

WUXIAN CHUANGANQI WANGLUO SHINEI DINGWEI
YU WANGLUO XIUFU FANGFA YANJIU

无线传感器网络室内定位 与网络修复方法研究

程 龙 王 岩 著



東北大學出版社
Northeastern University Press

无线传感器网络室内定位与网络修复方法研究

程 龙 王 岩 著

东北大学出版社

·沈 阳·

© 程龙 王岩 2015

图书在版编目 (CIP) 数据

无线传感器网络室内定位与网络修复方法研究 / 程龙, 王岩著. —沈阳: 东北大学出版社, 2015.6

ISBN 978-7-5517-0980-4

I. ①无… II. ①程… ②王… 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 (2015) 第128553号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路3号巷11号

邮编: 110819

电话: 024—83680267 (社务部) 83687331 (市场部)

传真: 024—83680265 (办公室) 83680178 (出版部)

网址: <http://www.neupress.com>

E-mail: neuph@neupress.com

印 刷 者: 沈阳航空发动机研究所印刷厂

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 170mm×240mm

印 张: 8.75

字 数: 162千字

出版时间: 2015年6月第1版

印刷时间: 2015年6月第1次印刷

责任编辑: 刘乃义

责任校对: 文 浩

封面设计: 刘江旸

责任出版: 唐敏志

ISBN 978-7-5517-0980-4

定 价: 28.00元

前言

微电子技术、计算技术和无线通信等技术的进步,推动了低功耗、多功能无线传感器网络的迅速发展。无线传感器网络在战场监视、环境监测和灾难救援等领域中具有广泛的应用,因此受到越来越多研究者的关注。本书在分析总结国内外相关研究的基础上,对室内定位和网络修复技术进行了深入的研究,主要研究内容和成果体现在以下几个方面。

针对室内障碍物较多容易造成信号非视距(Non-Line of Sight, NLOS)传播的问题,提出了一种基于TDOA(Time Difference of Arrival)的室内NLOS定位算法。分析了NLOS环境下接收信号强度和TDOA模型的特性,在此基础上采用序贯概率似然比检验方法对信号传播状态进行检测,使用LOS下的测量值建立了目标函数,并基于粒子群优化算法计算了未知节点的位置。最后设计了基于TDOA的室内高精度定位系统,并利用该系统验证了所提算法的有效性。

针对室内环境下NLOS误差动态性较强的问题,提出了一种基于似然矩阵的混合Kalman- H_∞ 滤波算法。该算法根据构建的似然矩阵对NLOS误差进行校正,并采用混合Kalman- H_∞ 滤波方法以降低测量噪声对定位精度的影响,最后利用滤波后的测量值对移动节点进行定位。该算法在无须事先已知NLOS误差任何统计信息的情况下,实现了对NLOS误差的有效抑制。

考虑到NLOS误差在小范围内服从某种分布的特性,提出了一种基于高斯混合模型的移动鲁棒定位算法。由于多个高斯概率密度函数的线性组合可以用来描述任何一种概率密度分布,因此该算法首先采用基于EM(Expectation Maximization)方法的高斯混合模型来估计测量值的分布情况,然后利用概率数据关联算法对估计值进行数据融合,从而计算出移动节点的位置。该算法有效地削弱了NLOS误差,提高了移动节点的定位精度。

针对二元传感器易受到环境噪声干扰的问题,提出了两种二元传感器网络的多源定位算法。首先基于Neyman-Pearson准则建立了多源探测模型,该模型能够较好地反映节点误警的特性。然后针对两个信号源的情况,采用Fisher准

则对节点进行分类,并提出了WSNAP算法对信号源的位置进行估计;针对多个信号源的情况,提出了基于模糊 C 均值的多源定位算法。这两种算法均能够有效地抑制测量噪声的不利影响,并具有较高的定位精度。

针对无线传感器网络易产生网络空洞的问题,提出了能量均衡的网络修复算法。首先分析了节点的探测模型和能耗模型,并建立了网络状态指示值,利用该指示值作为网络修复的标准,然后针对不同的修复思想提出了COST_MAX_MIN算法和COST_MAX_AVG算法,这两种算法分别将状态指示值最小的点和使整体性能改变最大的点作为待部署节点的位置。针对COST_MAX_AVG算法计算复杂度较高的问题,提出了基于LinWPSO的COST_MAX_AVG网络修复算法,有效地延长了网络维护周期。

本书系统地研究了无线传感器网络室内定位及网络修复的理论,对提出的算法进行了仿真实验与分析。通过与其他方法的对比,证明了本书所提的方法具有可行性、有效性和先进性。

本书的出版得到了国家自然科学基金(61403068)、中央高校基本科研业务费项目(N130323004, N130323002)、河北省自然科学基金(F2015501097)、河北省教育厅资助科研项目(Z2014078)和东北大学秦皇岛分校校内基金(XNB201509, XNB201510)的资助,在此表示感谢。

限于作者水平,书中难免有不妥之处,敬请广大读者批评指正。

著 者

2014年8月

目 录

第 1 章	绪 论	1
1.1	研究的背景和意义	1
1.2	无线传感器网络概述	2
1.2.1	无线传感器网络的特点	3
1.2.2	无线传感器网络的关键技术	4
1.3	国内外研究现状	6
1.3.1	无线传感器网络的研究现状	6
1.3.2	无线传感器网络定位技术的研究现状	7
1.3.3	无线传感器网络修复技术的研究现状	8
1.4	主要研究内容和章节安排	9
1.4.1	主要研究内容	9
1.4.2	章节安排	10
第 2 章	基于 TDOA 的室内 NLOS 定位方法研究	12
2.1	基于无线传感器网络的室内定位	12
2.1.1	基本概念和术语	12
2.1.2	定位算法的分类	13
2.1.3	经典定位算法概述	16
2.1.4	NLOS 定位算法概述	19
2.2	基于 TDOA 的 NLOS 检测及削弱算法研究	20
2.2.1	NLOS 环境下的传播模型	20
2.2.2	基于序贯概率比检验的 NLOS 检测算法	22
2.2.3	基于最大联合概率的 NLOS 削弱算法	23
2.2.4	仿真与实验结果分析	24

2.3 基于TDOA的室内定位系统设计	27
2.3.1 室内定位系统概述	27
2.3.2 系统架构及工作原理	27
2.3.3 基于TDOA的室内定位节点硬件设计	28
2.3.4 基于TDOA的室内定位系统软件设计	32
2.3.5 定位系统的性能分析	33
2.4 本章小结	34

第3章 未知NLOS误差的移动定位方法研究 35

3.1 移动节点定位	35
3.1.1 移动节点定位算法概述	35
3.1.2 NLOS环境下移动节点定位研究现状	36
3.2 无线传感器网络移动定位滤波算法分析	37
3.2.1 Kalman滤波算法	38
3.2.2 粒子滤波算法	39
3.2.3 H_{∞} 滤波算法	40
3.2.4 NLOS误差对滤波算法影响的分析	42
3.3 基于似然矩阵校正的移动定位算法研究	44
3.3.1 测距模型	44
3.3.2 未知NLOS误差参数的似然矩阵校正算法	44
3.3.3 混合Kalman- H_{∞} 滤波算法	46
3.3.4 位置估计算法	48
3.3.5 仿真结果与分析	49
3.4 本章小结	54

第4章 基于高斯混合模型的移动鲁棒定位方法研究 55

4.1 基于EM算法的高斯混合模型	55
4.1.1 高斯混合模型	55
4.1.2 EM算法的基本原理	56
4.1.3 基于EM算法的GMM参数估计	57
4.2 概率数据关联算法	58

4.2.1	基于概率数据关联的状态估计	59
4.2.2	关联概率的计算	60
4.2.3	状态和协方差矩阵的更新	60
4.3	基于高斯混合模型的NLOS定位研究	61
4.3.1	信号模型	61
4.3.2	基于GMM的测量值概率密度估计	62
4.3.3	改进的概率数据关联滤波算法	65
4.3.4	残差加权位置的估计	66
4.3.5	仿真结果与分析	67
4.4	本章小结	71
第5章	基于二元传感器网络的多源定位方法研究	72
5.1	二元传感器网络多源定位	72
5.2	二元传感器探测模型	74
5.2.1	0/1探测模型	74
5.2.2	概率探测模型	74
5.2.3	基于Neyman-Pearson准则的探测模型	75
5.3	基于Fisher判别准则的双源定位算法研究	77
5.3.1	基于Fisher准则的传感器分类	77
5.3.2	多源WSNAP定位算法	78
5.3.3	仿真结果与分析	79
5.3.4	实验与结果分析	84
5.4	基于模糊C均值的多源定位算法研究	85
5.4.1	系统模型	85
5.4.2	基于模糊C均值算法的多源定位算法	86
5.4.3	仿真与实验结果分析	90
5.5	本章小结	95
第6章	基于能量均衡的无线传感器网络修复方法研究	96
6.1	无线传感器网络修复技术	96
6.2	网络模型的建立	97
6.2.1	节点探测模型	98

6.2.2	节点能耗模型	100
6.2.3	网络状态指标	101
6.3	基于能量均衡的网络修复算法研究	103
6.3.1	COST_MAX_MIN算法	104
6.3.2	COST_MAX_AVG算法	104
6.3.3	仿真结果与分析	105
6.4	基于PSO的网络修复算法研究	110
6.4.1	智能优化算法简介	110
6.4.2	基于LinWPSO的COST_MAX_AVG网络修复算法	111
6.4.3	仿真结果与分析	113
6.5	本章小结	115
第7章	总结与展望	116
7.1	总 结	116
7.2	展 望	117
参考文献		118

第1章 绪论

1.1 研究的背景和意义

无线传感器网络 (Wireless Sensor Network, WSN) 是由部署在监测区域中的大量具备感知、存储、数据处理和通信能力的廉价传感器节点组成的。这些节点通过多跳无线通信方式构成自组织网络系统, 实现对监测区域内某些对象信息的实时感知、采集和处理, 并能够将处理后的信息传输给终端用户。WSN 作为一种全新的信息获取平台, 受到了国内外学术界和工业界的高度关注, 它被看作继因特网之后将对 21 世纪人类的生活方式产生重大影响的 IT 技术之一。1999 年, 美国《商业周刊》将 WSN 列为 21 世纪最具影响力的 21 项技术之一^[1]; 2003 年, 美国 *Technical Review* 将 WSN 列为改变未来世界的十大新兴技术之一; 2006 年, 我国发布的《国家中长期科学与技术发展规划纲要》中, 为信息技术确定了三个前沿方向, 其中两项为智能感知和自组织网络技术; 我国在 2010 年远景规划和“十一五”计划中将 WSN 列为重点发展的产业之一。

位置信息对于无线传感器网络的应用至关重要, 没有位置信息的数据几乎没有意义, 因此, 定位技术成为 WSN 的关键技术之一^[2], 美国国防部将传感器网络定位作为 5 个国防尖端领域之一。全球定位系统 (Global Positioning System, GPS) 虽然可以获得比较精确的地理位置, 但是需要高昂的成本和能耗, 而且在一些特殊场合 (室内或深林), GPS 的定位精度将无法满足使用者的要求。无线传感器网络具有自组织、自维护且部署灵活等特点, 因此研究基于无线传感器网络的定位技术具有较高的理论和实际意义^[3]。

目前, 关于传感器网络定位技术的研究都假设在比较理想的情况下, 即节点通常部署在空旷的区域, 且传感器节点的测量比较准确。在室内环境下, 障碍物 (移动人群或大型物品) 的影响使得节点之间的通信通常是非视距 (Non-Line of Sight, NLOS) 的。NLOS 传播会使得信号产生较大的偏差, 若依然根据理想情况下的假设模型进行位置估计, 最终会导致较大的定位误差。

本书正是基于以上分析,提出了相应的 NLOS 检测、削弱算法,提高了非视距环境下的定位精度;针对大规模部署的传感器网络,研究了多个事件同时发生时的多信号源定位,并提出了计算复杂度较低且定位精度较高的多源定位算法。

当传感器网络长时间运行后,节点之间的能耗不均衡会导致有些节点过早死亡,从而形成网络空洞。目前研究网络修复的算法大多仅考虑网络探测空洞,在修复过程中并不考虑节点的剩余能量,这将会导致修复后的网络过早地出现新的空洞。因此,研究考虑节点剩余能量的网络修复策略具有较大的实际意义。

1.2 无线传感器网络概述

无线传感器网络由大量的传感器节点、汇聚节点、Internet 网络及用户管理中心组成,节点之间通过无线通信的方式形成一个多跳自组织网络,系统结构图如图 1.1 所示^[4-5]。传感器节点将采集到的信息进行简单处理后,通过其他节点将该信息传递至汇聚节点,汇聚节点对信息进行分析处理后,将该信息通过 Internet 网络传输给用户管理中心,用户可以通过管理中心获得 WSN 监测的数据。

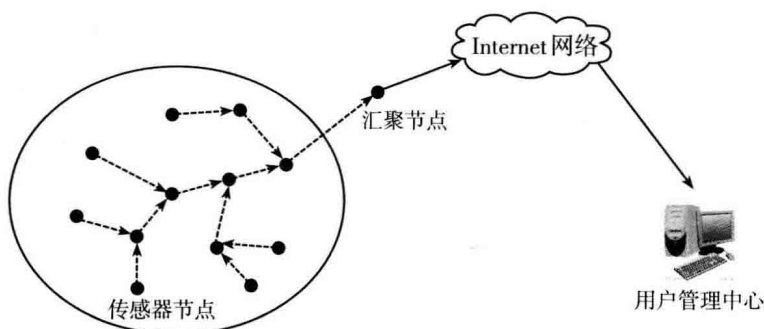


图 1.1 无线传感器网络结构图

传感器节点是无线传感器网络的基本组成单元,它主要负责采集、处理和传输数据。虽然传感器节点硬件平台存在着很大的差异,但它们都具有典型的结构,如图 1.2 所示,节点通常包括传感器模块、处理器模块、无线通信模块、存储模块和电源管理模块^[6-7]。传感器模块负责采集监控或观测区域内的物理信息。处理器模块是无线传感器网络节点的核心,它负责任务调度、数据计算、通信协议和数据转存储等工作。无线通信模块用来交换各个节点的数据。

存储模块负责存储处理器转送的数据和自身物理信息。电源管理模块负责为以上模块供电并产生能量。

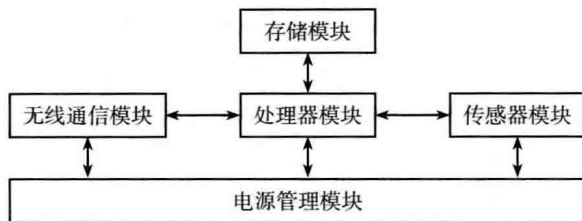


图 1.2 传感器节点结构图

1.2.1 无线传感器网络的特点

由于节点采用电池供电，且节点的处理能力、存储能力和通信能力都相对较弱，因此，无线传感器网络具有如下特点^[8-9]。

(1) 大规模网络

传感器网络通过在监测区域内部署成千上万个节点以获得网络整体的可靠性，虽然单个节点的能力非常有限，但是大规模、冗余协同的工作方式使得传感器网络能够可靠地工作。这种工作方式具有以下特点：通过分布式处理大量的采集信息能够提高监测精度，并且能够降低对单个节点测量精度的要求；大量冗余节点的存在使得网络具有很强的容错能力；大量部署的节点能够减少监测空洞与盲区。

(2) 自组织和自适应性

在传感器网络的应用中，节点通常被随机部署在没有充足基础设备的区域内，因此，节点之间的相邻关系无法预先获取，这就要求传感器节点具有自组织的能力，使得节点能够根据自身配置、网络协议和拓扑控制机制自动形成无线多跳自组织网络。在传感器网络运行过程中，受能量耗尽和外界因素等影响，部分节点可能会失效，这就需要增加部分节点以保证网络连通度和监测精度。因此，网络中的节点数量和拓扑结构是动态变化的，这就要求 WSN 具有较强的自组织能力以适应网络的变化。

(3) 多跳通信

传感器网络节点的通信距离非常有限，每个节点只能与它邻近的节点直接通信。当节点相互之间为了实现数据共享而进行通信时，往往需要中间节点进行转发，通过多跳传输的方式进行数据传输，该方式能够有效地降低网络能耗。

(4) 以数据为中心的网络

互联网是一个以地址为中心的网络，每个网络设备都具有唯一的 IP 标识；

而传感器网络是任务型的网络,网络的任务是检测与传输,节点是通过编号标识的。编号和位置之间没有必然关系。节点分布在监测区域内,当用户需要某一信息时,网络会测量并将测量数据传送给用户,网络和节点之间不存在必然的联系,节点编号和地理位置信息无关。网络的布置和展开无须依赖于任何预设的网络设施,节点通过分层协议和分布式算法协调各自的行为,从而快速、自动地组成一个独立的网络。

(5) 传感器节点的通信和计算能力有限

传感器节点的通信能力有限。传感器节点的大部分能量消耗在通信上,通信距离增加将使节点能耗急剧增加,因此,节点通常采用多跳通信方式传输数据。传感器网络中传感器节点的传输速率低、通信距离短,一般只有几十至几百米,传感器节点通信带宽有限,一般仅有几百 kb/s 的速率。由于节点容易受到障碍物、其他信号以及风雨雷电等干扰,通信性能经常变化甚至中断,因此,设计网络通信机制满足传感器网络应用的要求是 WSN 面临的挑战之一。

传感器节点的处理模块是由微处理器构成的,传感器网络中的传感器一般采用嵌入式处理器和存储器,这些传感器节点虽然都具有计算能力,可以完成一些信息处理工作,但由于嵌入式处理器和存储器的能力及容量有限,传感器节点的数据计算处理能力十分有限。

(6) 应用相关的网络

传感器网络是用来感知客观物理世界并获取某些物理量的信息的。客观世界有很多物理信息,传感器网络不可能去监测每一种物理量,它仅仅监测用户所关心的几种物理量,因此,不同的应用背景对传感器网络的要求不同,且对节点硬件、软件和协议的要求也不同。开发者应当根据不同的网络应用,设计出适合该应用的传感器网络。

1.2.2 无线传感器网络的关键技术

无线传感器网络作为一个全新的研究领域,在基础理论和工程技术两方面向科技工作者提出了大量的具有挑战性的研究课题,主要关键技术包括如下几方面。

(1) 硬件设计和嵌入式操作系统

如何利用现有的微电子、微机械和微通信等技术设计出体积小、寿命长的节点成为传感器网络的关键技术之一。传感器节点是一个微型的嵌入式系统,携带的硬件资源非常有限,需要操作系统能够高效地使用其有限的存储和处理能力,传感器节点具有并发性密集和模块化程度高的特点,这就为面向 WSN

的操作系统提出了新的挑战。

(2) 网络协议

节点的计算能力、存储能力、通信能力和携带的能量非常有限,因此,传统的网络协议难以应用在传感器网络中。传感器网络的拓扑结构经常动态变化,而且要保证通信安全、网络文件以及数据可靠,这些问题都对网络协议的设计提出了很高的要求。

(3) 网络安全

网络安全能够保证传感器网络数据传输的安全性和任务执行的机密性,研究重点主要集中在密钥管理、身份认证、数据加密及攻击检测与防御等方面。由于传感器节点的存储和处理能力非常有限,因此软件加密得到了广泛关注。由于节点通常部署在较大的空间内,且节点之间存在安全耦合,因此,WSN 容易受到各种恶意攻击,安全算法应尽量能够检测攻击并减少节点间的耦合性。

(4) 定位技术

位置信息是传感器网络节点采集数据过程中不可缺少的部分,没有位置信息的监测消息通常毫无意义。确定事件发生的位置或采集数据的节点位置是传感器网络最基本的功能之一。根据无线传感器网络的自身特点,定位机制必须满足自组织性、健壮性、能量高效性和分布式计算等要求。

(5) 数据融合

无线传感器网络存在能量约束,数据融合能减少传输的数据量,从而有效地节省能量。数据融合是将多份数据或信息进行处理,组合出更有效、更符合需求的数据过程。由于传感器节点的易失效性,传感器网络也需要数据融合技术对多份数据进行融合,提高信息的精确度。数据融合技术可以与传感器网络的多个协议层进行结合,在传感器网络的设计中,必须面向应用需求设计针对性强的数据融合方法,才能最大限度地获益。但是数据融合技术也有一定的缺点,它在节省能量、提高信息准确度的同时,要以牺牲延迟性和鲁棒性的性能为代价。

(6) 时间同步

由于整个传感器网络需要协同工作,因此需要每个节点具有时间同步机制。不同节点的硬件差异及环境影响,使得每个节点的时钟会随着时间的推移而产生偏差。目前,RBS、TINY/MINI-SYNC 和 TPSN 为公认的基本同步机制。

1.3 国内外研究现状

1.3.1 无线传感器网络的研究现状

无线传感器网络的研究起步于 20 世纪 90 年代,最初是利用微机电系统(Micro-Electro-Mechanical Systems, MEMS)技术设计微型化的节点设备,然后逐步扩展形成网络。1993 年,美国国防部高级研究计划局(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA)资助开展了无线集成传感器网络项目^[10],该项目涉及 MEMS 传感器和接收器、网络协议设计、信号处理和监测理论的基本原理等方面。1994 年,美国加州大学洛杉矶分校的 William 教授向 DARPA 提交了研究意见书“Low Power Wireless Integrated Micro Sensors”,对推动 WSN 的研究具有里程碑的意义。1996 年,由 MIT 承担的 MAMPS(Micro-Adaptive Multi-domain Power aware Sensors)项目^[11]设计出了低功耗的传感器节点,并提出了以节能和可重构为目标的通信协议。DARPA 和美国自然科学基金委员会单独或共同资助了一系列无线传感器网络研究项目,包括:哈佛大学的 Code Blue 项目^[12],加州大学洛杉矶分校的 CENS 实验室项目^[13],俄亥俄州立大学的 ExScal(Extreme Scale)无线传感器网络项目^[14],麻省理工学院的 NMS(Networks and Mobile Systems)项目^[15],斯坦福大学的无线传感器网络实验室项目等,这一系列项目的开展取得了开创性的成果,标志着无线传感器网络系统的正式提出,也标志着 WSN 技术得到了广泛认可和重视。欧盟 2002 年提出了一项自组织和协作有效能量的传感器网络计划^[16],对 WSN 构架、节点协作、网络协议和安全等进行了研究。

在我国,WSN 项目首次正式启动并出现在 1999 年中国科学院《知识创新工程试点领域方向研究》的“信息与自动化领域研究报告”中。2004 年,中国自然科学基金委员会将无线传感器网络列为重点研究项目。国内的一些大学和研究机构从 2002 年开始也先后分别展开对无线传感器网络的研究。目前,国家“973 计划”、国家自然科学基金和国家“863 高技术计划”等国家和省部级科技发展“十一五”规划均设专项资助该领域的理论、方法和关键技术研究^[17]。

随着研究的不断深入,实用性技术正在改变着人类的生活以及丰富着人类认识外界的手段和方式。2002 年,美国 Sandia 国家实验室开发了基于 WSN 的地铁与车站环境监测系统,以预防生化武器的袭击^[18]。2004 年,美国国家航空航天局 JPL 实验室公布了火星自主探测 WSN 系统,并在环境监测项目中对其

进行了测试和完善^[19]。美国英特尔公司目前正在研制家庭护理的无线传感器网络系统^[20]，是美国“应对老龄化社会技术项目”的一个环节；该系统在鞋、家具以及家用电器等嵌入传感器，帮助老年人、患者及残障人士独立地进行家庭生活，并在必要时由医务人员、社会工作者进行帮助；该系统也可以应用到一些残障人士的康复中心，对病人的各类肢体恢复进展进行精确的测量，从而为设计康复方案带来宝贵的参考依据。澳大利亚联邦信息与通信技术中心自治系统实验室利用无线传感器网络监控农场土壤的湿度，以此判断牧草的生长速度，决定农场放养牲畜的数量，实现“智能农场”目标^[21]。国家电网建立了基于 WSN 的高压输电线路监测系统，该系统能够监测输电线路的震动，并找出震动和磨损之间的关系、震动和天气（风速、风向、温度）之间的关系。传感器节点被固定在高压输电电路上，使得节点能够从高压线上获取能量，实现了节点永久供电；基站固定在电线塔上，可以实现对输电线路的实时监测。对震动进行测量不仅能为防振设计提供科学的依据，而且能为消除微风振动产生的隐患提供良好的监测数据。

1.3.2 无线传感器网络定位技术的研究现状

WSN 定位算法可划分为多种类别，如图 1.3 所示。

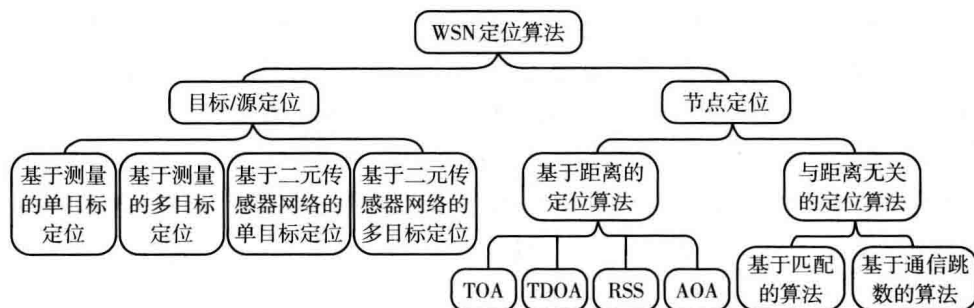


图 1.3 WSN 定位算法分类图

无线传感器网络定位可以分为节点定位和目标（或信号源）定位，前者是后者的基础。节点定位是指在一定数量位置已知节点（信标节点或锚节点）的条件下，通过网络中的相互配合协作，计算出未知节点的位置；目标定位是指节点通过测量被检测目标的物理信号估计出目标位置的过程。对于无线传感器网络而言，由于节点计算能力和存储能力非常有限，定位算法必须能够克服传感器节点自身的限制，并且具有较高的定位精度，因此，这对基于传感器网络的定位算法提出了较高的要求。

目标定位被广泛应用在室内人员定位、车辆或飞行器定位或水下大型动物

及船舶的定位中。目标定位算法可分为基于测量的单目标定位、基于测量的多目标定位、基于二元传感器网络的单目标定位和基于二元传感器网络的多目标定位。关于目标定位,大部分的研究集中在基于测量的单目标定位,通过测量目标与节点之间的角度^[22]、距离^[23-26]等信息进行位置的估计;基于测量的多目标定位成为近几年目标定位研究的热点,Sheng等^[27]研究了基于多超声源的定位算法。在此基础上,Meng等^[28]和 Ampeliotis等^[29]分别提出了改进的EM和AP(Alternating Projection)算法解决该问题。随着传感器节点部署规模的增大,对计算能力要求较高的传感器很难应用到无线传感器网络中,而二元传感器以成本低、功耗低、所需带宽少等特点,非常适合大规模部署的无线传感器网络,而且基于二元传感器网络的目标定位都集中在单目标定位^[30-32],鲜有文章研究基于二元传感器网络的多目标定位算法。

节点定位可以分为基于距离(Range-based)的定位算法和与距离无关(Range-free)的定位算法,其中,基于距离的算法根据获得信息方式的不同又可分为基于TOA(Time of Arrival)的定位^[33-35]、基于TDOA(Time Difference of Arrival)的定位^[36-38]、基于AOA(Angle of Arrival)的定位^[39-41]及基于RSS(Received Signal Strength)的定位^[42-44]。虽然基于距离的定位算法能够实现较精确的定位,但是这些算法往往对节点的硬件要求较高,而与距离无关的定位不需要知道节点间的绝对距离或方位,因此降低了对节点硬件的要求,但是该类算法的定位误差也随之升高^[45]。目前与距离无关的定位算法的研究主要可分为两类:基于通信跳数的算法和基于匹配的算法,其中基于通信跳数的算法是通过计算未知节点与每个信标节点之间的最小跳数及跳段距离进行定位计算^[46],经典算法包括DV-Hop及其改进算法,目前大多数研究集中在改进的DV-Hop算法,主要从三方面进行改进:改进的跳段间距离计算方法^[47-51]、改进的节点拓扑结构^[52-55]和一些混合方法^[56-58]。基于匹配的算法^[59-60]先对待定位区域进行采样,获得位置与接收信号强度关系的数据库,当节点需要定位时,则将测量的信号强度与数据库进行比较,获得当前节点的位置。

1.3.3 无线传感器网络修复技术的研究现状

当传感器网络运行较长时间后,由于能量消耗不均衡或外界因素的影响,将导致某些节点过早死亡。当节点死亡个数较多时,会使得网络产生空洞,空洞将导致数据采集缺失,甚至会使得网络传输中断。网络修复算法一般包括两部分:空洞探测和空洞修复,空洞探测是指在目标监测区域中找到空洞存在的位置和大小,空洞修复是指在空洞处找到合适的位置放置新的传感器节点。