

智能空间中 传感器网络节点精确定位 与路径规划

韩光洁 著



科学出版社

内 容 简 介

智能空间中的传感器网络节点精确定位与路径规划是物联网中的重要核心支撑技术之一。本书在综合分析国内外相关工作的基础上,通过研究未知节点在定位过程中的误差原因,定性分析了传感器网络中锚节点的相对位置对未知节点定位误差的影响,提出了锚节点布置算法、二步定位算法、基于正三角形路径的节点精确定位算法及锚节点的路径规划等关键技术,最后对相关的算法进行了仿真验证与性能评价。这些方法对物联网在实际应用中起到了指导性的作用。

本书可供广大物联网、移动网络等行业的科研工作者和工程技术人员,以及高等院校相关专业的教师和研究生使用。

图书在版编目(CIP)数据

智能空间中传感器网络节点精确定位与路径规划/韩光洁著. —北京:科学出版社,2013

ISBN 978-7-03-036030-4

I. ①智… II. ①韩… III. ①智能传感器-研究 IV. ①TP212.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 271172 号

责任编辑:任加林 赵丽欣 / 责任校对:王万红
责任印制:吕春珉 / 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

*

2012年12月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2012年12月第一次印刷 印张:12

字数:224 000

定价:48.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<双青>)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62137026

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

智能空间中的上下文感知是为用户提供其所在环境的上下文相关信息,其中80%的信息和位置有关,因此定位问题在上下文感知中占据举足轻重的地位。智能空间中设备的许多行为都与其所在的位置相关联,如实时跟踪用户所处的位置、自动打开用户附近的灯或将来电转接到离用户最近的电话等,所有这些应用都需要判断用户在智能空间的位置,以及与其他设备之间的相对位置关系。对于智能空间中的大量传感器网络的应用而言,感知数据在不知道相应的位置信息情况下,往往是没有意义的。定位信息的准确获取是完成定位服务的一个关键问题所在,那么如何简单、及时有效、准确地获取移动用户的定位信息,以便主动向用户提供所需定位服务是目前物联网中急需解决的重要课题之一。

传统计算模式中的定位服务只能实现简单的定位功能,没有定位感知的功能,无法应用在物联网环境中。本书对物联网中的智能空间进行了描述,并对其中的域以及域之间的包含关系进行相应的形式化表示。移动对象的定位信息是建立在域访问顺序的基础上,通过对域空间的划分,利用具有分级结构的定位树对其进行表示,以及使用定位操作符来实现为移动用户提供跟踪、浏览和查询等定位服务。在智能环境下,由于设备的资源有限,并且它们所面临的任务一般都是时间敏感性较强的应用,因此准确地获取未知节点的定位信息是定位服务中的一个关键问题。通过对相关文献的研究发现,传统的定位算法,如二阶段定位法具有繁琐计算过程,即无法在资源受限的小设备上实现,同时又不能很好的保证时间约束条件。

本书首先利用一种全新的视角对目前现有的定位方法进行研究,在重点分析近年来典型定位算法的基础上,根据锚节点和未知节点的移动性对定位算法进一步细化分类,并对算法的优缺点进行分析和比较。进而通过对未知节点利用多边定位法在定位过程中所产生的误差进行定量分析,分析了定位误差产生的原因,并且得到当三个锚节点所处位置构成的形状是等边三角形时定位误差最小的结论,该结论为移动用户在定位过程中可以通过有针对性的选择锚节点来减少定位误差提供了相应的理论依据,并在此基础上提出锚节点部署的三个定理,这样就可以在室内智能环境中通过有针对性的部署锚节点来减小定位误差,同时根据分析的结果,对二阶段定位算法进行相应的改进,提出了锚节点选择算法,该算法以锚节点之间位置关系为基础,通过选择出合适的锚节点来计算未知节点的位置,可以提供更准确的定位信息,并保证该算法具有较强的定位实时性,从而满足智能环境中移动用户定位服务的需求。同时,也研究了未知节点的定位过程中由于安全问题所导致的无法定位问题,提出了二步安全定位算法,为未知节点的精确定位提供安全

技术支撑。

其次,本书针对移动锚节点的路径选择问题,如最优的锚节点移动路径是什么?什么时候或者移动到什么地方锚节点应向未知节点发送定位信息包?提出一种利用单个移动锚节点基于正三角形轨迹的精确定位算法,该算法以锚节点之间位置关系为基础,通过选择出合适的移动路径来对未知节点进行定位,在定位过程中锚节点按照预先规划的正三角形路径移动,并每隔一定时间广播定位信息报文给未知节点。该算法详细讨论了不规则度对定位算法的影响,并对未知节点利用多边定位法在定位过程中所产生的误差进行定量分析,可以提供更准确的定位信息,并保证该算法具有较强的定位实时性,从而满足智能空间中传感器网络节点精确定位的需求。

最后,利用 NS2 网络仿真工具对传感器网络节点精确定位算法的合理性进行验证,并分析各种因素(如通信半径、节点密度、锚节点移动速度等)对定位精度的影响。仿真结果表明所提精确定位算法不仅可以提供较高的定位精度,而且具有较好的扩展性,即该算法不易受网络密度等环境因素的影响。利用仿真实验对本书提出的锚节点选择算法及路径规划进行了仿真验证,通过对得到的实验数据进行分析,并传统算法相比较,结果表明本书的算法能够满足资源有限环境下的未知节点实时定位的需求,并使得在未知节点在定位过程中产生的误差较小,有效解决了智能空间中的移动用户的精确定位需求。除此之外,精确定位算法还能有效减少网络的通信与计算开销,在一定程度上节约了网络成本,与传统的算法相比书中所提的精确定位算法的定位性能有显著的提高。

以上各方面,对智能空间中传感器节点精确定位与路径规划进行了有益的探索和大胆的尝试,并针对精确定位与路径规划中若干关键问题进行了深入研究。通过所提出的锚节点部署定位、二步安全定位、锚节点选择算法和锚节点移动路径规划方法等关键技术,从而为用户带来了一个智能的生活环境。本书内容有限,对于不能满足读者期望的许多地方,我们深表歉意。

作者衷心感谢河海大学计算机与信息学院徐慧慧硕士、江金芳博士和张晨语硕士等,她们在本书的编写过程中给予大量的帮助。

智能空间中传感器网络节点精确定位与路径规划本身是一个复杂的系统工程,本书所涉及的工作与内容,仅为作者在科研工作中的体会与见解,限于水平、精力、经验及所持观点,书中难免存在一些缺陷与不足,希望广大读者批评指正。

作 者

2012 年 08 月

目 录

前言

第一章 绪论	1
1.1 物联网	1
1.2 无线传感器网络	4
1.3 精确定位的研究现状	6
1.4 本书的组织结构	8
参考文献	9
第二章 定位服务问题	12
2.1 上下文感知	12
2.1.1 上下文的基本概念	12
2.1.2 基于上下文的交互	13
2.1.3 上下文感知计算	14
2.1.4 智能空间	16
2.2 定位服务	18
2.2.1 定位服务的作用	18
2.2.2 定位感知系统	19
2.2.3 定位感知技术	24
2.2.4 未知节点的定位方法	26
2.3 智能空间中的定位问题	32
2.4 小结	34
参考文献	34
第三章 智能空间中的定位信息	39
3.1 智能空间的描述	39
3.2 定位信息	42
3.3 定位信息的表示	43
3.3.1 定位树	43
3.3.2 定位操作符	44
3.4 小结	46
参考文献	46

第四章 无线传感器网络典型定位算法分析	47
4.1 引言	47
4.2 节点定位算法的分类	48
4.3 静止锚节点静止未知节点	49
4.3.1 非测距定位算法	49
4.3.2 测距定位算法	57
4.3.3 小结	60
4.4 静止锚节点移动未知节点	61
4.4.1 历史记录定位算法	61
4.4.2 分簇定位算法	62
4.4.3 小结	63
4.5 移动锚节点静止未知节点	64
4.5.1 几何模型定位算法	64
4.5.2 移动路径定位算法	65
4.5.3 小结	68
4.6 移动锚节点移动未知节点	69
4.6.1 时间定位算法	69
4.6.2 概率分布定位算法	70
4.6.3 小结	71
4.7 总结与展望	71
参考文献	74
第五章 精确定位的理论基础与验证	78
5.1 空间定位的几何基础	78
5.2 计算未知节点位置	79
5.2.1 定位参数的获取	79
5.2.2 多边定位	80
5.3 如何在二维空间中部署锚节点	85
5.4 锚节点部署定理	90
5.5 锚节点选择算法	95
5.6 仿真实验环境	97
5.7 测试方法	100
5.8 与传统方法的比较	102
5.8.1 定位误差分析	102
5.8.2 实时性分析	104
5.8.3 算法的评价	106

5.9 小结	109
参考文献	110
第六章 定位误差的分析	112
6.1 定位误差的来源与分类	112
6.1.1 多边定位的误差来源	112
6.1.2 时间测量误差	113
6.1.3 锚节点位置	114
6.2 定位误差的理论分析	115
6.3 多边定位误差的分析	117
6.3.1 时间测量所引起的误差	117
6.3.2 锚节点部署位置引起的误差	120
6.4 小结	122
参考文献	123
第七章 两步安全定位算法	124
7.1 引言	124
7.2 相关工作	125
7.2.1 相关安全定位算法	125
7.2.2 TSSL 与现有算法的比较	126
7.3 网络模型及攻击模型	126
7.3.1 网络模型	126
7.3.2 恶意节点类型	127
7.3.3 攻击模型	127
7.4 TSSL 算法第一阶段——鉴别可疑节点	128
7.4.1 检测发送节点坐标信息	130
7.4.2 检测数据包发送时间	130
7.4.3 检测 ID 信息	130
7.5 TSSL 算法第二阶段——隔离恶意节点	131
7.6 安全定位	132
7.6.1 基于到达时间差的定位算法	132
7.6.2 改进定位算法	133
7.7 理论分析	134
7.7.1 安全性分析	134
7.7.2 定位误差分析	135
7.7.3 通信能量消耗	137
7.7.4 算法复杂度分析	137
7.7.5 定位覆盖度分析	138

7.8 仿真分析	139
7.8.1 恶意节点检测率	140
7.8.2 定位误差的比较	142
7.8.3 定位时长的比较	143
7.9 小结	143
参考文献	143
第八章 基于正三角形路径的节点精确定位算法及锚节点路径规划	148
8.1 定位问题描述	148
8.2 网络模型	149
8.2.1 无漏洞三重覆盖	149
8.2.2 区域优化策略	152
8.2.3 不规则度模型描述	155
8.3 节点通信范围不规则情况的定位分析	156
8.4 PLMAT 精确定位算法	159
8.4.1 移动锚节点的路径规划	159
8.4.2 锚节点移动路径的获取	163
8.5 小结	164
参考文献	164
第九章 精确定位算法的仿真实验与评价	165
9.1 仿真实验环境	165
9.1.1 网络模型	165
9.1.2 仿真参数	166
9.2 性能评价标准	166
9.3 定位算法仿真与性能分析	167
9.3.1 能量与总路径的关系	167
9.3.2 噪声对算法性能的影响	169
9.3.3 锚节点发射半径 r 对算法性能的影响	170
9.3.4 节点密度 ρ 对算法性能的影响	172
9.3.5 锚节点移动速度 v 对算法性能的影响	173
9.3.6 未知节点的实际位置与估计位置比较	173
9.3.7 不规则度对定位误差的影响	175
9.3.8 不同算法的比较	178
9.4 小结	179
第十章 总结及展望	180
10.1 总结	180
10.2 展望	182

第一章 绪 论

1.1 物 联 网

物联网(Internet of Things)是新一代信息技术的重要组成部分,是以智能感知、泛在接入与宽带传输、计算处理和智能决策控制为特征的,连接物理世界和信息空间一切实体的,以安全优质、随时随地提供可运营、可管理的信息服务为目标的网络,其目的是让所有的物品、信息都与网络连接在一起,方便识别、管理和处理。目前,物联网已被正式列为国家重点发展的战略性新兴产业之一,其应用范围几乎覆盖了经济社会发展的各个领域,是继计算机、互联网和移动通信之后的又一次信息产业的革命性发展。物联网的关键技术包括计算与服务技术、交互与控制技术、软件与算法技术、接入与组网技术、通信与频管技术、节点与网关技术、识别与环境感知技术、传感器与 RFID 技术等^[1]。

物联网用途广泛,遍及智能交通、环境保护、政府工作、公共安全、平安家居、智能消防、工业监测、环境监测、老人护理、个人健康、花卉栽培、水系监测、食品溯源、敌情侦查和情报搜集等多个领域。在美国,物联网在军事、工业、环境监测、医疗和电力等领域应用广泛,其传感器应用占全球的 59%。在欧盟,物联网在物流、零售、制药、电力和交通领域的应用已形成了一定规模。日本较早地在安全管理、智能电网、公众服务等领域开展了物联网应用,并通过资金和政策支持吸引企业参与技术推广和研发。我国物联网的应用从总体上来说处于初期阶段,目前开展了一系列示范项目,在交通、物流、电网、医疗卫生、农牧业、金融业等领域的应用工作取得了初步进展。随着电子不停车收费(ETC)、移动支付、智能电网发展计划、智能车路控制、智能物流、智能家居等项目的应用,我国物联网行业呈现了全新的面貌,这无疑会极大促进该行业的发展^[2]。

我们考虑下面的物联网的应用场景:Jane 是一个计算机组织的 CIO,参加纽约总部的重要会议。他与三个人在会议室,还有两人通过计算机视频会议系统参加会议。系统允许他们相互交流,通过一个共享区域编辑文档和浏览数据。正好有一个紧急电话找 Jane,这时电话助手就把这个电话转移到离他最近的一部分机,接到电话后,Jane 必须提前离开,因为他要赶去巴黎的飞机参加另一个合伙人的会议。很幸运,他可以使用 PDA(Personal Digital Assistant)继续参加会议。一旦 PDA 检测到 Jane 离开会议室,就将会议的声音部分转到他的电话上。Jane 一

进入轿车,驾驶员座后的屏幕就开始播放会议的视频,包括参加会议的人员和那块编辑文档和浏览数据的共享区。另外,会议的音频部分转入轿车中扩音器中。当轿车移动时,视频自动调整分辨率来适应不断改变的网络质量。

随着会议的进行,一个即时框跳出告诉他 Colorado Spring 的数据中心起火了。Jane 立即拨出电话进行回复,数据中心的管员报告数据中心的火灾毁坏了一些设备,但备份已经安全的移走了。Jane 决定改变计划飞往 Colorado Spring 立即处理此事,他要求数据中心的管员提供一份详细的损坏报告,以做出检修计划。Jane 激活软件个人代理并让它改变飞行目的,他要求以最快的网络速度与数据中心结构有关的文件传送到他的 PDA 上,代理改变了航班,并由此推断他不能实现巴黎的约定,所以通过旅馆在线服务取消了房间,并通过 E-mail 告之合伙人取消会议。当 Jane 走出轿车,代理从车载计算机转入 PDA,并扫描该区域从而获得较好的网络质量,当 Jane 走入机场大厅,代理探测 WLAN 并开始下载有关数据中心的重要数据。

在机场候机室,Jane 与数据中心管员联系以取得最新的数据。一旦 Jane 登机,他的 PDA 再次搜索网络服务,检测到它能够与飞机座位上的显示器和键盘连接,同时能够使用飞机中的 WLAN。在屏幕上显示笔记本电脑的内容并把数据中心的重要信息。飞机起飞之后,Jane 详细计划必要的修复措施,传达必要的命令,并找到一个自由作家来缓解所有已经忙了整天的压力。PDA 个人代理软件自动将命令排序并使用飞机中慢速的网络传输一些文件。当 Jane 在 Colorado Spring 降落时,PDA 使用机场的 WLAN 传输剩余的文件,在 Jane 到达数据中心时,自由作家的祝福已经到来,数据设备供应商已经接到命令替换部件。

这个场景包含了物联网的许多方面应用,包括动态任务、服务透明和定位服务等问题,其中定位服务中传感器节点的精确定位是本书研究的重点问题。

物联网中的一个主要的服务是定位服务,它的功能是如何能发现用户的位置,并且利用周围环境中对象的定位信息为用户提供更好的服务。上述这个例子中隐含了大量的定位信息,例如,判断 Jane 是否离开办公室以及根据他的位置实现电话的自动转接等,这些都是定位服务所要实现的功能。

定位问题自古以来就一直受到人们的关注,这是一个古老的话题,但是由于环境的改变使其又重新成为人们研究的热点问题。随着大量智能设备出现在人们的周围,并且移动性在增加,当前对定位问题提出的需求是如何准确获取移动用户的定位信息,包括用户的位置及其周围的对象等,以及根据用户的所处的位置提供相应的定位服务。在传统的计算模式中并没有涉及到这些相关的内容,这些都是由物联网模式下的需求而产生的。定位服务可以对定位对象之间的空间位置信息进行表示与描述,为用户提供跟踪、浏览和查找等应用。

物联网是近年来才逐步得到研究人员的青睐,也是 20 世纪后期才起步的一个

崭新的科研课题,人们在这个方面的研究基本上处于理论研究阶段。所有的这些出现的新问题归根结底都是物联网下的新需求,其中设备的资源受限,并且它们所面临的任务一般都是时间敏感性较强的应用,如何才能资源有限的情况下准确的获取未知节点的位置信息,同时又能满足定位实时性的需求,是目前国际上该领域的研究热点。目前,许多研究人员对定位问题进行相应的研究,并提出了一些定位算法,如二阶段定位算法等,但是由于这些算法计算的复杂度较大,不容易在智能设备中实现,而且其定位实时性较差,无法满足室内环境下的移动用户定位需求。由大量设备所组成的智能环境中,当移动用户想要知道自己的位置时,需要由相应的设备为其提供定位服务,当用户接收到多个设备提供的位置信息时,为了保证定位实时性的要求,需要从中选择出一些合适的设备来估计其所在位置信息,那么,如何选择出合适的设备使移动用户获取准确的定位信息,并使其定位误差最小,同时也能够满足定位实时性的需求,是目前定位服务中需要迫切解决的问题。

计算模式对计算技术的发展有着至关重要的作用,模式是解决某一类问题的方法论,在计算模式中,主要指解决计算问题的方法,包括框架和相应的软件。纵观计算机进入人类社会的历史,计算模式主要经历了三个阶段。

第一个阶段为主机计算(Mainframe Computing)时代。在主机计算时代,计算机是稀缺的资源,人与计算机的关系是多对一的关系,计算机安装在为数不多的计算中心,人们必须用生涩的机器语言与其打交道。计算机那时还是贵重的科学仪器,有专人负责管理。此时,信息空间与我们生活的物理空间是脱节的,计算机的应用也仅局限于科学计算领域。

20 世纪 80 年代 PC 开始流行,计算模式也随之跨入第二个阶段——桌面计算(Desktop Computing)时代。这时,人与计算机的关系演变为一对一的关系,图形用户界面和多媒体技术的发展使计算机使用者的范围从计算机专业人员扩展到其他行业的从业人员和家庭用户,计算机也从计算中心步入办公室和家庭,人们能够方便地获得计算服务。仍然是在主动地“使用”计算机,必须去安装、配置和管理它们,与我们的生活还存在很大的距离。

现在,伴随着人类社会进入 21 世纪的脚步,计算机及相关技术的发展,通信能力和计算能力的价格正变得越来越便宜,所占用的体积也越来越小,各种新形态的传感器、计算/联网设备蓬勃发展;同时由于人类对生产效率、生活质量的不懈追求,人们开始希望能随时、随地、无困难地享用计算能力和信息服务,由此带来了计算模式的变革,这就是计算模式的第三个阶段——物联网时代^[3~9]。在未来的物联网时代中,具有计算能力的设备遍布世界的每一个角落,每个人的生活中也充满了计算机,如手机、掌上电脑、汽车、家用电器,还有一些公共设施,人们无论走到哪里都会得到一定的计算能力,从生活空间到工作空间,具有计算能力的设备是无所不在的,人与计算机的关系变成了一对多的关系^[10~14]。

每一种计算模式都会带动适合其特点的计算机科学技术的发展。主机计算模式促进了分时操作系统的发展;而桌面计算模式则带动了个人操作系统、图形用户界面、多媒体等技术的发展。同样的,物联网势必要求发展与其相适应的计算机科学技术,而这绝不是对目前桌面计算模式孕育的现有理论和技术的简单线性扩展,因为现有的计算机技术还存在以下一些不足,难以满足物联网模式的要求,主要有:①以计算机为中心,不是以人为中心;②计算资源是私有的,不是共享的;③计算是固定的,不能随时移动;④应用程序缺乏互通性^[15~18]。Sun 公司的科学家曾预言^[17]:在物联网时代,计算实体(设备、对象、服务和代理)之间自主的交互将超过由人直接驱动的交互,成为 Internet 上的主要数据流。

在未来的物联网时代,各种具有计算和联网能力的设备应该像现在的水、电、纸和笔一样随手可得,人与计算机的关系将发生革命性的改变,变成一对多、一对数十甚至数百。同时,计算机的受众也将从必须具有一定计算机知识的人员普及到普通百姓。计算机不再局限于桌面,它将被嵌入到工作、生活空间中,变为手持或可穿戴的设备,甚至与日常生活中使用的各种器具融合在一起^[19,20]。此时,信息空间将与物理空间融合为一体,这种融合体现在两方面:首先,物理空间中的物体将与信息空间中的对象互相关联,例如,一张挂在墙上的油画将同时带有一个 URL,指向与这幅油画相关的 Web 站点;其次,用户在操作物理空间中的物体时,可以同时透明地改变相关联的信息空间中对象的状态,反之亦然。

1.2 无线传感器网络

物联网时代的来临,必然伴随着大量传感器的应用,其中一个最关键的技术是无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSNs)的实现。无线传感器网络由大量微型传感器节点组成,是一种集智能化与网络化于一身的新技术。部署在监测区域内的微型传感器节点通过协作的方式感知、采集和处理感知对象的信息,并采用无线通信方式形成将信息发送给终端用户,从而形成一个多跳自组织网络,实现了用户对目标区域的感知^[22]。无线传感器网络在军事、环境、家庭以及其他商业领域有着广阔的应用前景,在空间探索和灾难拯救等领域也有其独特的技术优势^[3]。无线传感器网络由于其高度的学科交叉性和广泛的应用前景受到世界各地学术界和工业界的高度关注,是新兴的前沿热点研究方向,成为当前 IT 领域最具有挑战性的课题之一^[21]。著名的美国商业周刊和 MIT 技术评论在预测未来技术发展的报告中,分别将无线传感器网络列为 21 世纪最具影响的 21 项技术^[23]和改变世界的 10 大新技术之一^[24],并称其是继因特网之后,将对 21 世纪人类生活方式产生重大影响的 IT 热点技术。2006 年我国政府将发展无线传感器网络技术列入未来 15 年“国家中长期科学和技术发展规划纲要”^[25]。鉴于无线传感器网络的

重要性及其广泛应用。国内外的多个研究机构,尤其是美国通过国防高级研究计划署(DARPA)和国家自然科学基金(NSF)等多种渠道投入巨资支持无线传感器网络技术的研究^[26]。2009年8月7日,温家宝总理视察中国科学院无锡高新微纳传感网工程技术研发中心,深入阐述了感知中国、智慧中国的新理念,对微纳传感器研发中心予以高度关注,要求“尽快建立中国的传感信息中心”。与此同时,国内中国科学院、浙江大学、哈尔滨工业大学、中国科学技术大学、上海交通大学、南京大学、河海大学等积极开展有关无线传感器网络的基础研究工作。完全有理由相信,政府的高度重视和市场日益增长的需求,必将使我国的无线传感器网络的研究和产业发展迎来又一个春天。

随着现代微电子技术、微机电系统(Micro-Electro-Mechanism System, MEMS)、片上系统(System-on-Chip, SoC)、无线通信技术和计算机网络技术等进步以及互联网的迅速发展,传感器信息获取技术从独立的单一化模式向集成化、微型化,进而向智能化、网络化方向发展,成为最重要和最基本的信息获取技术之一^[26]。

(1) WSNs 的系统结构

无线传感器网络的系统结构^[24],如图 1.1 所示。

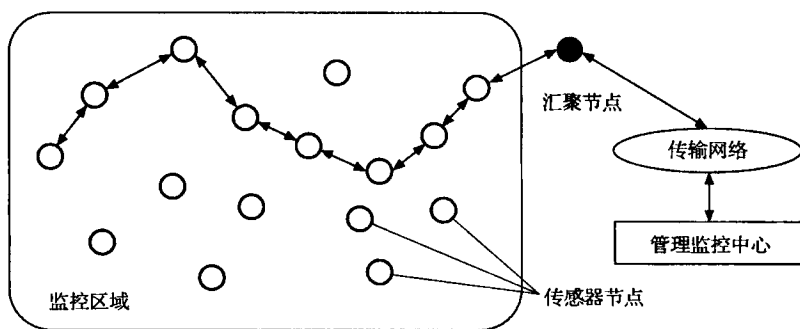


图 1.1 无线传感器网络系统结构图

无线传感器网络系统构成的三个要素为传感器节点、汇聚节点和管理节点。传感器节点部署在被监测区域,通过自组织方式组成网络,协同感知、采集并处理监测区域的信息,包括温度、压力、关强度、物体移动的速度、方向等。监测到的数据信息在网络中逐跳地进行传输,经过多次处理后传输到能量较大的汇聚节点,最后通过互联网或卫星到达管理节点,为用户提供决策支持。同时用户也可以通过管理节点进行网络的配置和管理,发布监测任务以及收集监测数据^[27]。

(2) WSNs 的特征

无线传感器网络是能够监测、控制和无线通信的网络系统,节点数目庞大且分

布密集,部署环境恶劣,因此其网络拓扑结构易受到环境干扰。另外,由于能源受限的问题,无线传感器网络的首要设计目标是能源的高效利用,其具体特性如下^[27]:

1) 大规模网络:为了获取精确信息,一方面传感器网络需要监测的范围很广阔,节点部署在很广阔的地理区域内;另一方面节点的部署非常密集,在监测区域部署了大量的传感器节点,大量的冗余节点通过各自不同的空间视角获得的更精确的定位信息,提高了定位的精度。

2) 自组织网络:通常情况下,传感器节点是通过飞机播撒的方式投放到需要监测的区域,节点部署的位置不能预先精确设定,节点相互之间的邻居关系事先也不知道。传感器节点通过自身的自组织能力自行配置和管理,相互通信形成拓扑结构。

3) 动态性网络:无线传感器网络的拓扑结构随着环境的变化而实时地发生改变,如节点失效、节点补充及节点和监测目标的移动,因环境变化而造成无线链路带宽的变化等情况,所以无线传感器网络系统具有动态的系统可重构性来适应这些动态的变化。

4) 应用相关性:无线传感器网络感知客观物理世界,获取用户关心的信息,然而客观世界的物理量多种多样,不同的应用背景对无线传感器网络的要求不同,其硬件平台、软件系统和网络协议也有很大的差异。只有针对每一个具体应用来研究传感器技术,才能让系统更贴近应用,以便做出最高效的目标系统。

5) 可靠性:无线传感器网络的软硬件必须具有鲁棒性和容错性,以适应监测区域的恶劣环境。

6) 以数据为中心:无线传感器网络是任务型的网络,其关心的节点感知到的数据,跟感知节点的 ID 号没有关系,这一点区别于传统网络的寻址过程。

1.3 精确定位的研究现状

对于智能环境下的无线传感器网络应用而言,无法获得正确位置的节点信息采集、处理和传输常常是没有实际意义的。例如,军事应用、危险目标监测与跟踪、基于位置信息的路由、智能交通、水环境监测、物流管理等许多重要应用都要求网络节点提供自身的位置,并在通信和协作过程中利用位置信息完成应用要求。另一方面,准确的位置信息、较低的能量消耗、定位系统综合性能的协调最优化处理又是有效定位的必要条件。随着无线传感器网络研究开发的不断深入,有效而可靠的定位技术及其优化方法急需解决,它是传感器网络技术真正从设计走向实际应用必须攻克的关键支撑技术。研究定位技术既加快了我国传感器网络技术向应用迈进的步伐,又可在该领域国际前沿获取新知识产权,对无线传感器网络的理论

研究和实际应用具有不可替代的重大作用和意义。

作为连接物理世界和数字世界的桥梁,无线传感器网络被广泛应用于许多领域来处理敏感的信息,应用场景包括军事、工业、家庭、医疗、海洋等环境的监测等诸多领域,尤其是在自然灾害的监测、预警、救援等突发紧急场合有着大量的三维空间中的应用。上述的大多数应用都与传感器节点所在的位置相关联,节点自身的准确定位不仅是提供监测事件或目标位置信息的前提,也是提供网络拓扑自配置、提高路由效率、向部署者报告网络的覆盖质量以及为网络提供命名空间等网络功能的基础。由于节点本身的资源限制,传感器网络面临着独特的技术挑战,因此智能环境下的传感器节点定位信息的准确获取是完成智能空间中的定位服务的一个关键问题所在,那么如何更简单及时有效,并且准确地获取智能空间中的传感器网络节点精确定位信息是目前急需解决的重要课题和难题之一^[28]。

对无线传感器网络中为数量众多的传感器节点进行人工配置和安装 GPS 接收器的是不现实的或是无法实现的,这些都受到成本、功耗、环境以及扩展性等问题的限制^[29]。目前普遍采取的做法是在传感器网络中配置一定比例的具有 GPS 接收器的锚节点(Anchor Node),在网络初始化的时候锚节点通过其自身的 GPS 接收器得到其所在的位置信息,然后网络中其他的节点则通过 TOA、TDOA、AOA 以及凸规划等定位技术,节点以锚节点为参照对象对自身所处的位置进行定位^[30]。到目前为止,WSNs 自身定位系统和算法的研究大致经过了两个阶段:第一阶段主要偏重于紧密耦合和基于基础设施的定位系统,代表性的研究成果包括 RADAR、Active Bat、Active Badge、Smart Rooms 等;第二阶段主要是对于松散耦合型和无需基础设施的定位技术的研究,代表性的研究成果包括 Cricket、凸规划定位、SPA(Self-Positioning Algorithm)、APS(Ad hoc Positioning System)、Co-operative ranging 和 Two-phase positioning, AHLos(ad-hoc localization system)和 N-hop multilateration primitive、Generic Localized Algorithms 定位算法等^[31]。

目前,针对智能空间的精确定位研究刚刚起步,较早的研究工作有早期 Jeffery 等人提出的 SponON,该系统采用射频识别(RFID)技术,利用无线信号的衰减特性进行距离测量,根据测得的距离信息计算未知节点的位置^[32];Chen Xi 等人建立了不依赖于 GPS 的三维定位系统 ANGEPS,首先利用一跳范围内锚节点位置信息进行局部定位,然后利用坐标变换得到全网统一的三维坐标系^[33];Shang Yi 等人提出了基于多维定标的 MDS-MAP 定位算法,该算法首先利用多维定标(Multidimensional Scaling)技术建立一系列三维空间中邻近节点的局部地图,然后经过坐标转换实现全网定位^[34];Michalson 等人提出对无线自组网络进行分簇,建立相对坐标系,然后利用节点间的测量距离计算未知节点的三维坐标,并采用优化算法减少定位误差^[35]。文献[36]提出了一种定位算法叫作 Landscape-3D,该算法借助移动的辅助装置 LA(Location Assistant)周期性地广播其自身的

位置信息,网络中未知节点通过接收到的位置信息以及通过 RSSI 方法计算到的与 LA 之间的距离来确定自身位置;文献[37]也提出了一种限定空间内的三维定位算法 Constrained-3D,该算法主要原理是基于传统的三角计算,未知节点依靠测量与邻近锚节点之间的距离来推算自身位置。Lu 等人提出的 APIS(Approximate Point In Sphere)算法以使用球壳交集定位的思想对三维空间无线传感器网络节点进行定位^[38];Yu 等人提出利用三维空间抽样和范围约束的方法,并结合对成功样本点的加权筛选,获得节点的三维估计坐标以实现抽样定位^[39];Dai 等人利用基于球面坐标的动态定位机制,将定位问题抽象为多元线性方程组求解问题,最终利用克莱姆法则解决多解、无解问题^[40];文献[41,42]提出一种基于三维体质心的分布式定位算法,利用三维辅助坐标系,建立节点间的通信约束关系和空间几何关系来对计算节点的位置;Chia-Ho Ou 等人提出一种借助飞行的锚节点(Flying Anchors)辅助未知节点在三维空间中实现定位^[43]。

通过对国内外研究工作的深入分析,在过去的几年中,智能空间中的节点精确定位得到了初步的研究,但主要集中在定位技术方面,然而锚节点部署对未知节点的定位有较强的影响作用^[44],对于节点部署的问题集中在解决覆盖、传感器寿命、安全定位以及目标跟踪等方面^[45~47],而关于锚节点部署对定位精度的影响却很少受到重视。分析发现已有的定位机制与算法研究存在的主要问题有:①缺乏锚节点的部署对定位算法的影响因素的研究;②缺乏解决稀疏节点、边缘节点和亚孤立节点等有效定位手段;③已有定位算法大多基于安全可信的环境,缺乏定位安全的考虑;④邻居节点间频繁的信息互换和多次测量结果进行求精,加重网络通信的开销,算法收敛速度较慢,增加了算法的不确定性。

1.4 本书的组织结构

本书章节安排:第二章对定位服务中涉及的相关问题进行了研究,介绍了目前有关上下文感知计算、定位服务的一些基本概念和相关问题的解决方法;第三章对智能空间进行了描述,并对域及域之间的包含关系进行了形似化表示,利用具有分级结构的定位树对定位对象的定位信息进行相应的表示,并通过定位操作符完成定位信息的查询;第四章对目前已有的定位算法按照锚节点和未知节点的移动特性来重新分类,并对每种类型定位算法进行详细的分析和总结;第五章针对第三章模型中如何准确获取定位信息的问题,根据对未知节点在利用多边定位法在定位过程中产生的定位误差的分析,得出当锚节点所处位置之间的形状为等边三角形的时候,定位误差最小,并为室内智能环境中锚节点的部署提供了理论依据,从而在室内环境中可以有针对性的部署锚节点,并针对二阶段定位算法的分析并且结合锚节点的部署,提出了锚节点选择算法,并给出了具体的实现方法;第六章针对定

位过程中的所产生的定位误差进行定量分析,从而得到了产生定位误差的来源,并且对其进行分类;第七章针对传感器网络定位过程中的安全性问题开展研究,提出了二步安全定位算法,为智能空间中传感器网络节点的精确定位提供安全基础;第八章介绍了传感器网络的精确定位算法及锚节点移动路径规划;第九章利用仿真实验对所提出的精确定位算法及锚节点移动路径规划与传统方法进行了比较和分析;第十章总结了本书的研究工作并对未来的工作进行了展望。

参 考 文 献

- [1] 徐勇军,刘禹,王峰. 物联网关键技术[M]. 北京:电子工业出版社,2012.
- [2] 李茹. 揭秘物联网——技术及应用[M]. 北京:化学工业出版社,2011.
- [3] Weiser M. The computer of the 21st century[J]. Scientific American,1991,265(3):66-75.
- [4] 徐光佑,史元春,谢伟凯. 普适计算[J]. 计算机学报,2003,26(9):1042-1052.
- [5] Garlan D, Siewiorek D P, Smailagic A. Project aura: toward distraction-free pervasive computing [J]. IEEE Pervasive Computing, 2002, 1(4): 22-31.
- [6] Alan J. Research issues in ubiquitous computing[A]. In Proceedings of the 13th annual ACM symposium on principles of distributed computing[C]. Los Angeles, California, USA, 1994, 2-8.
- [7] Jochen B, Dr H H, Stefan H, Klaus R, Thomas S. Pervasive computing-technology and architecture of mobile internet applications[M]. Great Britain:Pearson Education Limited,2002.
- [8] Kindberg T, Fox A. System software for ubiquitous computing[J]. IEEE Pervasive Computing,2002,1(1-3):70-81.
- [9] Satyanarayanan M. Pervasive computing: vision and challenge[J]. IEEE Personal Communications, 2001, 8(8): 10-17.
- [10] Abowd G D, Schilit B N. Ubiquitous computing: the impact on future interaction paradigms and hci research [A]. In proceedings of CHI'97 workshop[C]. Atlanta, USA, 1997.
- [11] Abowd G D. Software engineering issues for ubiquitous computing[A]. In Proceedings of international conference on software engineer (ICSE-99)[C]. Los Angles, USA, 1999, 75-84.
- [12] Weiser M. The Future of ubiquitous computing on campus[J]. Communication of ACM, 1998, 41(1): 41-42.
- [13] Hohlf F, Kubach U, Leonhardi A, Rothermel K, Schwehm M. Next century challenges: nexus-an open global infrastructure for spatial-aware applications[A]. In Proceedings of Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM'99)[C]. 1999, 249-255.
- [14] Abowd G D. Software design issues for ubiquitous computing[A]. In Proceedings of IEEE Computer Society Workshop on System Level Design (VLSI'98)[C]. 1998, 104-109.
- [15] McDonald D W. Ubiquitous recommendation systems[J]. Computer, 2003, 36(10): 111-112.
- [16] Martin T. Wearable and ubiquitous computing[J]. IEEE Pervasive Computing, 2003, 2(3): 8-12.
- [17] Krohn A. Ubiquitous computing and the Internet[A]. In Proceedings of 2004 International Symposium on Applications and the Internet[C]. 2004, 26-30.
- [18] Dearle A. Toward ubiquitous environments for mobile users[J]. IEEE Internet Computing, 1998,2(1): 22-32.
- [19] Yau S S, Ahamed S I. An approach to developing information dissemination service for ubiquitous com-