



无线传感器网络 节能、优化与可生存性



陈志德 许力 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

无线传感器网络 节能、优化与可生存性

陈志德 许 力 编著

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京 • BEIJING

内容简介

本文围绕无线传感器网络在节能、优化与可生存性等方面的研究热点,利用博弈论、马尔可夫链等理论为分析工具,重点介绍和分析了无线传感器在功率控制、数据传输控制、路由选择优化、性能优化、节点策略优化、节点安全性等问题。全书分为4篇,其中基础篇,对无线传感器网络的技术、特点和应用进行综述;节能篇,提出基于 Supermodular 博弈的无线传感器网络功率控制、基于 Gibbs 采样的随机的无线传感器网络功率控制和基于非合作博弈考虑剩余能量的无线传感器网络功率控制;优化篇,提出基于演化博弈分簇无线传感器网络数据传输控制、基于演化博弈的路由选择机制和传感器网络的性能优化;生存篇,对基于演化博弈论的无线传感器网络节点进行策略分析和基于马尔可夫链的无线传感器网络进行安全性分析。

本书可以作为计算机网络、信息安全、通信与信息系统等领域的研究人员,高等院校相关专业教师、研究生及高年级本科生参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

无线传感器网络节能、优化与可生存性 / 陈志德, 许力编著. —北京: 电子工业出版社, 2013.9
ISBN 978-7-121-21055-6

I. ①无… II. ①陈… ②许… III. ①无线电通信—传感器—研究 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 168118 号

策划编辑: 董亚峰

责任编辑: 苏颖杰

印刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开本: 720×1 000 1/16 印张: 12.5 字数: 198 千字

印次: 2013 年 9 月第 1 次印刷

定价: 38.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

无线传感器网络集传感技术、无线通信技术、网络互连技术和分布式计算技术于一身，将逻辑上的信息世界与客观上的物理世界融合在一起，改变了人与自然的交互方式，实现了物物互联，成为物联网以及智慧地球的核心技术。无线传感器网络资源有限、易受干扰、网络规模大，且以数据为中心，数据冗余度强。

本文围绕无线传感器网络在节能、优化与可生存性等方面的研究热点，利用博弈论、马尔可夫链等理论为分析工具，重点介绍和分析了无线传感器的功率控制、数据传输控制、路由选择优化、性能优化、节点策略优化、节点安全性等问题。全书内容分 4 篇共 12 章。

基础篇，对无线传感器网络的技术、特点和应用进行综述。第 1 章介绍了无线传感器网络的基本概念、特点和应用。

节能篇，提出无线传感器网络功率控制等来实现传感器网络的节能。第 2 章介绍了无线传感器网络功率控制及研究现状，从无线传感器网络功率控制问题和无线传感器网络功率控制问题研究现状这两个方面展开。第 3 章提出基于 Supermodular 博弈的无线传感器网络功率控制，使用 Supermodular 博弈来建立无线网络中的功率控制博弈模型，将分布式功率控制问题模型化为 Supermodular 博弈，博弈中的每个用户从自己的可行策

略集合中自主地选择一个功率来最大化自己的效用函数。第 4 章提出基于 Gibbs 采样的随机的无线传感器网络功率控制, 设计了 DAGA 的功率控制算法, 该算法最小化全局能量的消耗函数。通过定义一跳和二跳邻居节点, 将全局干扰本地化为局部干扰, 减少了网络中的全局信息交互量。DAGA 算法能够自动地、随机地产生功率更新集。同时, DAGA 算法产生功率更新序列的过程形成一个具有稳定分布的马尔可夫链。第 5 章提出基于非合作博弈考虑剩余能量的无线传感器网络功率控制, 为设计更加绿色的无线传感器网络、提高网络的生存性, 对节点进行功率控制并考虑节点的剩余能量来提高能量使用的有效性和提高节点的生存性。将考虑剩余能量的功率控制问题抽象为一个非合作博弈模型, 并将节点的剩余能量以参数的形式引入博弈中节点的效用函数中。通过参数变换, 可以证明该博弈具有唯一的纳什均衡, 并且节点只需要知道自身的信道和剩余能量信息就可以实施功率控制过程。数值仿真分析验证了模型的有效性, 并且验证了通过将剩余能量引入效用函数中, 确实能够提高节点的生存性。

优化篇, 提出无线传感器网络路由机制设计的问题。第 6 章介绍了无线传感器网络的能耗优化和性能优化等方面的问题。第 7 章提出基于演化博弈分簇无线传感器网络数据传输控制, 在节点数目密集的环境下, 设计了簇头节点选举和数据传输的模型, 提出了基于演化博弈的簇头选举机制。结果表明, 几乎在所有的情况下, CHUET 优于 CROSS。我们认为一定范围内的数据传输会有干扰。第 8 章提出基于演化博弈的路由选择机制, 提出了一种基于进化博弈理论的新的路由方案。在本章的方案中, 每个节点就转发数据单位声明一个转发报酬, 然后源节点在每个邻居节点范围内选择成本最低的节点形成最低成本路径 (LCP), 只接受首先到达目的节点的几条信息, 这在很大程度上消除了“多径效应”问题。在某些情况下, 发送的路由方案可能会因为节点不合作行为而遗弃。为了解决这个问题, 分析 LCP 路径和非 LCP 路径中的节点, 形象化了它们的支付函数。第 9 章提出了传感器网络的性能优化机制, 提出基于自适应睡眠机制的无线传感器网络中的一种权重算法以提高整个网络的性能。以权重 w 来衡量数据

的重要性：传感器的数据或者处理数据。当重要数据能够尽快传送到汇聚节点时，网络的整体性能会得到提高。仿真结果表明，大多数情况下，其性能优于完全连接网络，并且十分适用于应用在大规模的无线网络环境，然而，应用了睡眠计划时，网络延迟高于完全连接的网络。通过应用权重算法，整个网络的性能得到了改进。

生存篇，对基于演化博弈论的无线传感器网络节点进行策略分析和基于马尔可夫链的无线传感器网络进行安全性分析。第 10 章介绍了无线传感器网络的生存性。第 11 章提出基于演化博弈论的无线传感器网络节点策略分析，使用演化博弈论和 Moran 进程研究和分析了无线传感器网络中传感器节点的策略。无线传感器网络中的每一个节点在工作过程中与其他节点的互动可以看作一场二人博弈，在博弈过程中每一方都有可能会有得有失，这里称为收益，这个收益可正可负，其大小由自身所选择的策略和对方所选择的策略来决定。每一个传感器节点都有一个策略集，从策略集中选择自己在博弈中的策略，同样对方也有一个策略集可供选择，那么就成了策略与策略的博弈，不同策略之间的博弈将会得到不同的收益，从而可以得到一个收益矩阵。不同的收益矩阵也可以得到不同的结论，从而影响整个无线传感器网络的稳定性与安全性。第 12 章提出基于马尔可夫链的无线传感器网络安全性分析，主要讲述了如何运用马尔可夫链预测法来预测无线传感器网络中在下一轮工作中有可能采取恶意策略的节点，将这些恶意性节点检测出来从而隔离出网络，既保证了无线传感器网络的安全性又能延长无线传感器网络的生命周期。

编著者

目 录

基 础 篇

第 1 章 无线传感器网络	3
1.1 无线传感器网络基本概念	3
1.2 无线传感器网络的特点	4
1.3 无线传感器网络的应用	6

节 能 篇

第 2 章 无线传感器网络功率控制及研究现状	11
2.1 无线传感器网络功率控制问题	11
2.2 无线传感器网络功率控制问题研究现状	13
2.2.1 无线网络功率控制现状	13
2.2.2 无线传感器网络功率控制现状	14
第 3 章 基于 Supermodular 博弈的无线传感器网络功率控制	17
3.1 研究背景及相关工作	18

3.2 Supermodular 功率控制博弈模型	19
3.3 纳什均衡及收敛性分析	22
3.3.1 均衡存在性分析	22
3.3.2 均衡唯一性和收敛性分析	23
3.4 数值仿真分析	28
本章小结	31
第 4 章 基于 Gibbs 采样的随机的无线传感器网络功率控制	32
4.1 研究背景及相关工作	33
4.2 基于 Gibbs 采样的功率控制模型	34
4.3 DAGA 功率更新算法及收敛性分析	39
4.4 数值仿真分析	53
本章小结	57
第 5 章 基于非合作博弈考虑剩余能量的无线传感器网络功率控制	58
5.1 研究背景及相关工作	59
5.2 系统模型	60
5.3 均衡分析	62
5.4 数值分析实验	64
本章小结	66

优 化 篇

第 6 章 无线传感器网络的性能优化	69
6.1 能耗优化	69
6.1.1 分簇式结构	69
6.1.2 数据传输可靠性	71
6.1.3 自适应睡眠算法	72
6.2 性能优化	73

第 7 章 基于演化博弈分簇无线传感器网络数据传输控制	74
7.1 研究背景及相关工作	74
7.1.1 研究背景	74
7.1.2 相关工作	75
7.2 无线传感器网络节点的博弈模型	77
7.3 基于演化博弈论的节点策略分析	79
7.4 数值分析实验	81
7.4.1 网络的生命周期	81
本章小结	84
第 8 章 基于演化博弈的路由选择机制	86
8.1 研究背景及相关工作	86
8.2 演化博弈模型	88
8.2.1 组播问题	89
8.2.2 转发困境博弈	90
8.3 节点策略与行为分析	92
8.4 数值分析实验	96
8.4.1 所有节点的收益	96
8.4.2 LCP 路径中节点的演化稳定平衡	97
8.4.3 非 LCP 路径中节点的演化稳定平衡	97
8.4.4 LCP 路径中节点的收益	98
8.4.5 非 LCP 路径中节点的收益	98
8.4.6 LCP 路径中的节点减少转发成本对收益的影响	100
8.4.7 非 LCP 路径中的节点减少转发成本对收益的影响	100
本章小结	101

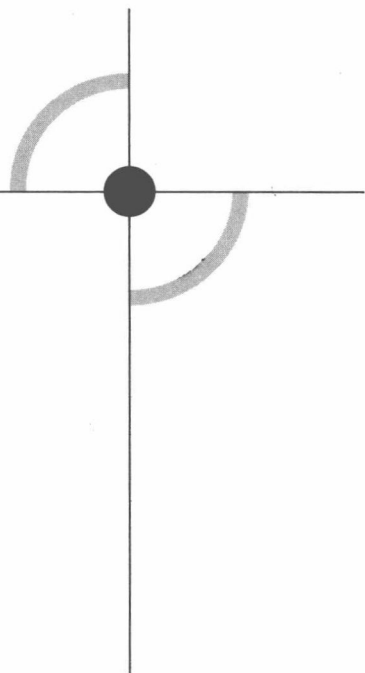
第 9 章 传感器网络的性能优化	102
9.1 研究背景及相关工作	102
9.1.1 研究背景	102
9.1.2 相关工作	105
9.2 无线传感器网络节点的自适应睡眠模型	106
9.3 无线传感器网络性能分析	110
9.3.1 数据包发送率	110
9.3.2 功率消耗	111
9.4 数值分析实验	113
9.4.1 数据包的传输率	113
9.4.2 网络性能	115
本章小结	117

生 存 篇

第 10 章 无线传感器网络的生存性	121
第 11 章 基于演化博弈论的无线传感器网络节点策略分析	124
11.1 研究背景及相关工作	124
11.1.1 研究背景	124
11.1.2 相关工作	126
11.2 无线传感器网络节点的博弈模型	127
11.3 基于演化博弈论的节点策略分析	128
11.3.1 动态复制方程	129
11.3.2 变异概率	131
11.3.3 选择	132
11.3.4 占优策略	134
11.3.5 主导策略	137

11.3.6 数值例子	139
11.4 数值分析实验	141
本章小结	143
第 12 章 基于马尔可夫链的无线传感器网络安全性分析	146
12.1 研究背景及相关工作	147
12.1.1 研究背景	147
12.1.2 相关工作	148
12.2 马尔可夫链简介	149
12.2.1 马尔可夫链的发展历史	149
12.2.2 马尔可夫链的定义[168]	150
12.2.3 马尔可夫转移概率矩阵[169]	150
12.3 预测节点未来状态模型	151
12.4 数值分析实验	155
本章小结	159
参考文献	161

基础篇



第 1 章

无线传感器网络

1.1 无线传感器网络基本概念

微电子技术、嵌入式技术、网络及无线通信技术的发展使得传感器不再是单个的感知单元，而是成为能够交换信息、协调控制的有机结合体^[1,2]。无线传感器网络正是由部署在特定区域的大量的这样的有机结合体节点通过无线通信方式构成的多跳的自组织网络系统，其目的在于通过节点之间的协作，动态地、实时地对网络覆盖区域中的监测对象进行信息监测、感知和采集，并将采集的数据发送到管理中心^[1,3,71]。

典型的无线传感器网络结构如图 1-1 所示，通常包括分布式的传感器节点、汇聚节点、管理节点以及互联网或卫星等^[4,5,72]。在网络布置好后，传感器节点感知数据并以无线通信的方式直接或者间接地传输到汇聚节点，然后由汇聚节点通过网络或者卫星发送到管理端，形成传感器网络的上行通信。同时，管理者也可以通过管理节点对传感器网络进行配置和管理，发布监测任务以及收集监测数据。

每一个传感器节点都包括：数据采集模块、数据处理和控制模块、通信模块和供电模块。在监测区域中，随着网络状态的变化，节点在网路中充当的角色也不同，可以是数据采集者、数据中转站或簇头节点^[4]。数据采集者利用数据采集模块收集检测对象的数据，并沿着其他传感器节点以多跳路由的方式传输，数据在传输的过程中可能会由其他节点进行处理和融合，最后到达汇聚节点。数据中转站可能成为其他节点多跳路由的中继节点，除了数据采集外，还要为相邻节点提供数据转发服务，将数据转发到离汇聚节点更近的相邻节点或者直接转发到汇聚节点。簇头节点收集簇内所有节点感知的数据并进行数据融合，转发到汇聚节点。

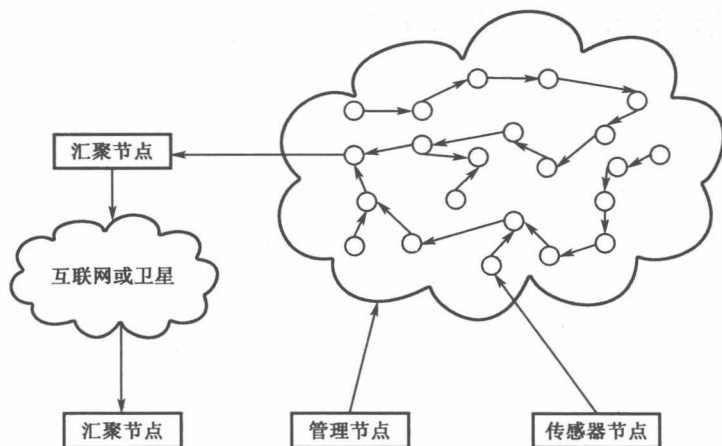


图 1-1 典型的无线传感器网络结构

1.2 无线传感器网络的特点

无线传感器网络集传感技术、无线通信技术、网络互联技术和分布式计算技术于一体，将逻辑上的信息世界与客观上的物理世界融合在一起，

改变了人与自然的交互方式,实现了物物互联,成为物联网以及智慧地球的核心技术。由于是由传感器节点以自组织的方式形成的,无线传感器除了具有 Ad Hoc 网络所具有的动态拓扑、无中心自组织、多跳路由、能量和带宽受限外,还具有以下特点^[1,4,6,7,138]。

(1) 资源的更有限性

无线传感器网络资源的更有限性主要体现在:电源能量有限、通信能力有限、计算和存储能力有限。电源能量有限是指传感器体积微小,通常携带电量非常有限的电池,而传感器网络部署的环境通常很复杂,甚至人员无法到达,从而使得更换电池或者充电变得不现实。通信能力有限是指无线通信的能耗与通信的距离关系密切,通信距离的增加会导致能耗的急剧增加,因此在能量有限的情况下,应尽量减小单跳通信距离。随着能量的变化,又受到自然环境因素的影响,无线通信性能可能会经常发生变化。另外,传感器节点的通信带宽也是有限的。计算和存储能力有限是指由于传感器节点受价格、体积等限制,导致其所能携带的处理器能力较弱,存储空间较小。

(2) 所受干扰更强

对为特定应用而设计的某些无线传感器网络而言,一方面,工作环境通常很恶劣,使得环境噪声干扰严重;另一方面,传感器节点分布很密集,使得节点之间的相互干扰更强。

(3) 网络规模更大,但节点没有全局性标志

为了在特定地理区域进行监测,通常采用随机部署的方式部署传感器网络,其节点数量巨大,通常是成百上千甚至上万个,节点分布十分密集。传感器网络虽然可覆盖的地理面积更广,但是节点一般没有像 IP 地址之类的全局标志,每个节点只知道邻居节点的位置和标志,通过协作和多跳的方式进行信息处理和通信。

(4) 以数据为中心, 数据冗余度强

传感器网络是任务型的网络, 用户使用传感器网络查询事件时, 将所关心的事件直接通告到全网络, 而网络在获得指定事件的信息后将数据反馈给用户。这种方式以数据本身作为查询或传输线索, 因而成为以数据为中心的网络。由于传感器网络节点数量多、节点分布密度大, 使得邻居节点的感知数据具有很强的相似性和冗余度。

1.3 无线传感器网络的应用

无线传感器网络具有部署快速、节点密度大、自组织、较强的抗毁性和自愈性等优点, 为其赋予了广阔的应用前景。其应用主要有以下几方面。

(1) 国防军事领域^[3,5,73]

无线传感器网络因具有部署快速、自组成网、容错性强、隐蔽性强、抗毁性好以及自愈能力强等特性, 特别适合运用于军事领域。运用无线传感器网络能够在条件恶劣的战场环境下实现以下功能: 对己方装备、车辆、人员、火力配置、战场地形等信息进行实时收集, 为战场决策提供依据; 向敌方撒播传感器节点, 监视敌方兵力和装备; 无线传感器网络拥有定位功能, 因而可对目标进行定位; 收集战前和战后战场信息, 为战场评估提供依据; 形成战场预警系统, 实现对核攻击和生化攻击的监测, 对可能受到的攻击发布预警。

(2) 环境监测领域

在社会发展过程中不断凸显的环境污染问题, 使人们对环境问题的关注度日益增加, 环境科学所涉及的范围也越来越广泛。环境监测的对象通常都很特殊, 如大气、水甚至昆虫、细菌等, 这使得传统的采集数据的方法不再适用。无线传感器网络以“无处不在的计算”的新型计算模式, 为获取野外随机性的研究数据提供了极大的方便, 具体的有生物