

WILEY

Ananthram Swami

Qing Zhao

Yao-Win Hong

Lang Tong

W

Wireless Sensor Networks: Signal Processing and Communications Perspectives

无线传感器网络 信号处理与通信

[美] 阿南萨拉姆·斯瓦米 编
赵青 洪乐文 童朗
任品毅 王熠晨 译



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

Wireless Sensor Networks
Signal Processing and Communications Perspectives

无线传感器网络

信号处理与通信

阿南萨拉姆·斯瓦米

[美]

赵 青

洪乐文

童 朗

编

~~Ananthram Swami~~

~~Army Research Laboratory, USA~~

Qing Zhao

University of California at Davis, USA

Yao-Win Hong

National Tsing Hua University, Taiwan

Lang Tong

Cornell University, USA

王品毅 王熠晨 译



西安交通大学出版社
Xi'an Jiaotong University Press

Ananthram Swami, Qing Zhao, Yao-Win Hong, Lang Tong
Wireless Sensor Networks: Signal Processing and Communications Perspectives
ISBN 978 - 0470 - 035573
Copyright ©2007 by John Wiley & Sons Ltd.

All rights Reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, scanning or otherwise, except under the terms of the Copyright, Designs and Patents Act 1988 of under the terms of a licence issued by the Copyright Licensing Agency Ltd, 90 Tottenham Court Road, London W1T 4LP, UK, without the permission in writing of the Publisher. Requests to the Publisher should be addressed to the Permissions Department, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, or emailed to permreq @wiley.co.uk, or faxed to (+44) 1243 770620.

All Rights Reserved. Authorised translation from the English language edition published by John Wiley & Sons Limited. Responsibility for the accuracy of the translation rests solely with Xi'an Jiaotong University Press and is not the responsibility of John Wiley & Sons Limited. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyright holder, John Wiley & Sons Limited.

陕西省版权局著作权合同登记号 图字 25 - 2009 - 032 号

图书在版编目(CIP)数据

无线传感器网络:信号处理与通信/(美)斯瓦米(Swami, A.)
等编;任品毅,王熠晨译. —西安:西安交通大学出版社,2014.6
书名原文:Wireless sensor networks: signal processing and communications perspectives
ISBN 978 - 7 - 5605 - 6124 - 0

I. ①无… II. ①斯… III. ①无线电通信-传感器
IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 074144 号

书 名	无线传感器网络:信号处理与通信
编 者	阿南萨拉姆·斯瓦米 赵 青 洪乐文 童 朗
译 者	任品毅 王熠晨

出版发行	西安交通大学出版社 (西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)
网 址	http://www.xjtupress.com
电 话	(029)82668357 82667874(发行中心) (029)82668315(总编办)
传 真	(029)82668280
印 刷	西安东江印务有限公司

开 本	687mm×1 012 mm	1/16	印张	24.75	字数	441 千字
版次	2015 年 12 月第 1 版		2015 年 12 月第 1 次印刷			
书 号	ISBN 978 - 7 - 5605 - 6124 - 0/TP · 616					
定 价	69.00 元					

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82665397

读者信箱:banquan1809@126.com

版权所有 侵权必究

贡献者

Müjdat Çetin

Sabancı University
Faculty of Engineering and Natural
Sciences
Orhanlı – Tuzla
34956 Istanbul
mccetin@sabanciuniv.edu

Jean-François Chamberland

Texas A&M University
Department of Electrical and Computer
Engineering
College Station, TX 77843-3128
USA
chmbrlnd@tamu.edu

Lei Chen

Massachusetts Institute of Technology
77 Massachusetts Avenue, 32-D568
Cambridge, MA 02139
USA
lchen@mit.edu

Yunxia Chen

Department of Electrical and Computer
Engineering
University of California, Davis
Davis, CA 95616
USA
yxchen@ece.ucdavis.edu

Anthony Ephremides

Dept. of Electrical Engineering
University of Maryland
College Park, MD 20742
USA
etony@ece.umd.edu

John W. Fisher III

Massachusetts Institute of Technology
77 Massachusetts Avenue, 32-D468
Cambridge, MA 02139
USA
fisher@csail.mit.edu

Michael Gastpar

University of California, Berkeley
Department of Electrical Engineering and
Computer Sciences
265 Cory Hall
Berkeley, CA 94110-1770
USA
gastpar@eecs.berkeley.edu

Georgios B. Giannakis

Dept. of Electrical and Computer
Engineering
University of Minnesota
200 Union Street SE
Minneapolis, MN 55455,
USA
georgios@umn.edu

Arvind Giridhar

Interest Rate Products Strategies, FICC
Goldman Sachs & Co
85 Broad Street, New York, NY 10004
USA
arvind.giridhar@gmail.com

Yao-Win Hong

101 Section 2 Kuang-Fu Rd.
National Tsing Hua University
EECS Building 620B

Hsinchu, 30013
Taiwan
ywhong@ee.nthu.edu.tw

Alexander T. Ihler
Toyota Technological Institute
University Press Building
1427 East 60th Street, Second Floor
Chicago, Illinois 60637
USA
ihler@tti-c.org

Pradeep Khosla
Department of Electrical and Computer
Engineering
Carnegie Mellon University
5000 Forbes Ave
Carnegie Mellon University
Pittsburgh
PA 15213
USA
pkk@ece.cmu.edu

O. Patrick Kreidl
Massachusetts Institute of Technology
77 Massachusetts Avenue, 32-D572
Cambridge, MA 02139
USA
opk@mit.edu

Vikram Krishnamurthy
Department of Electrical and Computer
Engineering
University of British Columbia
Vancouver, V6T 1Z4
Canada
vikramk@ece.ubc.ca

Sanjeev R. Kulkarni
Department of Electrical Engineering
Princeton University
Princeton, NJ 08540
USA
kulkarni@princeton.edu

P.R. Kumar
University of Illinois

CSL
1308 West Main Street
Urbana, IL 61801
USA
prkumar@uiuc.edu

Zhi-Quan Luo
Dept. of Electrical and Computer
Engineering
University of Minnesota
200 Union Street SE
Minneapolis, MN 55455,
USA
luozq@umn.edu

Michael Maskery
Department of Electrical and Computer
Engineering
University of British Columbia
Vancouver, V6T 1Z4
Canada
mikem@ece.ubc.ca

Saswat Misra
Army Research Laboratory
AMSRD-ARL-CI-CN
2800 Powder Mill Rd.
Adelphi, MD 20783
USA
sm353@cornell.edu

Randolph L. Moses
708 Dreese Laboratory
Department of Electrical and Computer
Engineering
The Ohio State University
2015 Neil Avenue
Columbus, OH 43210
USA
moses.2@osu.edu

Rohit Negi
Department of Electrical and Computer
Engineering
Carnegie Mellon University
5000 Forbes Ave

Carnegie Mellon University
Pittsburgh, PA 15213
USA
negi@ece.cmu.edu

Minh Hanh Ngo
Department of Electrical and Computer
Engineering
University of British Columbia
Vancouver V6T 1Z4
Canada
minhn@ece.ubc.ca

H. Vincent Poor
Department of Electrical
Engineering
Princeton University
Princeton, NJ 08540
USA
poor@princeton.edu

Joel B. Predd
RAND Corporation
4570 Fifth Avenue
Pittsburgh, PA 15213
USA
jpredd@rand.org

Yaron Rachlin
Accenture Technology Labs
161 North Clark Street
Chicago, IL 60601
USA
yaron.rachlin@alummi.cmu.edu

Alejandro Ribeiro
Department of Electrical and Computer
Engineering
University of Minnesota
200 Union Street SE
Minneapolis, MN 55455
USA
aribeiro@ece.umn.edu

Anna Scaglione
Cornell University

**School of Electrical and Computer
Engineering**
325 Rhodes Hall
Ithaca, NY 14853
USA
anna@ece.cornell.edu

Ioannis D. Schizas
Dept. of Electrical and Computer
Engineering
University of Minnesota
200 Union Street SE
Minneapolis, MN 55455
USA
schiz001@umn.edu

Birsen Sirkeci-Mergen
UC Berkeley
EECS Department
273 Cory Hall
University of California
Berkeley, CA 94720
USA
bs233@eecs.berkeley.edu

Ananthram Swami
PO Box 4640
Silver Spring
MD 20914-4640
USA
a.swami@ieee.org

Lang Tong
School of Electrical and Computer
Engineering
Center for Applied Mathematics
384 Frank H.T. Rhodes Hall
Cornell University
Ithaca, NY 14853
USA
ltong@ece.cornell.edu

Pramod K. Varshney
Department of Electrical Engineering and
Computer Science
335 Link Hall

Syracuse University
Syracuse
New York 13244
USA
varshney@syr.edu

Venugopal V. Veeravalli
ECE Department and Coordinated
Science Lab
University of Illinois at Urbana-Champaign
1308 West Main Street
Urbana IL 61801
USA
vvv@uiuc.edu

Martin J. Wainwright
University of California at Berkeley
Department of Electrical Engineering and
Computer Sciences
263 Cory Hall
Berkeley, CA 94720
USA
wainwrig@eecs.berkeley.edu

Jason L. Williams
Massachusetts Institute of Technology
77 Massachusetts Avenue, 32-D572

Cambridge, MA 02139
USA
jlwil@mit.edu

Alan S. Willsky
Massachusetts Institute of Technology
77 Massachusetts Avenue, 32-D582
Cambridge, MA 02139
USA
willsky@mit.edu

Jin-Jun Xiao
Dept. of Electrical and Systems
Engineering
Washington University
One Brookings Drive
St. Louis, MO 63130
USA
xiao@ese.wustl.edu

Qing Zhao
Department of Electrical and Computer
Engineering
University of California Davis
Davis, CA 95616
USA
qzhao@ece.ucdavis.edu

目 录

第 1 章 引 言	(1)
-----------------	-----

第一部分 基本特征与约束

第 2 章 传感器网络性能的信息论界限	(9)
---------------------------	-----

2.1 引言	(9)
--------------	-----

2.2 传感器网络模型	(10)
-------------------	------

2.2.1 线性高斯传感器网络	(12)
-----------------------	------

2.3 数字架构	(14)
----------------	------

2.3.1 分布式源编码	(14)
--------------------	------

2.3.2 分布式信道编码	(23)
---------------------	------

2.3.3 数字架构的端到端性能	(30)
------------------------	------

2.4 数字架构的代价	(32)
-------------------	------

2.5 一般架构的界限	(36)
-------------------	------

2.6 总结	(38)
--------------	------

参考文献	(39)
------------	------

第 3 章 无线传感器网络的网内信息处理	(42)
----------------------------	------

3.1 引言	(42)
--------------	------

3.2 通信复杂性模型	(45)
-------------------	------

3.3 无线网中的计算功能:空间复用和分块计算	(47)
-------------------------------	------

3.3.1 无线通信网的地理模型	(47)
------------------------	------

3.3.2 分组计算与计算吞吐量	(49)
------------------------	------

3.3.3 对称函数及类型	(50)
---------------------	------

3.3.4 同位网络	(50)
------------------	------

3.3.5 对称函数的子类:敏感型函数和阈值型函数	(52)
---------------------------------	------

3.3.6 同位网络中关于最大吞吐量的结论	(53)
-----------------------------	------

3.3.7 多跳网络:随机平面网络	(56)
-------------------------	------

3.3.8 其它无环网络	(57)
--------------------	------

3.4 有噪通信无线网络:同位广播网中的可靠性计算	(58)
---------------------------------	------

3.4.1 测量值奇偶校验概述	(59)
-----------------------	------

3.4.2 阈值函数	(60)
3.5 信息论公式	(60)
3.6 总结	(63)
参考文献	(64)
第4章 传感器网络的感知能力	(65)
4.1 引言	(65)
4.1.1 大型检测应用	(65)
4.1.2 作为编码器的传感器网络	(67)
4.1.3 信息论背景	(68)
4.2 传感器网络的感知能力	(69)
4.2.1 任意链接的传感器网络模型	(69)
4.2.2 随机编码和类方法	(72)
4.2.3 感知能力定理	(73)
4.2.4 感知能力界限的例证	(78)
4.3 '其他传感器网络模型	(80)
4.3.1 局部感知模型	(81)
4.3.2 目标模型	(83)
4.4 总结	(83)
参考文献	(84)
第5章 传感器网络的生存时间定律及其应用	(87)
5.1 引言	(87)
5.2 网络的生存时间定律和一般设计规则	(88)
5.2.1 网络特征和生存时间定义	(88)
5.2.2 生存时间定律	(89)
5.2.3 生存时间最大化的一般设计原则	(90)
5.3 基本性能极限:一个随机最短路径架构	(90)
5.3.1 问题陈述	(91)
5.3.2 SSP 的公式表示	(92)
5.3.3 网络生存时间的基本性能限制	(94)
5.3.4 网络规模具有多项式复杂度的极限性能计算	(95)
5.4 分布式渐进最优传输调度	(97)
5.4.1 生存时间最大化的动态协议	(97)
5.4.2 DPLM 的动态特性	(98)

5.4.3	DPLM 的渐进最优性	(99)
5.4.4	分布式实现	(100)
5.4.5	仿真研究	(101)
5.5	网络生存时间分析概述	(107)
5.6	总结	(108)
	参考文献	(108)

第二部分 传感器网络信号处理

第 6 章	传感器网络中的检测	(113)
6.1	集中式检测	(114)
6.2	经典的分布式检测框架	(115)
6.2.1	渐近域	(117)
6.3	无线传感器网络中的分布式检测	(118)
6.3.1	传感器节点	(119)
6.3.2	网络架构	(120)
6.3.3	数据处理	(121)
6.4	无线传感器网络	(121)
6.4.1	容量受限条件下的检测	(123)
6.4.2	无线信道考量	(125)
6.4.3	相关观测	(128)
6.4.4	衰减和衰落	(129)
6.5	新范式	(132)
6.5.1	结构干涉	(133)
6.5.2	信息传递	(134)
6.5.3	跨层考量	(134)
6.5.4	通过审查和休眠实现能量节约	(135)
6.6	拓展和归纳	(136)
6.7	总结	(137)
	参考文献	(138)
第 7 章	带宽与能量约束下的分布式估计	(142)
7.1	分布式量化-估计	(143)
7.2	极大似然估计	(143)
7.2.1	具有未知方差的已知的噪声 pdf	(145)

7.3 未知的噪声 pdf	(149)
7.3.1 关于 MSE 的下界	(152)
7.4 矢量参数的估计	(153)
7.4.1 有色高斯噪声	(155)
7.5 极大后验概率估计	(159)
7.5.1 均方误差	(159)
7.6 针对分布式估计的降维	(161)
7.6.1 去耦的分布式估计压缩	(162)
7.6.2 耦合的分布式估计压缩	(165)
7.7 失真率分析	(167)
7.7.1 集中式估计的失真率	(168)
7.7.2 分布式估计的失真率	(173)
7.7.3 经过凸优化的 D-R 上界	(175)
7.8 总结	(176)
7.9 进一步阅读	(177)
参考文献	(178)
第 8 章 无线传感器网络中的分布式学习	(180)
8.1 引言	(180)
8.2 经典学习方法	(183)
8.2.1 监督学习模型	(183)
8.2.2 内核方法与经验风险最小化原则	(184)
8.2.3 其它学习算法	(187)
8.3 无线传感器网络中分布式学习	(187)
8.3.1 分布式学习的一般模型	(188)
8.3.2 相关工作	(191)
8.4 WSNs 中有融合中心的分布式学习	(193)
8.4.1 一种簇方法	(193)
8.4.2 分布式学习的统计限制	(194)
8.5 具有网络内处理的 ad hoc WSNs 中的分布式学习	(197)
8.5.1 最小二乘回归的消息传递算法	(198)
8.5.2 其他工作	(204)
8.6 总结	(204)
参考文献	(205)

第 9 章 图模型与传感器网络融合	(211)
9.1 引言	(211)
9.2 图模型	(212)
9.2.1 定义与性质	(212)
9.2.2 和积算法	(214)
9.2.3 最大乘积算法	(215)
9.2.4 多圈置信传播	(215)
9.2.5 非参数置信传播	(216)
9.3 从传感器网络融合到图模型	(217)
9.3.1 传感器网中的自定位	(217)
9.3.2 传感器网络中的多目标数据联合	(220)
9.4 信息审查近似及对融合的影响	(222)
9.4.1 消息审查	(222)
9.4.2 基于粒子的消息中比特折中的精确性	(224)
9.5 信息近似效应	(225)
9.6 网络融合中使用有约束源的优化	(228)
9.6.1 传感器网络中目标跟踪的资源管理	(229)
9.6.2 具有严格通信限制的分布式推断	(234)
9.7 总结	(239)
参考文献	(241)

第三部分 通信、网络与跨层设计

第 10 章 大规模传感器网络中的随机协作传输	(247)
10.1 引言	(247)
10.2 传感器网络中的传输协作	(248)
10.2.1 协作无线电的物理层模型	(248)
10.2.2 集中编码分配的协作方案	(250)
10.3 随机分布协作方案	(251)
10.3.1 随机码的构造和系统模型	(251)
10.4 随机协作编码的性能	(254)
10.4.1 分集阶数的表征	(254)
10.4.2 仿真和数值计算	(257)
10.5 使用随机协作编码的协作大规模网络的分析	(260)
10.5.1 数值评估和进一步讨论	(263)

10.6 总结	(267)
10.7 附录	(267)
参考文献	(269)
第 11 章 Ad-Hoc 传感器网络中面向应用的最短路径路由	(271)
11.1 引言	(271)
11.1.1 主要分类	(273)
11.2 基本的 SPR	(273)
11.2.1 广播路由	(274)
11.2.2 静态最短路径路由	(275)
11.2.3 自适应最短路径路由	(283)
11.2.4 其他方法	(283)
11.3 移动无线网络中的 SPR	(284)
11.3.1 广播方法	(284)
11.3.2 最短路径路由	(285)
11.3.3 其他方法	(288)
11.4 Ad-Hoc 传感器网络中的 SPR	(288)
11.4.1 关于当前协议的简单调查	(288)
11.4.2 面向应用设计的论证	(290)
11.4.3 面向应用的 SPR: 举例说明	(290)
11.5 总结	(299)
11.6 基础图论的简单回顾	(300)
11.6.1 无向图	(300)
11.6.2 有向图	(301)
参考文献	(302)
第 12 章 传感器网络中以数据为中心与协作 MAC 协议	(305)
12.1 引言	(305)
12.2 传统媒体接入控制协议: 随机接入和确定性调度	(307)
12.2.1 载波侦听多址接入(CSMA)	(307)
12.2.2 时分多址接入(TDMA)	(308)
12.3 传感器网络中的能量有效 MAC 协议	(309)
12.4 传感器网络中的以数据为中心的 MAC 协议	(312)
12.4.1 数据聚集	(312)
12.4.2 分布式信源编码	(313)

12.4.3	相关传感器域的空间采样	(315)
12.5	独立信源的协作 MAC 协议	(317)
12.6	相关传感器的协作 MAC 协议	(321)
12.6.1	相关传感器的数据检索	(322)
12.6.2	广义的以数据为中心的协作 MAC 协议	(330)
12.6.3	基于交互信息准则的启发式算法	(332)
12.6.4	MAC 的分布式检测和估计	(334)
12.7	总结	(337)
	参考文献	(338)
第 13 章	无人看护地面传感器网络中基于博弈论的激活和传输调度:相关均衡方法	(342)
13.1	引言	(342)
13.1.1	UGSN 网络的传感器激活和传输调度方法	(342)
13.1.2	基本工具和文献	(343)
13.2	无人看护地面传感器网络:能力和目标	(346)
13.2.1	实例:传感器网络模型和架构	(347)
13.2.2	能量有效的传感器激活和传输控制	(349)
13.3	传感器激活问题规范为非协作博弈的相关均衡	(351)
13.3.1	概述——从纳什到相关均衡	(351)
13.3.2	通过后悔追踪的自适应传感器激活	(354)
13.3.3	后悔算法的收敛性分析	(356)
13.4	UGSN 网络中能量有效的传输调度——马尔可夫决策过程方法	(358)
13.4.1	马尔可夫决策过程和超模	(360)
13.4.2	作为 MDP 的最优信道意识传输调度	(361)
13.4.3	阈值传输策略的最优性	(364)
13.5	数值结果	(368)
13.5.1	UGSN 传感器激活算法	(368)
13.5.2	经由最优传输调度的能耗吞吐量折中	(372)
13.6	总结	(374)
13.7	附录	(376)
13.7.1	符号表	(376)
13.7.2	推论 13.4.3 的证明	(377)
13.7.3	定理 13.4.4 的证明	(377)
	参考文献	(379)

第1章

引 言

现代无线传感器网络由大量廉价设备组成,这些设备通过低功率无线通信组网。通过传感器之间的合作、协调以及协作组网能力,从根本上把无线传感器网络与单纯的传感器集合区分开来。收获了过去十年在微电子、传感、模拟与数字信号处理、无线通信与组网方面的成果,无线传感器网络有望在 21 世纪对我们的生活产生重大影响。它可被用于环境监测、自然灾害预测与缓解、国土安全、卫生保健、制造业、运输业,以及家庭应用与娱乐等领域。传感器网络有望成为未来军事任务中的决定性部分,正如其在网络中心战与网络化作战能力概念中体现的那样。

无线传感器网络从根本上不同于一般的数据网络,如因特网,因此需要采用不同的设计范式。通常传感器网络都是针对具体应用的,它们为单一用途而设计部署,因而网络设计必须考虑具体的预期应用。在更加根本的层面上,在无线传感器网络背景下,必须考虑介质的广播特性。对于靠电池运作的传感器,节能是最重要的设计参数之一,因为在许多应用中,更换电池可能很困难甚至不可能,因此必须优化传感器网络设计以延长网络寿命。能量与带宽约束以及潜在的大规模部署向有效的资源分配与传感器管理提出了挑战。一类解决这些挑战的常用方法——跨层设计——已经出现。此外,重新考虑协议栈本身是有必要的,这样可以克服一些与跨层设计相关的复杂性与不想要的结果。

本书集中从无线传感器网络的理论层面,为大范围传感器网络的设计提供信号处理与通信方法。重点是针对传感器组网的大规模传感器网络的基本特征、分布式信号处理与通信算法,以及新颖的跨层设计样式。

传感器网络设计需要融合来自多个学科的思想。特别重要的是分布式信号处理的理论与技术、协作通信的最近进展,以及跨层设计的方法。

本书分为三部分:一、基本特征与约束;二、传感器网络信号处理;三、通信、

网络与跨层设计。

第一部分 基本特征与约束

虽然链路水平上的通信理论进展引人注目,但对大规模复杂网络,例如无线传感器网络的科学的理解与设计方法,仍然落后。潜在应用与传感器设备的多样性,无线通信介质的动态性与不可靠性,以及严重的资源约束,这些都对大范围且可能异构的传感器网络的结构、行为和动态性的基本理解设置了主要障碍。

第一部分介绍了近期大规模传感器网络发展的基本特征与性能极限进展中的代表性尝试。其目的在于证明,虽然应用与通信环境迥异,仍然存在普遍的定律与性能界限,特别是在近似的体制中,它们可能引出设计这种大规模复杂网络的系统方法。

Gastpar 编写的第 2 章重点放在通信方面:数据处理中把传感器测量结果传输给融合中心的速率与保真度。基于把信源编码从信道编码分离开的一种数字通信架构,给出了功率约束下可实现的速率-畸变范围的极限。同时,给出了令人信服的例子来说明这种独立设计可能导致的性能损耗。

Giridhar 与 Kumar 编写的第 3 章讲述网络内部信息处理。传感器节点通过内部节点通信负责计算所有测量数据的特定函数,例如,均值或者最大值,而不是传输测量数据给融合中心处理。让人感兴趣的量是这种网内计算运行的最大速率,以及它如何随着网络大小缩放。有趣的是,缩放行为不仅取决于网络的通信拓扑,也取决于所计算的函数特征。

Negi, Rachlin 与 Khosla 编写的第 4 章是关于传感器测量次数与网络识别被监测环境状态的能力之间的基本关系。本章重点在于假设数量可能很大的检测问题。对于这种大范围检测问题,获得了传感器网络感知能力的下限,该下限描述了传感器测量数量应该随假设数量缩放的最小速率,以获得预期的检测精度。传感器网络感知能力与针对通信信道的信道编码理论之间奇妙的相似性表明,把通信信道上现有的大量结果转移到大规模传感器网络设计中是可能的。

Chen 与 Zhao 编写的第一部分的最后一章针对传感器网络的寿命来说明能量约束。考虑到传感器网络寿命取决于网络架构、具体的应用,以及整个协议栈上的各种参数,获取以关键设计参数为参量的网络寿命的精确特征函数十分困难。本章证明,实际上在任何网络构架下(集中式的、ad hoc 的,或者层级的),存在一个简单的定律决定着所有应用(事件驱动、时钟驱动,或者队列驱动)的网络寿命。这种网络寿命定律揭示了两个物理层参数——剩余能量与信道状态——

的关键作用以及一个针对高层网络协议设计的普遍原理。

这四章把有发展前景的方向指向了对大型复杂传感器网络的关键原理与基本特征的科学理解。然而,许多问题仍然存在。独立的信源编码与信道编码设计何时足以获得最好的缩放性能?如何能够在信息论的框架下充分模型化延迟与能量约束?在能量与复杂度的约束下,通信与计算之间的基本折衷是什么?这些仅是我们在发展大规模无线传感器网络基本科学中遇到的少数挑战。

第二部分 传感器网络信号处理

本书的第二部分重点是传感器网络中的信号处理问题。对于传感器信号处理而言最基本的是,为全局信号处理而进行的单个传感器节点的分布式信息处理与传感器测量数据的融合。

分布式检测是在20世纪80年代晚期与20世纪90年代早期引起众人兴趣的一个经典问题,当时DSP的功率与有线通信使得用于目标检测与跟踪的分布式雷达系统组网成为可能。雷达产生大量的数据,并且向中央处理位置发送所有的测量数据既不可行也不必要。这时研究焦点自然是如何量化本地传感器节点的测量数据,并在融合中心获得最优的干扰算法。

即使传统分布式检测的许多技术问题依旧存在于现代无线传感器网络中,许多新的挑战已经露出头角。无线传输介质的衰落与广播属性、干扰的出现,以及功率与能量约束需要新的设计范式。Veeravalli与Chamberland编写的第6章是现代无线传感器网络的分布式检测的导论。这一章提供了传统结果的大量调研,并且给量化提供新的启示、资源约束下的传感器融合、与最优的检测性能之间的相互作用注入新的曙光。基于近似统计技术的方法特别适用于大型传感器网络。

当不能用一些不关联的假设对基本现象建模时,用分布式估计处理统计干扰问题;一般来说存在无数种可能的分布,传感器测量数据可以从这些分布中产生。因而,不可能设计一种一致最优的传感器量化方案。由Ribeiro, Schizas, Xiao, Giannakis与Luo编写的有关分布式估计的第7章,在传感器测量数据必须被量化或者压缩时,广泛地考虑了无线传感器网络中的估计问题。点估计与贝叶斯方法都被考虑进来,并且提供了性能界限。

由Predd, Kulkarni与Poor编写的有关分布式学习的第8章介绍了传感器网络的学习理论与技术。这章的重点在于带宽与能量约束下的非参数统计干扰。作者为分布式学习搭建了一个框架,并且总结出其与传统概念之间的关系。