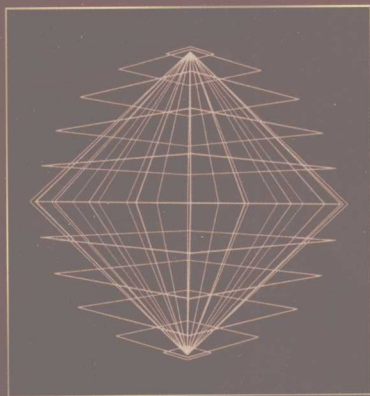




21世纪先进制造技术丛书

# 无线传感器网络 与移动机器人控制

· 李文锋 编著 ·



科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

21 世纪先进制造技术丛书

# 无线传感器网络 与移动机器人控制

李文锋 编著

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书深入论述了传感器网络和移动机器人的概念、特点和关键技术,第一次将移动机器人和传感器网络结合进行探索分析,反映出无线传感器网络和移动机器人技术的最新研究成果和发展方向。全书围绕分布式传感与控制系统的新形式——传感器网络与移动机器人系统展开,共分11章,分别从传感器网络的系统结构、路由、节点定位、移动机器人的控制框架、定位与导航、控制策略、仿真系统与实验平台和智能空间等角度阐述,内容丰富新颖,理论研究与技术开发、应用分析并重,涉及面广。

本书可作为计算机、电子信息和自动化及相关专业的研究生教材,也可供从事无线传感器网络和移动机器人领域的研究人员和工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

无线传感器网络与移动机器人控制/李文锋编著. —北京:科学出版社, 2009

(21世纪先进制造技术丛书)

ISBN 978-7-03-023548-0

I. 无… II. 李… III. ①无线电通信-传感器②移动式机器人-机器人控制 IV. TP212 TP242

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 189267 号

责任编辑:耿建业 王向珍/责任校对:陈玉凤

责任印制:赵 博/封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双 青 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2009年1月第 一 版 开本:B5 (720×1000)

2009年1月第一次印刷 印张:17 3/4

印数:1—3 000 字数:335 000

定价:55.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

## 《21 世纪先进制造技术丛书》序

21 世纪,先进制造技术呈现出精微化、数字化、信息化、智能化和网络化的显著特点,同时也代表了技术科学综合交叉融合的发展趋势。高技术领域如光电子、纳电子、机器视觉、控制理论、生物医学、航空航天等学科的发展,为先进制造技术提供了更多更好的新理论、新方法和新技术,出现了微纳制造、生物制造和电子制造等先进制造新领域。随着制造学科与信息科学、生命科学、材料科学、管理科学、纳米科技的交叉融合,产生了仿生机械学、纳米摩擦学、制造信息学、制造管理学等新兴交叉科学。21 世纪地球资源和环境面临空前的严峻挑战,要求制造技术比以往任何时候都更重视环境保护、节能减排、循环制造和可持续发展,激发了产品的安全性和绿色度、产品的可拆卸性和再利用、机电装备的再制造等基础研究的开展。

《21 世纪先进制造技术丛书》旨在展示先进制造领域的最新研究成果,促进多学科多领域的交叉融合,推动国际间的学术交流与合作,提升制造学科的学术水平。我们相信,有广大先进制造领域的专家、学者的积极参与和大力支持,以及编委们的共同努力,本丛书将为发展制造科学,推广先进制造技术,增强企业创新能力做出应有的贡献。

先进机器人和先进制造技术一样是多学科交叉融合的产物,在制造业中的应用范围很广,从喷漆、焊接到装配、抛光和修理,成为重要的先进制造装备。机器人操作是将机器人本体及其作业任务整合为一体的学科,已成为智能机器人和智能制造研究的焦点之一,并在机械装配、多指抓取、协调操作和工件夹持等方面取得显著进

展，因此，本系列丛书也包含先进机器人的有关著作。

最后，我们衷心地感谢所有关心丛书并为丛书出版尽力的专家们，感谢科学出版社及有关学术机构的大力支持和资助，感谢广大读者对丛书的厚爱。

熊有伦

华中科技大学

2008年4月

## 序

无线传感器网络是信息获取的有力工具和手段,其覆盖面广、自适应能力强、布局方便灵活,对传统传感技术的发展起到重要作用,已成为 21 世纪最具影响的新技术之一,在民用、军事、航空航天、环境资源保护等领域有着广阔的应用前景,受到世界各国政府和学者的重视。移动机器人作为机器人领域的一个重要分支,在空间探索、海底资源勘查、智能交通、核能工业、军事、娱乐、医疗和家庭服务等领域的应用崭露头角,已开始深入到人类生活的各个方面,有着越来越广阔的应用前景,因此,21 世纪被许多著名学者和企业家称为机器人世纪。从科学研究和技术层面上看,无线传感器网络显著地扩展了移动机器人的感知空间,提高了移动机器人的感知能力,为移动机器人的智能开发、机器人间合作与协调,以及机器人应用范围的拓展提供了可能。同时,由于移动机器人具有机动灵活和自治能力强等优点,将其作为无线传感器网络的节点,可以很方便地改变无线传感器网络的拓扑结构和改善网络的动态性能。因此,无线传感器网络和机器人技术相结合可以有效地改善和提高系统的整体性能,成为移动机器人与传感器网络发展的必然趋势。

李文锋教授以其敏锐的眼光和独特的视角,研究和分析了无线传感器网络与多移动机器人系统的相似之处和不同特点以及它们之间的内在联系和互补性,提出了无线传感器网络和移动机器人系统的若干关键技术。由其领导的课题组在国家自然科学基金项目、湖北省自然科学基金计划青年杰出人才项目和国家“十一五”科技支撑计划项目的资助下,进行了卓有成效的研究工作,取得了可喜的进展。在此基础上,他们编写了《无线传感器网络与移动机器人控制》一书,介绍了无线传感器网络与移动机器人控制的基本理论和相关技术,分析了无线传感器网络和多移动机器人系统的特点和内在联系,提出了几种传感器网络和移动机器人组合方式,从体系结构、系统框架、路由、节点定位、机器人导航、信息发布与订阅、仿真和实验平台的搭建技术等方面进行了深入的探讨,分析和研究了传感器网络和移动机器人组合系统的关键技术及基于传感器网络与机器人的智能空间的构建与应用。

《无线传感器网络与移动机器人控制》一书是作者多年潜心研究的成果和智慧结晶，该书以一种全新视角提出的新见解和新方法，将为从事相关领域研究的科技工作者、工程技术人员和研究生提供有价值的参考和有益的启示，无疑对推动我国无线传感网络与移动机器人科学技术的发展与进步有着重要意义。感谢作者的辛勤劳动和贡献。



2008年10月21日

## 前 言

无线传感器网络是一种分布式、自组织、富传感网络，具有覆盖面广、自适应性强、布局方便灵活等特点。它可以在无人值守的情况下方便地采集周围环境的信息和状态数据，将逻辑上的信息世界与客观物理世界融合在一起，从而改变人与自然交互的方式。

无线传感器网络最早可以追溯到冷战时期美国的军用海底声纳传感系统。20世纪80年代，美国先进国防技术研究部（DARPA）就组织了分布式传感器网络（DSN）的研究。美国海军副司令 Arthur Cebrowski 曾经说过：“我们时刻关注着正在兴起的基于传感器网络的战争。众所周知，只要我们能感知敌人的存在，我们就一定能消灭之。”1995年，美国提出了“国家智能交通系统项目”、“灵巧传感器网络通信”计划。2003年，美国自然科学基金会制定了无线传感器网络研究计划。美国加州大学伯克利分校、南加州大学、麻省理工学院（MIT）、加州大学洛杉矶分校、康奈尔大学等一批知名校府也迅速投入到该领域的研发。一些商用系统，如美国 Crossbow 公司的“Mote”智能传感器节点和 TinyOS 系统、美国加州大学伯克利分校的 COTS Dust 和 Smart Dust、加州大学洛杉矶分校的 WINS 等，陆续推向市场。

这种低成本、构网灵活方便、数据采集丰富的传感器网络的巨大商机和军事应用前景引起了世界各国的重视。在欧洲，德国 ScatterWeb GmbH 公司推出了 ScatterWeb 系列，瑞典 Lulea 大学研制了 MULLE 产品等。在我国，2003年的国家自然科学基金开始资助无线传感器网络方面的研究，2004年国家自然科学基金设立了无线传感器网络重点课题，2006年国家“973计划”设立了无线传感器网络专项。

笔者在2003年接触无线传感器网络。当时笔者正在瑞典皇家工学院的自治体系统研究中心（CAS）做访问学者，并在那度过了一年的美好时光。CAS是瑞典最具影响的智能自治体研究机构之一，也是欧盟机器人研究的网络协调机构之一，先后承担了多项欧盟框架合作项目。CAS主要的研究方向有：计算视觉和主动视觉、移动机器人等自治体系统。在参与研究中心的机器人研究项目，如“欧盟项目 Open Source Robot Control-OROCOS (IST-2000-31064)”的过程中，笔者感觉到，尽管采用了“基于生物启发的控制”等先进手段，也采用了激光测距和视觉等先进传感器，机器人的自治能力和对环境动态变化的适应性仍十分有限，其中一个根本的原因是机器人对环境的感知存在局限！

通过研读文献,笔者注意到了“无线传感器网络(wireless sensor network)”这个概念,正是千般找寻的有效的机器人智能感知解决方案。于是,笔者开始全面收集有关传感器网络的研究论文和报道,发现尽管传感器网络概念出现的时间不长,有关传感器网络的研究论文却呈现几乎指数级的增长。这些研究论文主要从关于传感器网络体系结构、路由技术、节点定位、睡眠机制、容错机制、定位、目标跟踪、传播方式和通信协议、数据同步问题与信息融合、自适应、传感器网络数据管理等方面展开,也有一些论文开始探讨传感器网络和移动机器人的结合,如采用移动机器人进行传感器网络的节点撒布和维护等。同时国内也开始出现关于传感器网络的综述性研究论文,如李建中、李金宝、石胜飞等2003年在软件学报上发表的论文《传感器网络及其数据管理的概念、问题与进展》等。经过认真准备,2004年笔者回国后撰写并提交了《传感器网络环境下移动机器人的动态特征与可重构框架》的申请书,并得到了国家自然科学基金委员会的批准。

作为未来主要的一种环境信息获取方式,无线传感器网络具有很强的数据获取、储存和处理能力。而它与移动机器人结合,可以进一步提高系统的整体性能,在民用、军事和航空领域均有非常广阔的应用前景。例如,在地震、火灾等灾害应急场合,无线传感器网络可以快速建立灾害区域的信息采集、监控和通信网络,而机器人可以在传感器网络的支持下形成灵活高效的快速救援系统;在反恐和军事领域,传感器网络-机器人系统可以迅速便捷地撒布在敏感区域,时空分布的实时监控目标,感知敌情的变化并实时做出反应;在社区医疗、健康监护、智能家居和工业生产控制等领域也具有很好的应用前景;传感器网络-机器人系统还是未来道路交通智能化的关键技术。

无线传感器网络与移动机器人的结合,还给出了一种新的分布式传感与控制的形式。这种形式既具有集中的局域传感和控制能力,又具有远程的分布式协同的全局传感和协作控制能力。同时,机器人与传感器网络的节点都具有一定的自治能力。因此,系统的动态性、不确定性和非线性更为明显,是一种新的复杂系统。

正是基于对传感器网络和移动机器人的这种认识,本书探讨了传感器网络和移动机器人的特点和优势,定义了几种传感器网络和移动机器人组合方式。针对传感器网络和移动机器人组合系统的关键技术,从体系结构和框架、路由、定位、导航、消息订阅与发布、仿真等方面展开深入的分析和探讨。在此基础上,本书还探讨了实验平台的搭建技术,并分析了基于传感器网络和机器人的智能空间的构建与应用。总之,本书体现了当前国际上在传感器网络和移动机器人方面研究的趋势,清楚地展示了课题组这几年在该领域的研究与实践体会和成果,希望能够为传感器网络和移动机器人的研究与发展提供一点帮助。

在这里，笔者要感谢参与本书的写作与出版以及为之付出辛勤劳动的老师和同学们。

陈维克副教授撰写了第2~4章，张帆博士撰写了第6章，雷斌博士撰写了第7、8章，闫新庆博士后撰写了第9章，袁兵副教授和张帆博士共同撰写了第10章，第11章由雷斌、李斌博士和闫新庆博士后共同完成。课题组的杨小铸、魏兰、韩锐、孙波、郭世龙、陈红亮和胡伟华等为本书提供了宝贵的资料和研究成果。空军雷达学院的金加根老师对全书的文字、公式和图表进行了仔细校对。笔者作为本书的主编，全面组织策划了全书的内容安排，与这些章节的作者一起反复详细研讨了全书的布局，对内容进行了多次协调和修改，并编写了第1章和第5章。陈定方教授对本书进行了全面的审阅，提出了宝贵的修改意见和完善建议。在此，笔者一并向他们表示感谢，没有他们认真负责的态度和倾心的奉献，就不会有本书的出版。

笔者及其课题组进行的无线传感器网络和移动机器人的研究和开发，得到了国家自然科学基金项目（60475031）、湖北省自然科学基金计划青年杰出人才项目（2005ABB021）和国家“十一五”科技支撑计划项目（2006BAH02A06）的大力支持，也得到了广东东莞博思数码科技有限公司的大力支持。本书中也引用了这些资助项目的研究成果。在此，特致以衷心的感谢！

无线传感器网络和移动机器人技术都处在快速发展阶段，对两者的研究与应用不断有新的成果和技术推出。由于水平有限，本书难免存在不足之处，敬请读者批评指正。笔者将在吸取大家意见和建议的基础上，不断修改和深化本书中的相关内容，为推动无线传感器网络和移动机器人技术的发展与进步尽微薄之力。

李文锋

2008年10月31日

于武汉理工大学

# 目 录

《21 世纪先进制造技术丛书》序

序

前言

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 第 1 章 绪论                      | 1  |
| 1.1 无线传感器网络研究                 | 1  |
| 1.1.1 无线传感器网络的基本特点            | 1  |
| 1.1.2 无线传感器网络的发展现状与趋势         | 2  |
| 1.2 移动机器人研究                   | 5  |
| 1.3 无线传感器网络与移动机器人系统           | 7  |
| 1.3.1 无线传感器网络和多移动机器人的比较       | 7  |
| 1.3.2 无线传感器网络和移动机器人的结合        | 8  |
| 1.3.3 无线传感器网络和移动机器人系统的关键技术    | 9  |
| 1.4 全书的组织结构                   | 10 |
| 1.5 小结                        | 11 |
| 第 2 章 无线传感器网络体系结构与构成          | 12 |
| 2.1 无线传感器网络结构                 | 12 |
| 2.1.1 无线传感器网络的基本结构形式          | 13 |
| 2.1.2 基于分布式订阅/发布/通知框架的应用结构    | 13 |
| 2.1.3 基于移动 Agent 应用的无线传感器网络结构 | 15 |
| 2.2 无线传感网络相关协议及重要支持技术         | 16 |
| 2.2.1 数据链路层协议                 | 17 |
| 2.2.2 路由协议                    | 18 |
| 2.2.3 时间同步                    | 18 |
| 2.2.4 数据融合                    | 19 |
| 2.3 无线传感器网络节点结构               | 20 |
| 2.4 节点上微型操作系统                 | 21 |
| 2.4.1 无线传感器网络节点的操作系统需求        | 21 |
| 2.4.2 TinyOS 操作系统             | 21 |
| 2.5 ZigBee 技术                 | 22 |
| 2.6 小结                        | 23 |

|                                  |           |
|----------------------------------|-----------|
| 参考文献 .....                       | 23        |
| <b>第3章 无线传感器网络的路由技术 .....</b>    | <b>25</b> |
| 3.1 引言 .....                     | 25        |
| 3.2 无线传感器网络中的 QoS 支持 .....       | 27        |
| 3.2.1 WSNs 中的 QoS 要求 .....       | 28        |
| 3.2.2 WSNs 中 QoS 支持的主要问题 .....   | 29        |
| 3.3 基于 QoS 的自适应分簇算法 .....        | 30        |
| 3.3.1 QAC 算法模型 .....             | 31        |
| 3.3.2 QAC 特点 .....               | 34        |
| 3.3.3 QAC 实例计算对比 .....           | 35        |
| 3.4 两阶段成簇自适应分簇算法 .....           | 36        |
| 3.4.1 TCF 的技术基础 .....            | 36        |
| 3.4.2 算法过程 .....                 | 36        |
| 3.4.3 性能对比计算 .....               | 39        |
| 3.5 基于 K-means 的能量平衡消耗分簇算法 ..... | 42        |
| 3.5.1 算法模型 .....                 | 42        |
| 3.5.2 计算实例 .....                 | 48        |
| 3.6 小结 .....                     | 51        |
| 参考文献 .....                       | 52        |
| <b>第4章 无线传感器网络节点定位技术 .....</b>   | <b>54</b> |
| 4.1 引言 .....                     | 54        |
| 4.2 节点定位的常用技术和典型定位系统 .....       | 55        |
| 4.2.1 常用的测距方法 .....              | 55        |
| 4.2.2 非测距的定位算法 .....             | 56        |
| 4.2.3 典型定位系统 .....               | 57        |
| 4.3 加权质心定位算法 .....               | 58        |
| 4.3.1 改进 Euclidean 定位计算 .....    | 59        |
| 4.3.2 无线电传播路径损耗模型分析 .....        | 59        |
| 4.3.3 加权质心定位计算 .....             | 61        |
| 4.3.4 算法过程 .....                 | 61        |
| 4.3.5 计算实例 .....                 | 62        |
| 4.4 基于移动机器人的节点定位算法 .....         | 64        |
| 4.4.1 算法模型 .....                 | 64        |
| 4.4.2 算法过程 .....                 | 68        |
| 4.4.3 计算实例 .....                 | 69        |

---

|                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| 4.5 小结                               | 72        |
| 参考文献                                 | 72        |
| <b>第5章 移动机器人系统与控制框架</b>              | <b>74</b> |
| 5.1 移动机器人控制体系结构                      | 74        |
| 5.2 常见的移动机器人控制系统                     | 77        |
| 5.2.1 Saphira                        | 77        |
| 5.2.2 TeamBots                       | 78        |
| 5.2.3 Xavier                         | 78        |
| 5.2.4 ISR/Berra                      | 79        |
| 5.2.5 国内移动机器人系统                      | 80        |
| 5.3 移动机器人控制框架研究                      | 81        |
| 5.3.1 TCA                            | 82        |
| 5.3.2 OROCOS@KTH                     | 83        |
| 5.3.3 Player                         | 86        |
| 5.4 基于网络的移动机器人控制                     | 87        |
| 5.4.1 传统网络机器人的控制                     | 88        |
| 5.4.2 基于 Player 和 Web 服务器的网络机器人控制和协作 | 88        |
| 5.4.3 基于嵌入式技术的小型网络机器人控制              | 90        |
| 5.5 传感器网络环境下移动机器人的控制框架               | 92        |
| 5.5.1 移动机器人的平台框架                     | 93        |
| 5.5.2 移动机器人的混合式控制体系结构                | 94        |
| 5.6 小结                               | 95        |
| 参考文献                                 | 96        |
| <b>第6章 移动机器人的定位与导航</b>               | <b>98</b> |
| 6.1 引言                               | 98        |
| 6.2 移动机器人定位方式                        | 98        |
| 6.2.1 相对定位                           | 98        |
| 6.2.2 绝对定位                           | 99        |
| 6.3 室内移动机器人超声波定位系统                   | 99        |
| 6.3.1 系统原理及工作流程                      | 99        |
| 6.3.2 节点上的程序系统                       | 103       |
| 6.3.3 传感器节点                          | 104       |
| 6.3.4 仿真分析                           | 109       |
| 6.4 同时定位与制图算法                        | 118       |
| 6.4.1 同时定位与制图算法介绍                    | 118       |

|              |                                 |            |
|--------------|---------------------------------|------------|
| 6.4.2        | SLAM 算法性质 .....                 | 118        |
| 6.4.3        | SLAM 算法分类 .....                 | 119        |
| 6.4.4        | 一种基于线特征的 SLAM 算法 .....          | 120        |
| 6.4.5        | SLAM 算法仿真 .....                 | 128        |
| 6.4.6        | 基于 SLAM 的导航算法 .....             | 131        |
| 6.5          | 小结 .....                        | 134        |
|              | 参考文献 .....                      | 134        |
| <b>第 7 章</b> | <b>移动机器人运动控制策略 .....</b>        | <b>136</b> |
| 7.1          | 引言 .....                        | 136        |
| 7.2          | 单个移动机器人路径规划 .....               | 137        |
| 7.2.1        | 基于模型的控制 .....                   | 137        |
| 7.2.2        | 基于规则的控制 .....                   | 143        |
| 7.3          | 多机器人系统编队控制 .....                | 151        |
| 7.3.1        | 集中式控制 .....                     | 151        |
| 7.3.2        | 分布式控制 .....                     | 152        |
| 7.4          | 多机器人系统的动态特性分析 .....             | 159        |
| 7.5          | 小结 .....                        | 162        |
|              | 参考文献 .....                      | 163        |
| <b>第 8 章</b> | <b>机器人仿真系统 .....</b>            | <b>165</b> |
| 8.1          | 引言 .....                        | 165        |
| 8.2          | 几种典型的机器人仿真系统 .....              | 165        |
| 8.2.1        | Microsoft Robotics Studio ..... | 165        |
| 8.2.2        | MissionLab .....                | 166        |
| 8.2.3        | MultiSim .....                  | 167        |
| 8.2.4        | Swarm .....                     | 167        |
| 8.3          | Player/Stage .....              | 168        |
| 8.3.1        | 概述 .....                        | 168        |
| 8.3.2        | Player 介绍 .....                 | 169        |
| 8.3.3        | Stage .....                     | 173        |
| 8.3.4        | world 文件和 cfg 文件 .....          | 174        |
| 8.3.5        | 仿真实例 .....                      | 177        |
| 8.4          | Visual RobotSoft .....          | 179        |
| 8.4.1        | 仿真软件总体设计 .....                  | 179        |
| 8.4.2        | 仿真软件功能设计 .....                  | 180        |
| 8.4.3        | 仿真实例 .....                      | 192        |

|                                                |     |
|------------------------------------------------|-----|
| 8.5 小结 .....                                   | 193 |
| 参考文献 .....                                     | 193 |
| <b>第9章 分布式传感与控制系统的消息订阅/发布/通知模型</b> .....       | 195 |
| 9.1 引言 .....                                   | 195 |
| 9.2 分布式系统的消息订阅/发布/通知模型 .....                   | 196 |
| 9.3 固定结构系统的消息订阅/发布/通知模型 .....                  | 198 |
| 9.3.1 模型的实现 .....                              | 198 |
| 9.3.2 在 Player/Stage 中的应用实例 .....              | 200 |
| 9.4 Nomadic 系统中的消息订阅/发布/通知模型 .....             | 202 |
| 9.4.1 模型的需求及实现 .....                           | 202 |
| 9.4.2 单数据源的控制节点漫游 .....                        | 204 |
| 9.4.3 多数据源的控制节点漫游 .....                        | 204 |
| 9.5 基于 AODV 的移动 Ad-hoc 类型系统的消息订阅/发布/通知模型 ..... | 208 |
| 9.6 小结 .....                                   | 210 |
| 参考文献 .....                                     | 210 |
| <b>第10章 无线传感器网络-机器人系统实验平台</b> .....            | 212 |
| 10.1 引言 .....                                  | 212 |
| 10.1.1 通用网络仿真平台的二次开发 .....                     | 212 |
| 10.1.2 专用无线传感器网络仿真平台 .....                     | 216 |
| 10.1.3 无线传感器网络工程实验床 .....                      | 218 |
| 10.2 无线传感器网络-机器人实验平台系统体系结构 .....               | 220 |
| 10.2.1 系统控制平台 .....                            | 220 |
| 10.2.2 传感信息采集 .....                            | 222 |
| 10.2.3 服务器 .....                               | 222 |
| 10.2.4 客户端 .....                               | 223 |
| 10.3 GIS 环境信息的注入与多 Agent 仿真 .....              | 223 |
| 10.3.1 GIS 环境信息的注入 .....                       | 223 |
| 10.3.2 典型多 Agent 仿真平台——A-globe .....           | 224 |
| 10.4 系统硬件平台 .....                              | 226 |
| 10.4.1 多功能 Sink 节点 .....                       | 226 |
| 10.4.2 无线传感器节点 MICAz .....                     | 227 |
| 10.4.3 移动机器人 .....                             | 229 |
| 10.5 远程 Web 监控 .....                           | 230 |
| 10.5.1 网络服务程序 .....                            | 230 |

---

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 10.5.2 基于 Web 的平台数据监控 .....     | 233        |
| 10.6 小结 .....                   | 238        |
| 参考文献 .....                      | 238        |
| <b>第 11 章 智能空间关键技术与应用 .....</b> | <b>240</b> |
| 11.1 引言 .....                   | 240        |
| 11.1.1 智能空间的主要特征 .....          | 241        |
| 11.1.2 智能空间的关键技术 .....          | 241        |
| 11.2 智能空间中的实体协同 .....           | 242        |
| 11.2.1 资源描述和发现机制 .....          | 242        |
| 11.2.2 基于代理的多网络通信机制 .....       | 247        |
| 11.3 支持智能空间的传感器网络的网格服务系统 .....  | 249        |
| 11.3.1 概述 .....                 | 249        |
| 11.3.2 传感器网络和网格系统 .....         | 249        |
| 11.3.3 系统框架和体系结构 .....          | 250        |
| 11.3.4 服务实现和应用场景 .....          | 254        |
| 11.4 智能空间中移动机器人的位置感知 .....      | 258        |
| 11.5 智能空间中的移动智能终端 .....         | 259        |
| 11.5.1 智能空间与游牧服务 .....          | 259        |
| 11.5.2 融入智能空间的移动智能终端 .....      | 260        |
| 11.5.3 基于 MIT 的应用原型 .....       | 263        |
| 11.6 小结 .....                   | 265        |
| 参考文献 .....                      | 266        |

# 第1章 绪 论

传感是人们量化地感知客观世界的一种手段。通过具有数据采集和处理能力的传感装置（称为传感器），人们可以定量地测量客观物理世界的属性或参量，从而有可能把握客观世界的变化规律。传感器技术是信息社会的重要技术基础，目前已应用在各行各业（从家居生活、医疗服务、环保与灾害预防预测，到航空航天与能源交通等）。随着微电子和 MEMS 制造技术的快速发展，传感器技术正向着微型化方向发展，而计算机与网络技术则使得传感技术朝着智能化、网络化、集成化的方向发展。如今，分布式传感技术正成为对复杂环境自适应检测的重要手段，而无线传感器网络技术是这种分布式传感技术手段的重要形式。1999 年，美国的著名《商业周刊》将无线传感器网络列为 21 世纪最具影响的 21 项技术之一，2003 年，麻省理工学院技术评论在预测未来技术发展的报告中，将其列为改变世界的十大新技术之一，而《商业周刊》又在其“未来技术专版”中将传感器网络视为全球未来的四大高技术产业之一，称其将掀起新的产业浪潮。

控制是通过遵循一定的标准或规则，确保目标对象/组织按照预想的计划或方案实施的过程。控制器是自动控制系统的决策中心，根据控制方式和策略的不同可以分为：集中式控制和分布式控制；本地控制和远程控制；反馈控制、前馈控制和现场控制。

传感与控制的结合是系统自动化的核心，是实现闭环控制和智能控制的基础。机器人就是一种典型的传感与控制系统，而且这种系统越来越广泛地被使用在工业生产、军工国防、航空航天、环境保护、甚至家居服务等多种行业。机器人与网络的结合一直是机器人系统研究的热点，远程操作机器人、多机器人系统等都是机器人网络化的代表。而无线传感器网络和机器人的结合，不仅能极大地提高系统的布置柔性 and 覆盖面，而且也会提升系统的反应能力和鲁棒性，因而是一种极有潜力的分布式传感与控制系统，成为未来智能网络系统的先锋。

## 1.1 无线传感器网络研究

### 1.1.1 无线传感器网络的基本特点

无线传感器网络（wireless sensor network, WSN）是计算机、通信和传感器等多领域技术相结合的产物，也是将信息获取（传感）、信息传输与信息处理三个过程进行融合的产物。无线传感器网络由大量密集分布的传感器网络节点组