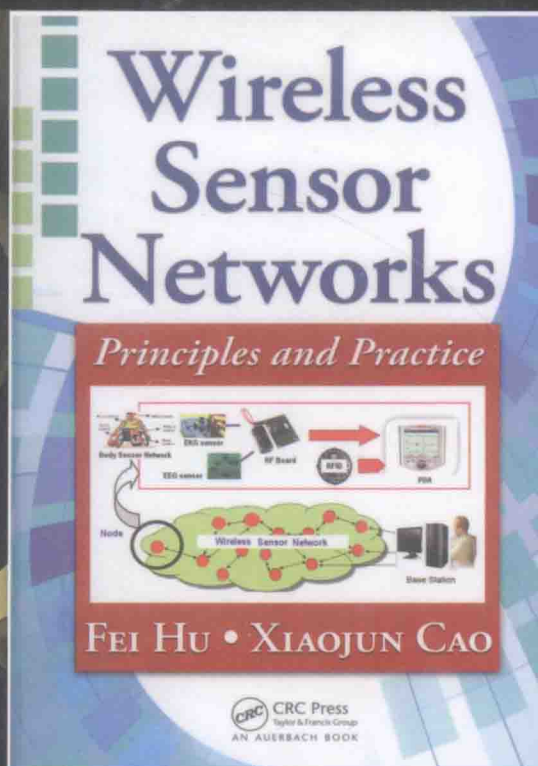
无线传感器网络

原理与实践

[美] 胡飞 (Fei Hu) 曹小军 (XiaoJun Cao) 著

牛晓光 宫继兵 译

Wireless Sensor Networks
Principles and Practice



机械工业出版社
China Machine Press

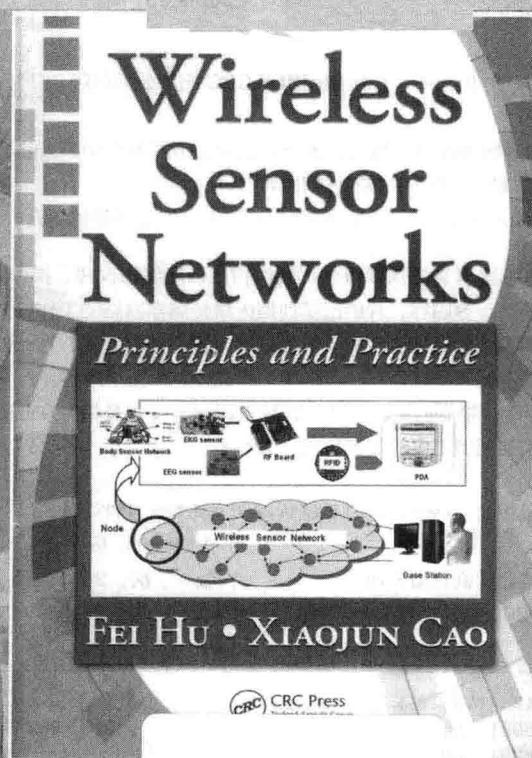
计 算 机 科 学 丛

无线传感器网络

原理与实践

[美] 胡飞 (Fei Hu) 曹小军 (XiaoJun Cao) 著
牛晓光 宫继兵 译

Wireless Sensor Networks
Principles and Practice



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

无线传感器网络：原理与实践 / (美) 胡飞 (Fei Hu), (美) 曹小军 (XiaoJun Cao) 著；牛晓光，宫继兵译. —北京：机械工业出版社，2015.1

(计算机科学丛书)

书名原文：Wireless Sensor Networks: Principles and Practice

ISBN 978-7-111-40699-0

I. 无… II. ①胡… ②曹… ③牛… ④宫… III. 无线电通信 - 传感器 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 028513 号

本书版权登记号：图字：01-2011-5062

Wireless Sensor Networks: Principles and Practice by Fei Hu and XiaoJun Cao (978-1-4200-9215-8)

Copyright © 2010 by Taylor Francis Group, LLC

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

China Machine Press is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only (excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan). No part of this publication may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

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

本书原版由 Taylor & Francis 出版集团旗下 CRC 出版公司出版，并授权翻译出版。版权所有，侵权必究。

本书中文简体字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抄袭本书的任何内容。

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

本书介绍了无线传感器网络的基本概念、硬件构成、网络协议栈、操作系统、中间件、定位技术、安全策略、数据管理、同步等内容，并给出了典型无线传感器网络的工作机制，通过两个案例进一步说明了无线传感器网络相关技术的综合应用。本书内容丰富、语言简练，理论叙述深入浅出。书中提供了丰富的课后练习题、思考题和学习资源，可供学习者充分巩固所学内容。

本书适合作为高等院校物联网工程专业、计算机科学与技术及相关专业的“无线传感器网络”课程的教材，也可供从事相关领域工作的工程技术人员参考。

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：朱 劼

责任校对：殷 虹

印 刷：北京诚信伟业印刷有限公司

版 次：2015 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

开 本：185mm×260mm 1/16

印 张：21.75

书 号：ISBN 978-7-111-40699-0

定 价：79.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

客服热线：(010) 88378991 88361066

投稿热线：(010) 88379604

购书热线：(010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱：hzjsj@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

文艺复兴以来,源远流长的科学精神和逐步形成的学术规范,使西方国家在自然科学的各个领域中取得了垄断性的优势;也正是这样的优势,使美国在信息技术发展的六十多年间名家辈出、独领风骚。在商业化的进程中,美国的产业界与教育界越来越紧密地结合,计算机学科中的许多泰山北斗同时身处科研和教学的最前线,由此而产生的经典科学著作,不仅擘划了研究的范畴,还揭示了学术的源变,既遵循学术规范,又自有学者个性,其价值并不会因年月的流逝而减退。

近年,在全球信息化大潮的推动下,我国的计算机产业发展迅猛,对专业人才的需求日益迫切。这对计算机教育界和出版界都既是机遇,也是挑战;而专业教材的建设在教育战略上显得举足轻重。在我国信息技术发展时间较短的现状下,美国等发达国家在其计算机科学发展的几十年间积淀和发展的经典教材仍有许多值得借鉴之处。因此,引进一批国外优秀计算机教材将对我国计算机教育事业的发展起到积极的推动作用,也是与世界接轨、建设真正的世界一流大学的必由之路。

机械工业出版社华章公司较早意识到“出版要为教育服务”。自1998年开始,我们就将工作重点放在了遴选、移译国外优秀教材上。经过多年的不懈努力,我们与Pearson, McGraw-Hill, Elsevier, MIT, John Wiley & Sons, Cengage等世界著名出版公司建立了良好的合作关系,从他们现有的数百种教材中甄选出Andrew S. Tanenbaum, Bjarne Stroustrup, Brian W. Kernighan, Dennis Ritchie, Jim Gray, Alfred V. Aho, John E. Hopcroft, Jeffrey D. Ullman, Abraham Silberschatz, William Stallings, Donald E. Knuth, John L. Hennessy, Larry L. Peterson等大师名家的一批经典作品,以“计算机科学丛书”为总称出版,供读者学习、研究及珍藏。大理石纹理的封面,也正体现了这套丛书的品位和格调。

“计算机科学丛书”的出版工作得到了国内外学者的鼎力襄助,国内的专家不仅提供了中肯的选题指导,还不辞劳苦地担任了翻译和审校的工作;而原书的作者也相当关注其作品在中国的传播,有的还专门为其书的中译本作序。迄今,“计算机科学丛书”已经出版了近两百个品种,这些书籍在读者中树立了良好的口碑,并被许多高校采用为正式教材和参考书籍。其影印版“经典原版书库”作为姊妹篇也被越来越多实施双语教学的学校所采用。

权威的作者、经典的教材、一流的译者、严格的审校、精细的编辑,这些因素使我们的图书有了质量的保证。随着计算机科学与技术专业学科建设的不断完善和教材改革的逐渐深化,教育界对国外计算机教材的需求和应用都将步入一个新的阶段,我们的目标是尽善尽美,而反馈的意见正是我们达到这一终极目标的重要帮助。华章公司欢迎老师和读者对我们的工作提出建议或给予指正,我们的联系方式如下:

华章网站: www.hzbook.com

电子邮件: hzjsj@hzbook.com

联系电话: (010) 88379604

联系地址: 北京市西城区百万庄南街1号

邮政编码: 100037



华章教育

华章科技图书出版中心

译者序

Wireless Sensor Networks: Principles and Practice

随着无线通信、电子与传感技术的发展,无线传感器网络引起了人们的广泛关注,它可以把虚拟世界与现实世界以前所未有的规模进行连接,在国家安全、环境监测、交通管理、空间探索、灾难预防等领域具有重大的应用价值。

本书全面、系统地介绍了无线传感器网络在理论和实践方面的基本原理和经典协议、算法以及应用实例。全书共分为18章,基本覆盖了无线传感器网络所有领域,包括硬件设计、介质访问控制、路由协议、传输协议、操作系统、中间件、数据管理定位、时间同步、安全、执行器/水下/视频传感器网络、能量控制和传感器网络仿真等,介绍了各领域所面临的主要技术挑战和最新研究成果。本书通过列举生动有趣的应用实例,使复杂的概念变得简单易懂,为解决无线传感器网络应用系统中面临的实际问题在架构、协议、建模、分析和解决方案等方面提供了有效的指导。在每章结尾,给出了大量的实际问题和练习,帮助读者们全面理解及掌握相关内容。

本书材料权威丰富,体系结构完整,内容新颖翔实,知识系统全面,行文通俗易懂,兼备知识性、系统性、可读性、实用性和指导性,是一本难得的高层次的教科书。本书既适合作为高等学校物联网工程、计算机、通信等信息技术类专业研究生教材或本科生课程参考书,也适合作为从事相关的研究或开发工作的专业技术人员的高级参考资料。

本书翻译工作由武汉大学计算机学院牛晓光和燕山大学信息科学与工程学院宫继兵合作完成,牛晓光负责前言、第2章至第5章、第11章、第15章至第18章及附录等其他部分,宫继兵负责第1章、第6章至第10章、第12章至第14章。牛晓光负责了初校统稿和最后的审校定稿。感谢机械工业出版社朱劼在书稿翻译过程中的悉心指导和全力支持,感谢武汉大学计算机学院的魏川博和陈曦同学参与协助翻译和清样审校。

限于译者水平,难免有错误和不当之处,敬请读者见谅并给我们提出宝贵意见。

译者

2014年12月于武汉大学

在当今信息爆炸的时代，无线传感器网络（WSN）已成为研究热点之一。科学与机械工程方面的最新进展为建立低能耗、低成本的无线传感器网络提供了有利条件。无线传感器网络为日益增加的应用需求提供了足够的发展空间与有效的解决方案，例如基础设施的保护与安全维护、管理与监控、健康护理、环境监测、食品安全与智慧能源等。相比于传统的网络技术，无线传感器网络具有许多优势，但后者在网络结构的设计、模型与算法等方面也存在很多极具挑战性的问题。无线传感器网络在设计中存在很多限制，例如有限的能耗、带宽、存储空间和计算能力，节点的高失效率与消息丢失率，不利的通信环境与独特的应用要求。目前为止，在学术与工业领域已有很多关于无线传感器网络的研究。

最近，出版了一些传感器网络领域方面的书籍，但大多数并不适合当作教材，因为其覆盖的领域有限或者编辑并不得当。本书则尝试综合讨论传感器网络中的主要技术、标准、主要问题和最新发展。它基本覆盖了此领域读者所需的所有主题，包括硬件设计、介质访问控制、路由协议、传输协议、操作系统，中间件、数据管理定位、时间同步、安全、执行器/水下/视频传感器网络、能量控制和传感器网络模拟等。

本书通过列举生动有趣的无线传感器网络应用实例，使复杂的概念变得简单易懂。另外，本书设计了丰富的课后练习、作业与详实的应用案例，帮助读者理解书中内容，并能够将自己的知识应用到无线传感器网络的设计中或者解决现实生活中的问题。本书还包括一些实际的传感器网络设计，比如医疗健康护理系统。

目标阅读人群

作为教材，本书适合计算机工程、电子工程或者计算机科学、物联网工程等相关专业的高年级本科生和低年级研究生使用。对于想全面了解无线传感器网络技术的传感器网络设计者、研究者和工程师来说，这是一本优秀的参考书。另外，本书也适用于政府部门工作人员，他们可以通过学习此书，利用无线传感器网络保障国土安全。

本书内容

	第1章 绪论（无线传感器网络概述、基本的网络概念）
计算机工程知识	第2章 硬件——传感器节点的体系结构与设计（具有微型控制器和无线通信模块的微型传感器节点）
网络协议栈	第3章 MAC层（相邻节点无线传输）
	第4章 路由层（建立源节点与目的节点间的最优通信路径）
	第5章 传输层（丢包恢复，拥塞控制）
计算机科学知识	第6章 操作系统（TinyOS等）
	第7章 中间件（向应用开发程序人员隐藏网络细节）
	第8章 传感器数据管理
高级无线传感器网络技术	第9章 定位（也称为定标，非常重要）
	第10章 时钟同步（修正传感器节点时钟漂移带来的误差）
	第11章 安全（无线传感器网络面临的攻击及相应安全机制）

(续)

特殊传感器网络	第 12 章 无线执行器与传感器网络（具有移动执行器）
	第 13 章 水下传感器网络（通信采用声波而非射频）
	第 14 章 视频传感器网络
其他技术	第 15 章 能量模型与低功耗设计
	第 16 章 无线传感器网络模拟器
应用案例分析	第 17 章 无线传感器网络应用案例：医疗健康护理系统
	第 18 章 无线传感器网络应用案例：灯光控制

教学建议

本书可以用于学时为一个学期（15 周）的“无线传感器网络”课程教材，下表给出了本书中不同教学单元的时间分配建议。教师可以根据学生的反馈与学习的实际情况调整教学计划。

时间长度	教学内容	章节
2 周	无线传感器网络概况、传感器节点硬件（对于计算机专业本科生，本内容可以缩减）	第 1 章与第 2 章
2 周	MAC 层（至少讲授两个 MAC 方案，重点为“能量节省”设计）	第 3 章
2.5 周	路由层（讲授主动式/反应式路由协议，重点为可扩展性设计）	第 4 章
1.5 周	传输层（讲授可靠的端到端传输和拥塞控制两部分内容）	第 5 章
1 周	操作系统；中间件（对于计算机专业本科生，可用两周时间讲授本部分）	第 6 章与第 7 章
1 周	传感器数据管理（对于计算机专业本科生，可用两周时间讲授本部分）	第 8 章
1 周	传感器节点定位、时间同步（对于博士/硕士研究生，可用 2~3 周时间深入讲授本部分）	第 9 章与第 10 章
1 周	无线传感器网络安全（讲授 μ TESLA、E-G、 q -Composite 等经典认证、密钥管理协议）	第 11 章
1.5 周	特殊传感器网络（着重讲授水下无线传感器网络）	第 12 章到第 14 章
0.5 周	能量模型；无线传感器网络模拟器	第 15 章与第 16 章
1 周	典型应用案例学习	第 17 章与第 18 章
总计：15 周	对于每一章，教师应讲授相关数学模型、协议原理与设计实例。可以将一些教学内容作为课后阅读作业	

提示：教师应留一些课堂实验的时间。

对于时长为 10 周的“无线传感器网络”课程，本书中各教学单元的时间分配建议如下表所示。

时间长度	教学内容	章节
1.5 周	无线传感器网络概况、传感器节点硬件	第 1 章与第 2 章
1 周	MAC 层（重点讲授“能量节省”设计）	第 3 章
1.5 周	路由层（讲授主动式/反应式路由协议，重点为可扩展性设计）	第 4 章
1 周	传输层（讲授可靠的端到端传输和拥塞控制两部分内容）	第 5 章
0.5 周	操作系统；中间件（对于计算机专业本科生，可用 1.5 周时间讲授本部分）	第 6 章与第 7 章

(续)

时间长度	教学内容	章节
0.5 周	传感器数据管理（对于计算机专业本科生，可用1.5周时间讲授本部分）	第8章
1 周	传感器节点定位、时间同步（对于博士/硕士研究生，可用2~3周时间深入讲授本部分）	第9章与第10章
0.5 周	无线传感器网络安全（讲授 μ TESLA、E-G、 q -Composite等经典认证、密钥管理协议）	第11章
1 周	特殊传感器网络（着重讲授水下无线传感器网络）	第12章至第14章
0.5 周	能量模型、无线传感器网络	第15章与第16章
1 周	典型应用案例学习	第17章与第18章
总计：10 周	对于每一章，教师应讲授相关数学模型、协议原理与设计实例。可以将一些教学内容作为课后阅读作业	

对于计算机工程专业的学生，第2章的内容（传感器节点硬件设计）很重要，需要较多的时间进行系统学习。而计算机科学专业的学生需要细致地学习第6章至第8章内容（传感器网络操作系统和数据管理）。

还有一些章节，例如第8章~第10章（传感器网络定位、同步、安全），可以作为博士/硕士研究生的学期考试课题（也就是说，要求学生更深入地研究此课题，然后基于他们的研究提交一份研究报告）。第17章与第18章的内容可以作为大学高年级学生的研究项目。

在课堂教学过程中，不建议对本书涉及的无线传感器网络知识点以综述的形式进行讲解。教师应选择适当的典型设计案例，对案例涉及的相关概念进行详细阐述。例如，当讲授介质访问（MAC）层时，教师应至少详细介绍一种典型的MAC协议（例如S-MAC协议）。

数学理论对于无线传感器网络设计尤其重要。因此，学生应仔细学习各章节中出现的一些经典数学模型。博士/硕士研究生更应着重学习这些模型。

MATLAB[®]为美国MathWorks公司的注册商标，如需了解有关MATLAB的产品信息请联系：

MathWorks 公司

3 Apple Hill Drive

Natick, MA 01760-2098 USA

电话：508-647-7000

传真：508-647-7001

电子邮箱：info@mathworks.com

公司网址：www.mathworks.com

致谢

作为本书的主编，Xiaojun Cao博士编写了本书1/5的内容，Fei Hu博士编写了4/5的内容。我们对在此书的筹备与编写过程中给予帮助的人们表示真诚的感谢。阿拉巴马大学电子与计算机工程学院的学生帮助校对了本书的部分图表与数学公式，他们也协助编辑了本书的部分内容。感谢Rahul Mallampati帮助我们修订本书内容，编辑部分图表，并用微软Word规范了此书格式。还要感谢Barnali Chakrabarty和Auerbach出版集团的工作人员，在写作过程中他们提供了长期的支持与帮助。

最后要声明一点，本书的大部分内容与其中的概念都基于目前已有的研究成果，因为篇幅有限，这里我们不能将其一一列出。我们尤其要感谢那些在无线传感器网络领域发表与出版了优秀论文与书籍的作者们。

声明

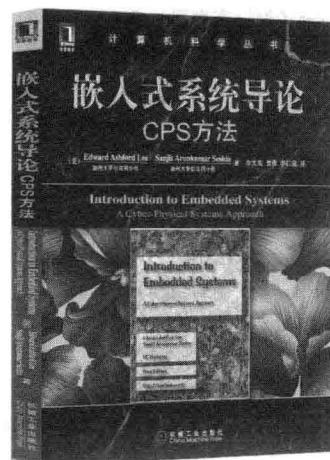
本书出版的目的是以教科书的形式为学生和工程师介绍无线传感器网络设计的概念与发展现状。需要说明的是，本书并不致力于介绍先进的创新和研究理念。尽管我们尽力利用本书中提到的参考文献，但书中难免存在一些缺点和错误。我们真诚地感谢本书中引用的无线传感器网络领域文献的作者。希望读者在发现本书中的错误时能与我们联系。Fei Hu 的电子邮箱为 fei.hu@ieee.org，Matt Cao 的邮箱为 cao@cs.gsu.edu。我们将会再版中修改和完善书中相关内容。

推荐阅读



云计算与分布式系统：从并行处理到物联网

作者：(美) Kai Hwang 等 ISBN: 978-7-111-41065-2 定价: 85.00元



嵌入式系统导论：CPS方法

作者：(美) Edward Ashford Lee 等 ISBN: 978-7-111-36021-6 定价: 55.00元



云计算：概念、技术与架构

作者：(美) Thomas Erl 等 ISBN: 978-7-111-46134-0 定价: 69.00元



多处理器编程的艺术 (修订版)

作者：(美) Maurice Herlihy 等 ISBN: 978-7-111-41858-0 定价: 69.00元

译者序
前言

第一部分 基础知识

第1章 绪论	2
1.1 基础知识	2
1.2 介质访问控制层	6
1.3 路由	7
1.4 其他通信问题	7
1.5 传感器定位	8
1.6 时钟同步	9
1.7 电源管理	9
1.8 特殊的无线传感器网络	9
1.8.1 无线多媒体传感器 网络	9
1.8.2 水下声学无线传感器 网络	11
1.9 无线传感器网络的应用	12
问题与练习	15

第二部分 工程设计

第2章 硬件——传感器节点的体系 结构与设计	18
2.1 传感器节点的模块	18
2.1.1 传感器	18
2.1.2 微处理器	19
2.1.3 存储器	22
2.1.4 无线通信模块	23
2.1.5 电源	26
2.1.6 外围模块支持	28
2.2 综合设计	28
2.3 Mica 节点设计	31

2.4 定制节点——Spec	32
2.5 COTS 微尘系统	33
2.6 Telos 节点	35
2.7 CargoNet	36
问题与练习	40

第三部分 网络协议栈

第3章 无线传感器网络中的介质访问 控制技术	44
3.1 引言	44
3.1.1 无线传感器网络中的介质 访问控制	44
3.1.2 无线传感器网络中 MAC 设计的挑战性	44
3.2 IEEE802.11 标准概述	47
3.2.1 点协调功能	47
3.2.2 分布式协调功能	47
3.3 MAC 协议的分类	49
3.3.1 基于竞争的 MAC 协议	50
3.3.2 基于调度的 MAC 协议	57
3.3.3 混合型与事件驱动的 MAC 协议	60
3.4 总结	68
问题与练习	68
第4章 无线传感器网络的路由 技术	69
4.1 引言	69
4.1.1 资源受限	69
4.1.2 容错性	70
4.1.3 数据报告与融合	70
4.1.4 节点部署	70
4.1.5 可扩展性和覆盖度	70
4.1.6 网络动态性和异构性	71

4.2 本章的组织结构	71	5.4 E ² SRT: 事件到汇聚节点的增强 可靠传输协议	110
4.3 无线传感器网络路由协议的 分类	71	5.5 CODA: 传感器网络中的拥塞 检测与避免	115
4.3.1 主动式路由协议和反应式 路由协议	71	5.5.1 开环逐跳反压	117
4.3.2 平面路由协议和分层路由 协议	72	5.5.2 拥塞检测	118
4.4 以数据为中心的路由协议	72	5.5.3 基于采样的信道监听	119
4.4.1 洪泛和闲聊	73	5.6 STCP: 无线传感器网络的传输 控制协议	119
4.4.2 SPIN: 基于信息协商的 传感器网络路由协议	75	5.6.1 STCP 中的数据传输 序列	119
4.4.3 DD: 定向扩散路由	77	5.6.2 STCP 分组的格式	119
4.5 分层路由协议	81	5.6.3 连续数据流	120
4.5.1 LEACH: 低功耗自适应按 簇分层路由协议	82	5.6.4 事件触发数据流	121
4.5.2 TEEN: 阈值敏感的能量 高效传感器网络路由 协议	85	5.6.5 可靠性	121
4.6 基于位置信息的路由协议	88	5.6.6 拥塞检测与避免	121
4.7 多径 QoS 路由	92	5.6.7 以数据为中心的应用	122
4.7.1 多径路由	93	5.7 GARUDA: 实现有效可靠的下行 通信	122
4.7.2 多径 QoS 路由协议	94	5.7.1 无线传感器网络中下行数据 可靠性面临的挑战	122
4.8 小结	95	5.7.2 GARUDA 基本设计	123
问题与练习	95	5.7.3 GARUDA 架构	125
问题与练习	95	问题与练习	127
第5章 无线传感器网络传输层 技术	96	第四部分 计算机科学原理	
5.1 引言	96	第6章 传感器节点的操作系统	130
5.2 PSFQ	97	6.1 TinyOS	130
5.2.1 为什么 TCP 协议不适用于 传感器网络	97	6.1.1 概述	130
5.2.2 基本工作原理	98	6.1.2 组件模型	131
5.2.3 协议描述	101	6.1.3 执行模块与并发性	133
5.3 ESRT: 事件到汇聚节点的 可靠传输协议	104	6.1.4 主动消息	134
5.3.1 可靠传输问题	105	6.1.5 实现状况	134
5.3.2 归一化事件可靠性与报告 速率之间的关系	106	6.1.6 主要特性	134
5.3.3 拥塞检测	110	6.1.7 低功率优化	135
		6.2 LA-TinyOS: 无线传感器网络中的 一种局部性感知的操作系统	135

6.2.1	改变定时器以支持时间和空间局部性	137
6.2.2	多级任务调度器	137
6.2.3	LA-TinyOS 系统的代码结构	138
6.3	SOS	139
6.3.1	模块	139
6.3.2	动态内存	141
6.4	RETOS: 弹性可扩展多线程操作系统	141
6.4.1	应用代码检查	142
6.4.2	多线程系统	142
6.4.3	可加载内核模块	143
	问题与练习	144
第7章 无线传感器网络中的中间件设计		145
7.1	引言	145
7.2	无线传感器网络中间件参考模型	146
7.3	中间件实例: Agilla	147
7.4	用于获取数据的中间件实例: Mires	148
7.5	数据存储实例: DSWare	149
7.6	无线传感器网络运行时支持实例: Mate	149
7.7	QoS 支持实例: MiLAN	150
	问题与练习	150
第8章 传感器数据管理		152
8.1	传感器数据清理	152
8.1.1	背景	152
8.1.2	通用模型	153
8.1.3	降低不确定性	154
8.2	TinyDB: 应用于传感器网络的可获取的查询处理系统	156
8.2.1	数据模型	156
8.2.2	基本语言特点	156
8.2.3	基于事件查询	157

8.2.4	TinyDB 定义的其他	
	查询	158
8.2.5	基于能量的查询优化	158
8.2.6	TinyDB 策略一览	159
8.3	数据聚合：独立于应用的数据	
	聚合 (AIDA)	160
8.4	传感器数据存储：层次化数据	
	存储结构 (TSAR)	162
8.5	多分辨率数据处理	164
	问题与练习	164

第五部分 高级话题

第9章 传感器定位	168
9.1 引言	168
9.2 定位的基本要素	168
9.2.1 接收信号强度指示	169
9.2.2 到达时间	170
9.2.3 到达时间差	170
9.2.4 到达角度	171
9.2.5 三角测量	171
9.2.6 三边测量	171
9.2.7 多边定位	171
9.3 使用移动机器人进行传感器定位	172
9.4 多维标度节点定位	175
9.4.1 经典多维标度	176
9.4.2 迭代多维标度	176
9.5 无线传感器网络中的定位	179
9.5.1 蒙特卡洛方法	179
9.5.2 算法(1)	180
9.5.3 算法(2)	182
9.6 无GPS环境中的移动无线传感器网络的节点定位方法	183
9.7 高精度低功耗的无线传感器网络定位系统	185

9.8	LOCALE: 稀疏移动传感器	
	网络的协同定位估计	189
9.8.1	协同位置估计	189
9.8.2	LOCALE 中的定位	189
9.8.3	局部定位阶段	190
9.8.4	转换阶段	190
9.8.5	更新阶段	192
9.9	无线传感器网络定位的安全	192
9.9.1	SeRLoc	193
9.9.2	信标套件	194
9.9.3	攻击容忍的节点定位	194
9.9.4	稳健统计方法	194
	问题与练习	195
第 10 章 无线传感器网络中的时间		
	同步技术	196
10.1	引言	196
10.2	一般网络(非无线传感器网络)中的时间同步	198
10.2.1	远程时钟读取	198
10.2.2	偏移时延估计方法	199
10.3	无线传感器网络中的时钟同步	200
10.4	同步性能的评估	202
10.4.1	精度	202
10.4.2	协议开销	203
10.4.3	收敛时间	203
10.4.4	能效	203
10.4.5	可扩展性	203
10.4.6	鲁棒性	203
10.5	无线传感器网络同步协议的例子	203
10.5.1	参考广播同步	203
10.5.2	时间扩散同步协议	205
10.5.3	概率时钟同步	207
	问题与练习	208
第 11 章 无线传感器网络安全与		
	隐私	209
11.1	引言	209

11.1.1	一般攻击类型	209
11.1.2	物理节点攻击	209
11.1.3	针对无线传感器网络通信 协议栈的攻击	210
11.2	攻击与对策示例: 虫洞 攻击	214
11.3	无线传感器网络安全示例: 基于 Blom 模型的方法	220
11.4	广播认证: 基于时间的高效的 容忍丢包的流认证协议 μ TESLA	222
11.5	面向传感器节点的实用安全 机制	225
11.5.1	TinySec	225
11.5.2	MiniSec: 一种面向无线 传感器网络的安全通信 架构	226
11.6	案例: 无线传感器网络中的 安全时间同步	226
问题与练习		230

第六部分 特殊无线传感器网络

第 12 章	无线传感器和执行器网络	234
12.1	引言	234
12.2	传感器-执行器协同问题	236
12.2.1	网络和能量模型	236
12.2.2	ILP 算法	237
12.2.3	传感器-执行器协同 工作: 分布式协议	238
12.2.4	DEPR 概述	239
12.3	层次化传感器-执行器协同 工作机制	240
12.3.1	层次化 WSN 协同工作 架构	240
12.3.2	“传感器-传感器”协同工 作层次——使用聚类	241

12.3.3 “传感器-执行器”协同工 作层次	242
12.3.4 “执行器-执行器”协同 工作层次	242
问题与练习	243
第13章 水下传感器网络	244
13.1 引言	244
13.1.1 水下无线传感器网络 应用	244
13.1.2 水下无线传感器网络与 陆上无线传感器网络的 区别	244
13.1.3 网络拓扑	245
13.1.4 声频信号传输	246
13.1.5 水下传感器	246
13.2 水下无线传感器网络协 议栈	247
13.2.1 物理层	247
13.2.2 数据链路层	247
13.2.3 网络层(路由层)	248
13.2.4 传输层	248
13.3 介质访问控制设计实例	249
13.4 路由设计实例:基于矢量的 转发协议	251
13.5 硬件原型设计	253
13.5.1 硬件设计	253
13.5.2 软件设计	254
13.5.3 系统测试	254
问题与练习	256
第14章 视频传感器网络	257
14.1 引言	257
14.2 Panoptes	258
14.2.1 视频捕捉	258
14.2.2 视频压缩	259
14.2.3 数据过滤	259
14.2.4 数据缓存	259
14.3 Cyclops	259
14.4 视频传感器网络定标	261

14.4.1 确定重叠的程度	262
14.4.2 估计 k-overlap 值	262
14.5 SensEye	263
问题与练习	265

第七部分 其他主题

第15章 无线传感器网络能量 模型	268
15.1 基本 WSN 能量模型	268
15.2 基于仿真的能量模型	270
15.3 能量感知路由	273
问题与练习	276
第16章 传感器网络仿真器	277
16.1 GloMoSim	277
16.2 SensorSim	277
16.3 TOSSIM	278
16.4 PowerTOSSIM	281
16.4.1 PowerTOSSIM 的结构	281
16.4.2 组件装配	282
16.4.3 CPU 能耗分析	282
16.4.4 PowerState 模块	282
16.4.5 分析工具	283
问题与练习	283

第八部分 案例研究

第17章 案例研究1:远程医疗 服务	286
17.1 引言	286
17.2 远程心电图传感器网络的 硬件设计	287
17.3 可靠的 MASN 通信协议	289
17.3.1 增强的基于聚类的 MASN 数据传输	289
17.3.2 MASN 的路由性能	291
17.4 MASN 的软件设计	293

17.5	RFID 和可穿戴传感器的集成	294	18.3	系统结构	301
	问题与练习	298	18.4	校准	301
第 18 章	案例研究 2: 灯光控制	299	18.5	系统评估	302
18.1	引言	299		问题与练习	303
18.2	Illumimote 系统的传感器	300	参考文献		305
			索引		323

| 第一部分 |
Wireless Sensor Networks: Principles and Practice

基础知识