



# 智能化协同无线传感器 网络节点定位算法

ZHINENGHUA XIETONG WUXIAN CHUANGANQI WANGLUO JIEDIAN DINGWEI SUANFA

杨 彩◎著

中国铁道出版社有限公司  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE CO., LTD.

# 智能化协同无线传感器 网络节点定位算法

杨 彩 著

中国铁道出版社有限公司  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE CO., LTD.

## 内 容 简 介

本书以无线传感器网络中的节点定位为研究对象,针对目前无线传感器网络(WSN)节点定位算法的现状和技术难题,尤其是定位误差大、覆盖率低和算法复杂度高这些核心问题进行研究。通过分析RSSI节点定位算法、DV-Hop定位算法、质心定位算法等算法的不足,提出了智能化协同的节点定位算法,并通过对比和仿真实验验证了算法的有效性。

本书所介绍的研究内容丰富,优化算法不但注重对细节的研究,更重视协同多个方面进行综合考量,可以智能化处理节点定位问题,制定的实验方案科学完整;对主流WSN节点定位算法进行了深入研究。本书为WSN节点定位算法提供了理论依据和技术基础,并制定了仿真实验方案,验证新算法的性能。

本书可供从事无线传感器网络的专业技术人员和研究人员、高等院校无线传感器网络及相关专业的师生参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

智能化协同无线传感器网络节点定位算法/杨彩著. —北京:  
中国铁道出版社有限公司, 2019.9(2020.8重印)  
ISBN 978-7-113-26220-4

I. ①智… II. ①杨… III. ①无线电通信-传感器-高等学校-教材 IV. ①TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第190782号

书 名: 智能化协同无线传感器网络节点定位算法  
作 者: 杨 彩

策 划: 魏 娜

编辑部电话: 010-63549501

责任编辑: 贾 星 彭立辉

封面设计: 一克米工作室

封面制作: 刘 颖

责任校对: 张玉华

责任印制: 樊启鹏

出版发行: 中国铁道出版社有限公司(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址: <http://www.tdpress.com/51eds/>

印 刷: 北京建宏印刷有限公司

版 次: 2019年9月第1版 2020年8月第2次印刷

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 14 字数: 348 千

书 号: ISBN 978-7-113-26220-4

定 价: 59.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社教材图书营销部联系调换。电话:(010) 63550836

打击盗版举报电话:(010) 51873659

# 前 言

近年来，随着社会和科学的进步，物联网技术的发展及其应用范围不断扩展，尤其是物联网引入无线传感器技术以后，其应用得到了更广、更深的发展，已经渗透人们日常生活的各个领域。无线传感器网络（WSN）作为一种先进的信息采集、处理与传输的新型网络，在理论研究与实际应用场景方面，均取得了巨大的进步。无线传感器网络是把大量的静止或移动的传感器按照自组织与多跳的方式构成的网络，同时协作感知信息，并最终把这些信息发送给网络所有者。作为 WSN 的关键技术之一，节点定位技术显得至关重要。WSN 节点定位作为一种新兴技术，已经成为国内外 IT 领域的研究热点，受到了研究者越来越多的关注与研究。

在长期的算法研究过程中，笔者一直致力于如何降低定位误差、优化定位算法和提高算法效率等问题的研究。由于 RSSI 值在不同环境干扰下对应的距离不同，为了减小接收信号强度测量误差对无线传感器网络节点自身定位精度的影响，提出一种新的基于 RSSI 测距差分修正的定位算法 DRN-RSSI。精选两个信标节点作为差分参考节点进行校正，体现了各差分参考节点对定位效果的决定权，定位过程中加入修正系数对计算出的坐标进行修正，改变了以往单靠一个参考节点进行定位的误差较大的问题。DV-Hop 定位算法是利用信标节点与未知节点的估计距离来替代节点之间的实际距离，所以 DV-Hop 定位算法的定位精度相对较低。提出的新算法将测试区域分成若干小区域，同时引入 RSSI 进行测距，让 DV-Hop 算法和 RSSI 测距算法有机结合，并把符合条件的未知节点加入伪信标节点集合中，变相增加信标节点个数，算法的定位精度会明显提高。质心定位算法用于对节点分布不均匀的区域，该算法性能不佳。针对这个问题，提出了动态多参考中心节点的质心定位算法。首先精选一定数量的信标节点，然后对于信标节点组成的区域进行分解，对分解后区域的质心与未知节点进行 RSSI 值的对比，把符合条件的元素放到集合  $P$  中，对集合中的元素按照这种方式依次进行处理，最后，排序后集合  $P$  中的第一个元素值即为未知节点的坐标。RSSI 值随机变化较大，直接利用 RSSI 值作为依据来计算信标节点位置的算法在定位过程中存在较大误差。著作者提出一种基于粒子群算法的 RSSI 节点定位算法。使用粒子群算法精选距离未知节点较近的信标节点集合，取该集合中的一个元素，使用集合中的其他元素对其测距，然后使用最大似然法求出其坐标，根据这个坐标和实际坐标的差值对未知节点进行修正。当集合中的所有元素都这样操作以后，使用统计学方法对未知节点的坐标进行定位。

在本书中，第 1 章主要是对目前无线传感器网络研究情况进行综述；第 2 章阐述无线传

感器网络节点定位算法分类和评价指标；第 3 章研究 RSSI 节点定位算法模型和影响因素；第 4 章研究基于双参考节点差分修正的 RSSI 定位算法；第 5 章对基于双参考节点差分修正的 RSSI 定位算法进行仿真测试；第 6 章研究了 DV-Hop 节点定位算法；第 7 章实现了动态信标节点的分区 DV-Hop 定位算法；第 8 章对 SRDV-Hop 算法仿真结果进行分析；第 9 章主要论述了无线传感器网络质心定位算法的原理及其应用；第 10 章详细论述了动态多参考中心节点的质心定位算法的原理和实现；第 11 章通过仿真实验分析了动态多参考中心节点的质心定位算法的有效性；第 12 章主要对粒子群算法和 RSSI 定位算法进行研究；第 13 章具体实现了基于粒子群算法的 RSSI 节点定位算法；第 14 章验证了基于粒子群算法的 RSSI 节点定位算法的性能。

由于时间仓促，著者水平有限，书中难免存在疏漏和不足之处，恳请各位专家、学者和广大读者批评指正。

本著作受 2017 年（第一批）教育部产学合作协同育人项目（微软亚洲研究院）和河南省基础与前沿技术研究计划（自然科学基金）项目资助（142300410413）。

著者  
2019 年 6 月

# 目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 WSN 节点定位算法的概念和发展	1
1.2 节点定位研究的学派	2
1.3 WSN 智能化协同节点定位的研究架构	4
第 2 章 无线传感器网络节点定位算法研究	6
2.1 无线传感器网络	6
2.1.1 传感器节点	6
2.1.2 无线传感器网络结构	6
2.1.3 无线传感器网络的特点	7
2.1.4 无线信号的信道特性	7
2.1.5 无线传感器网络的分层协议	10
2.1.6 无线传感器网络的技术热点	11
2.1.7 无线传感器网络的应用	11
2.1.8 无线传感器网络面临的挑战	12
2.2 无线传感器网络节点定位技术	13
2.3 定位算法的概念	15
2.4 定位算法的分类	16
2.4.1 基于测距的定位与无须测距的定位算法	16
2.4.2 集中式计算和分布式计算	17
2.4.3 相对定位和绝对定位	17
2.4.4 松散耦合和紧密耦合	18
2.4.5 递增式定位和并发式定位	18
2.5 节点定位算法的评价指标	18
2.5.1 定位精度	18
2.5.2 容错性和自适应性	18
2.5.3 节点密度	19
2.5.4 信标节点密度	19
2.5.5 覆盖率	19
2.5.6 功耗	19
2.5.7 代价	19

2.6	无线传感器网络节点的测距方法研究	19
2.6.1	RSSI 测距法	19
2.6.2	TOA 测距法	20
2.6.3	TDOA 测距法	21
2.6.4	测距方法对比	21
2.7	常用的节点定位算法	22
2.7.1	MDS-MAP 节点定位算法	22
2.7.2	凸规划定位算法	22
2.7.3	Hop-Euclidean 节点定位算法	23
2.7.4	APIT 节点定位算法	23
2.7.5	AHLoS 节点定位算法	24
2.7.6	AOA 定位法	24
2.7.7	三角形质心定位算法	25
2.7.8	边界盒定位算法	25
2.8	无线传感器网络智能定位算法	26
<b>第 3 章</b>	<b>RSSI 节点定位算法研究</b>	<b>27</b>
3.1	RSSI 的测距模型研究	27
3.1.1	RSSI 的测距原理	27
3.1.2	RSSI 的测距影响因素	29
3.2	常用定位算法研究	29
3.2.1	极大似然估计法	29
3.2.2	三角定位法	30
3.2.3	三边定位法	31
3.3	无线信号的传播损耗模型	32
3.3.1	对数-常态分布模型	32
3.3.2	自由空间传播模型	33
3.3.3	双线地面反射模型	33
3.3.4	衰减因子模型	33
3.4	RSSI 滤波算法研究	34
3.4.1	滤波算法	34
3.4.2	常用的滤波算法	35
3.5	室内定位精度的影响因素分析	36
3.5.1	环境参数	37
3.5.2	突发干扰	38
3.5.3	人体对信号接收强度的影响	39
3.5.4	多径传播的影响	39
3.5.5	同频干扰的影响	40
3.6	三边定位方法分析	40
3.6.1	实际环境下的三边定位方法	40

3.6.2 加权三边定位法	41
<b>第 4 章 基于双参考节点差分修正的 RSSI 定位算法研究</b>	<b>42</b>
4.1 算法优化	42
4.1.1 无线信号的衰减模型	43
4.1.2 修正 RSSI 的测量值	44
4.1.3 卡尔曼滤波预处理	46
4.2 基于信标节点数量的算法优化	46
4.3 算法的改进	48
4.3.1 近邻点联合测距的修正	48
4.3.2 加权高斯算法	49
4.3.3 基于 Fingerprint 的节点定位算法	52
4.3.4 加权定位的坐标	54
4.3.5 加权质心坐标定位	54
4.3.6 为定位坐标做误差补偿	55
4.4 DRN-RSSI 算法的设计	57
4.4.1 传统的差分修正算法	57
4.4.2 改进的差分修正算法	57
4.4.3 算法实现步骤	58
4.4.4 DRN-RSSI 算法与其他算法的比较	58
<b>第 5 章 基于双参考节点差分修正的 RSSI 定位算法的实现及测试</b>	<b>59</b>
5.1 测试环境搭建	59
5.1.1 节点部署和数据采集	59
5.1.2 源码配置	60
5.1.3 获取与配置上位机的参数	60
5.2 仿真结果及其分析	60
5.2.1 相关参数设置	60
5.2.2 影响的因素	61
5.3 总结与展望	63
5.3.1 总结	63
5.3.2 未来工作的展望	64
<b>第 6 章 DV-Hop 节点定位算法研究</b>	<b>66</b>
6.1 DV-Hop 节点定位算法的原理	66
6.2 DV-Hop 定位算法的误差分析	68
6.2.1 客观因素	68
6.2.2 主观因素	69
6.3 定位算法评价标准	71

6.4	限跳及优选信标节点的 DV-Hop 算法	72
6.4.1	跳数修正	72
6.4.2	基于误差因子的信标节点平均跳距修正	72
6.4.3	优选信标节点	73
6.4.4	限跳和优选信标节点的 DV-Hop 算法的流程	75
6.5	基于蝙蝠优化的 DV-Hop 定位算法	75
6.5.1	构建适应度函数	76
6.5.2	蝙蝠算法	77
6.5.3	流程图及步骤	77
6.5.4	蝙蝠算法存在的问题	79
6.5.5	蝙蝠算法的改进策略	79
6.5.6	改进的蝙蝠算法思想	81
6.6	基于双通信半径的 DV-Hop 节点定位算法	82
6.6.1	算法实现步骤	83
6.6.2	改进未知节点计算的方法	83
6.7	阈值加权处理平均跳距的节点定位算法	84
6.7.1	阈值加权处理平均跳距的节点定位算法 (TWP-DV-Hop) 的原理	84
6.7.2	TWP-DV-Hop 算法流程	85
6.7.3	确定 TWP-DV-Hop 算法的阈值	87
<b>第 7 章</b>	<b>动态信标节点的分区域 DV-Hop 定位算法</b>	<b>92</b>
7.1	SRDV-Hop 算法的研究背景	92
7.2	基于跳数细化和距离校正的 DV-Hop 算法	93
7.2.1	算法的设计思想	93
7.2.2	细化最小跳数	94
7.2.3	校正平均距离	96
7.2.4	算法的执行步骤	96
7.3	SRDV-Hop 算法的定位过程	97
7.3.1	优选信标节点	97
7.3.2	DV-Hop 算法的定位过程	98
7.3.3	DV-Hop 算法的误差分析	99
7.4	SRDV-Hop 定位算法改进的措施	102
7.4.1	计算参数的修正	102
7.4.2	构建适应度函数	106
7.4.3	改进的措施	107
7.4.4	优化三边定位	108
7.4.5	对节点分布不均进行优化	109
7.5	SRDV-Hop 算法的流程	109

第 8 章	SRDV-Hop 算法仿真结果及其分析	111
8.1	仿真实验的思路	111
8.1.1	实体的数据化	111
8.1.2	算法的操作化	112
8.2	仿真环境	112
8.3	影响的因素	114
8.4	通信开销分析	119
8.5	总结与展望	119
8.5.1	算法总结	119
8.5.2	算法存在的不足	120
8.5.3	未来工作展望	120
第 9 章	无线传感器网络质心定位算法的研究	122
9.1	质心定位算法原理研究	122
9.1.1	质心定位算法的原理	122
9.1.2	质心定位算法的执行过程	123
9.1.3	质心定位算法性能分析	124
9.1.4	质心定位算法的不足	125
9.2	改进的质心定位算法	125
9.3	迭代加权质心定位算法	125
9.3.1	算法描述	125
9.3.2	算法流程图	126
9.4	多质心定位算法研究	127
9.4.1	测距的影响因素	127
9.4.2	多质心定位算法	128
第 10 章	动态多参考中心节点的质心定位算法	133
10.1	算法思路	133
10.1.1	传播模型的选择	133
10.1.2	加权系数的选择	134
10.1.3	多边形分解质心定位	135
10.1.4	APIT 定位算法	137
10.2	基于 RSSI 校正的质心定位算法的设计	139
10.2.1	算法思想	139
10.2.2	算法数学模型	139
10.2.3	算法步骤	140
10.3	算法原理	142
10.4	算法流程	143
10.5	算法的性能	144

第 11 章 动态多参考中心节点的质心定位算法仿真结果及其分析	146
11.1 算法的编程工具	146
11.2 MyEclipse 软件	146
11.3 常用的仿真软件	147
11.4 MATLAB 仿真软件	147
11.5 仿真实验方案设计	148
11.6 仿真实验的性能评价指标	148
11.7 仿真结果及其分析	149
11.7.1 参数设置与评价指标	149
11.7.2 结果与分析	150
11.8 总结与展望	156
11.8.1 算法总结	156
11.8.2 算法的不足	156
11.8.3 未来的研究方向	157
第 12 章 粒子群算法和 RSSI 定位算法研究	158
12.1 粒子群算法研究	158
12.1.1 粒子群算法原理研究	158
12.1.2 粒子群算法研究现状	159
12.2 标准粒子群优化算法	160
12.2.1 粒子群优化算法原理	160
12.2.2 算法的参数设置	161
12.2.3 改进的粒子群算法的分类	163
12.2.4 粒子群优化算法的改进策略	164
12.3 粒子群优化算法	164
12.3.1 粒子群优化算法的流程	164
12.3.2 算法的设计步骤	164
12.3.3 粒子群优化算法的应用	165
12.4 智能定位算法	166
12.4.1 遗传算法	166
12.4.2 基于信度与几何约束的遗传定位算法	167
12.5 RSSI 定位算法	171
12.5.1 基于 RSSI 测距的定位方法	171
12.5.2 基于 RSSI 测距技术存在的不足	172
12.5.3 RSSI 的定位模型	173
12.6 基于早熟检验的混沌粒子群优化算法	174
12.6.1 混沌粒子群优化算法	174
12.6.2 早熟检验的机制	175
12.7 基于分级信度与早熟检验的混沌粒子群定位算法	175
12.7.1 分级信度节点的选择机制	175

12.7.2	混沌粒子群定位算法	176
12.8	基于多目标粒子群的节点定位算法	177
12.8.1	多目标定位算法的模型	178
12.8.2	算法总体框架	178
12.8.3	外部档案的维护算子	179
12.8.4	全局最优选取算子	180
12.9	基于带有罚函数的粒子群优化算法的 WSN 节点定位算法	180
12.9.1	罚函数法	180
12.9.2	定位的模型	181
12.9.3	PSOPF 算法的流程	183
<b>第 13 章</b>	<b>基于粒子群算法的 RSSI 节点定位算法研究</b>	<b>186</b>
13.1	引言	186
13.2	算法模型	187
13.2.1	粒子群算法惯性权重的改进	187
13.2.2	节点定位模型的设计	187
13.2.3	引入变异因子	188
13.2.4	RSSI 修正定位算法	188
13.2.5	IRSSI 测距模型	189
13.2.6	IRSSI 算法	190
13.3	改进的粒子群算法 IPSO	191
13.3.1	计算目标函数	191
13.3.2	计算自适应权值	191
13.3.3	信标节点的淘汰机制	192
13.3.4	IPSO 算法流程图	192
13.3.5	基于改进 PSO 的 WSN 节点定位算法的描述	194
13.4	粒子群算法和 RSSI 定位的结合	194
13.4.1	两者结合算法的思路	194
13.4.2	粒子群优化算法和其他算法的融合	195
13.4.3	改进的算法思想	195
13.4.4	极大似然估计法 (LS)	197
13.4.5	加权最小二乘法 (WLS)	197
13.4.6	混沌粒子群算法	199
13.4.7	基于动态权重的混沌粒子群算法	199
13.5	算法实现步骤	200
<b>第 14 章</b>	<b>基于粒子群算法的 RSSI 节点定位算法的实验设计与验证研究</b>	<b>201</b>
14.1	WSN 定位性能评价标准	201
14.2	实验相关参数设置	202
14.3	影响的因素	203

---

14.4	性能分析	207
14.4.1	验证算法的收敛性	207
14.4.2	测距误差对定位误差的影响	208
14.5	总结与展望	210
14.5.1	算法总结	210
14.5.2	工作展望	210
<b>参考文献</b>		<b>212</b>



# 第 1 章

## 绪 论

随着通信信息技术的飞速发展以及大数据技术的需要,作为数据来源的物联网日益突出其发展优势。伴随着物联网技术的崛起,作为其核心技术的无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)也得到了全面的研究。WSN 相关技术日益成熟,受到人们越来越多的关注。WSN 在人工智能、国防、环境检测和管理、工业控制等领域得到较为广泛的应用。而其中的节点定位技术,是 WSN 的热点研究领域,备受国内外研究者的关注。

### 1.1 WSN 节点定位算法的概念和发展

WSN 是物联网(Internet of Things, IoT)中底层网络的核心技术,采用多跳自组织方式,是由工作区域内的传感器节点构成的无线通信网络。WSN 是微机电系统(MEMS)、嵌入式系统、无线通信技术等相结合的新兴学科,是物联网领域内的研究热点。由于传感器节点具备重量较轻、体积较小、设备较为简易等优点,在监控的区域中可以大量布置,然后以多跳、自组织的形式组成网络,感知到的数据通过网络发送到监控中心,管理者可以更好地管理和监控。正因为这些特点,WSN 可以在恶劣环境下正常并且持续地工作,这是数据的传统收集方式所无法比拟的。

WSN 有非常多的应用场景,例如智能工业、农业智能化和军事领域,在智能家居等领域也得到了广泛的应用,得到了很多科研机构和企业认可。美国的《商业周刊》介绍了它的重要性,认为 WSN 是 21 世纪最主要的新兴技术之一;《MIT 技术评论》中描述它是改变人们生活方式的十大技术之最。在实际的应用中,不论是 NASA 的 Mars Tumbleweed 计划或者 Apple 的 HomeKit 智能家居,还是国内的太湖蓝藻项目等都在应用着 WSN 技术。在无线传感网络的带动下,可以预期,WSN 技术的发展,必将大大改善人们的工作和生活。

在 WSN 的普遍应用场景中,节点的位置信息对整个网络非常重要,定位技术是 WSN 的关键支撑技术之一。离开了位置信息的各节点数据往往会是无意义的,而可靠的位置信息则可以为系统提供决策判断。例如,在火灾监测、滑坡灾害监测、煤矿管理监测等应用领域,人们在获取警告信息的时候,如果不知道事件的发生地点,也就是说不知道返回警报节点所在的位置,那么,返回的警报信息的作用就会失去意义,会极大地降低实施救援工作的效率;在环境监控中获取的不同位置节点的实时环境数据,从而对环境能够正确地感知和有效地分析,进而采取必要的应对措施;而在军事作战中,具体的位置信息就是协作指挥作战的关键情报,有可能决定战争的胜负。对于 WSN 网络本身而言,节点的位置信息同样非常关键,在控制信息下

达的时候，路由器根据路由表和各节点位置信息来选择最佳的路径进行转发；在感知数据上报的时候，路由节点和中间节点也可以根据各节点的位置信息进行数据的有效传递，做到减少通信量，降低通信的功耗，从而提高网络的整体性能。

不过，WSN 的节点部署一般是随机分布在监控区域的，甚至部署后也会不停地移动，所以位置往往是不固定的，无法事先得知其位置，只能通过节点定位算法进行位置计算。GPS 在室外空旷区域的确具有较好的定位效果，但在室内环境或遮蔽区域定位效果不佳。另外，GPS 成本较高，功耗较大，因此，难以大规模地部署使用。这些特点使得 WSN 对定位系统的应用有着较为苛刻的要求。传统定位算法由于复杂度高、性能达不到要求等不足而无法直接运行在 WSN 设备中。因此，研发可靠性较高、复杂度较小、成本较低的定位算法成为 WSN 发展与应用中急需解决的关键问题。

## 1.2 节点定位研究的学派

在 20 世纪 70 年代，当时研究人员尝试把传感技术与互联网更好地结合，使其既有传感器采集数据的功能，又能像传统网络一样进行数据通信，这就是 WSN 的雏形。自此，WSN 技术得到了迅速发展。DSN (Distributed Sensor Networks, 分布式传感器网络) 项目于 1980 年在美国启动，WSN 研究正式开启。紧接着，美国国防部和自然经济委员会资助高校和企业进行相关的一系列研究，其中包括 Sea Web、Hourglass、WINS、NEST、IrisNET 等。后来，许多国家也意识到了 WSN 的重要性和深远意义，纷纷开始制订相关的发展规划，例如，欧盟制订的“欧洲物联网行动计划”、韩国的 u-Korea、日本的 i-Japan 等。这些战略的相继推出极大地促进了 WSN 技术的发展，也使得它的应用范围逐渐从军事领域延伸到民用等更为广泛的领域。

WSN 在我国的起步较晚。随着国家大力投入，不断进行开发研究，所以发展迅速，目前已跟上国际发展的步伐，在有些领域处于国际领先地位。在 1999 年，中科院提出把 WSN 技术作为后续信息与自动化方面的五大核心项目之一，后来 WSN 被列入信息产业科技发展“十一五”计划、国家 973 计划、国家 863 计划、2020 年中长期规划等，越来越多的资金被用于该领域的研发。与此同时，高校也大力开展 WSN 技术的相关研究，例如，上海交通大学启动 973 项目、浙江大学成立 WSN 控制实验室、香港科技大学成立智能识别联合实验室等；各大企业在 WSN 方面应用成果也非常丰富，例如，小米的智能家居、京东的智能物流等。

定位算法作为 WSN 的关键性技术，已然成为 WSN 的研究热点。在国内外学者的努力推动下，相继提出了各种功能的定位算法以及定位系统，并将这些理论成果运用到实际中，得到了改进和完善。

目前，常见节点定位分类算法有以下 3 种：

(1) 根据定位的过程中是否需要获取网络节点之间的实际距离，可以分为测距算法和非测距算法。其中，测距算法需要额外加装测距或测角仪器装备，通过设备的测量得到距离或者角度数据，然后转换为测量距离，紧接着，按照定位机制和定位算法参与节点的定位估算；非测距算法利用的是传感器网络中的节点数据传输的跳数或者网络节点的连通度等数据信息，然后按照某种定位机制和定位算法实施 WSN 中节点的定位估算。测距算法需要额外增加硬件设备，定位过程中会有较大的通信开销，但其定位精度较高。非测距算法不用附加额外的设备，但其定位精度效果不佳。

(2) 根据定位过程中数据计算和信息处理是否在传感器节点内部完成, 分为分布式定位 (Distributed Localization) 算法和集中式定位 (Centralized Localization) 算法。分布式定位算法, 是指在定位过程中由传感器节点把收集到的定位数据信息进行计算和处理, 然后执行定位估算, 这样的分散计算可以有效降低网络中通信的开销, 分解计算的任务。集中式定位算法, 是指由一个数据处理中心来完成所有定位数据的处理和计算, 通信量和计算量较大, 对于资源受限的无线传感器网络来说, 难度较大。

(3) 依据定位时所需的数据信息获取来源不同分为协同式 (Cooperative) 算法和非协同式 (Non-Cooperative, 即传统定位方式) 算法。非协同式算法定位中的参数主要是信标节点和未知节点间的观测信息。协同定位算法中各个节点之间是对等关系, 任何节点之间的测量或观测的信息都可参与定位的计算, 可以充分利用这些节点资源, 从而提高算法的定位性能。

1992年, 英国剑桥大学开始了定位系统的研究, 启动了 ORL 项目, 开发出了 ActiveBadge 系统, 其原理是利用红外线来进行定位。由于红外线的直线性较强, 定位结果不太理想。

2000年, 微软公司采用 fingerprint 技术开发出了 RADAR 定位系统。该系统通过对定位区域的多个参考节点建立射频 (Radio Frequency, RF) 信号指纹库, 然后把未知节点测量的 RF 信号强度与指纹库的数据进行比对, 来确定未知节点的具体位置。不过, 由于受到环境噪声等因素的干扰, 指纹库的数据不能如实反映节点的位置信息。

麻省理工学院在这个时期开发出了 Cricket 定位系统, 该设计方案采用 RF 信号与超声波信号来实现 TDOA (到达时间差) 算法, 可以有效降低定位过程中的误差, 但对硬件设备要求太高, 成本过高。

2001年, Andreas Savvides 等开发出了 AHLos 定位系统, 算法原理是基于 TDOA 测距, 在定位的过程中根据节点之间的几何关系, 把已定位的节点作为信标节点进行反复迭代定位, 虽然实现的成本降低了, 但是定位算法较为复杂, 定位精度不太准确。

2003年, Tian He 等提出 APIT 算法, 该算法是对无线信号的传播模型、节点分布状况以及网络通信的开销等问题进行整体考虑后而设计的定位算法。

美国 Nirupama Bulusu 提出了质心算法, 把通信区域的质心作为定位结果。算法实现简单、计算量小, 但对信标节点分布密度要求过高; 国内的陈维克等人对质心算法进行了优化改进, 引入了加权的构思, 提出了加权质心定位算法。原理是利用信标节点跟待定位节点之间的距离来决定其对位置计算的影响, 即权重。再把权重和质心算法进行结合, 计算待定位节点的位置, 从而提高节点的定位精度。

2010年, Mert Bal 等开发出了 3-D 目标跟踪的 WSN 定位系统, 该系统对无线指纹数据库进行了优化, 通过 K-nearest 算法来评估出最优节点的位置信息。

2013年, Masashi Sakurada 等提出 RSSI (接收的信号强度指导) 测距算法, 通过仿真实验的验证, 算法的定位精度相比于一般的定位算法有一定程度的提升。

2016年, Adolfo Espinoza 等通过仿真环境和实际环境中 RSSI 定位算法进行测试和分析, 研究环境因素对节点定位精度的影响情况。

2017年, Reza Shahbazian 等提出了一种基于分布式一致性的目标检测算法, 实现了分布式一致性目标定位。考虑到通信链路的失效情况, 利用信号强度估算目标的距离, 然后通过邻近节点间的信息交换, 从而实现目标的快速定位。

国内众多专家和学者的研究同样取得了非常好的成果。例如, 李健坡等提出基于模糊理论的改进蒙特卡罗定位算法; 温江涛等提出利用 RSSI 测量距离来修正 DV-Hop (Distance Vector-Hop,

基于距离向量的定位算法)跳数的节点定位算法;程超等提出利用误差加权因子与遗传算法来优化 DV-Hop 节点定位算法;李宁等提出采用遗传优化算法改进的井下人员定位算法;马淑丽等提出利用多个通信半径定位的 DV-Hop 算法;卢选民等提出利用 KNN (K 最邻近分类算法)动态预测的优化指纹数据库的节点定位算法;金纯等提出 RSSI 误差修正的节点定位算法;李峰等提出的基于隶属度模糊控制的节点定位算法。

从兴起至今,经过近 30 年的深入研究,WSN 及其节点定位技术取得较大的发展。特别是最近几年,在国内外专家与学者不懈努力下,各种思路新颖的节点定位算法持续地被提出并得到优化与改进,各种不同应用场景下的定位系统被研发出来。不过,因为 WSN 单元结构简单、整体容量较大和对环境依赖性较强等特点,使其在实现的过程中受到各种限制,只能采取特定的定位算法和硬件配置,使得 WSN 难以在定位精度和成本设施上同时满足要求,只能随着环境条件而做相应的改变,折中选出适应性较好的定位算法或者系统。

正是因为 WSN 自身的这些特点,目前的节点定位算法仍旧存在一些问题:

- (1) 平台简单,实现的算法复杂,不仅增加了设备,还对硬件的运算能力有特殊的要求。
- (2) WSN 需依靠庞大的节点数量,这样导致了累计误差的放大,定位精度进一步下降。
- (3) 定位精度和成本设施不能全面兼顾,定位精度的提升以牺牲成本和功耗为代价,网络比较难以优化。
- (4) 条件限制,节点定位的误差高于预期,精度提高难度较大。

总之,WSN 及其节点定位算法虽然取得了一定的进步,但还处于起步阶段,其中诸多问题和难题还有待专家和学者进行深入研究。

### 1.3 WSN 智能化协同节点定位的研究架构

本书所做研究在满足设计原则的同时,考虑到复杂的实际环境对于定位的诸多需求,设计和实现一系列 WSN 定位方案,并进行评测。通过理论阐述与仿真实验对无线传感器网络的定位技术进行全面的介绍与研究,并基于传统的定位算法提出改进的定位算法,通过仿真证明算法的可行性。主要研究内容包括:

(1) 为了减小接收信号强度测量误差对无线传感器网络节点自身定位精度的影响,提出一种新的基于 RSSI 测距差分修正的定位算法。在该算法中,精选两个信标节点作为差分参考节点进行校正,体现了各差分参考点对定位效果的决定权,定位过程中加入修正系数对计算出的坐标进行修正,改变了以往单靠一个参考节点进行定位的误差较大的问题。

(2) 基于 TOA (Time of Arrival) 测距误差分析,从实际应用的角度出发,提出一种新的高精度移动节点定位算法 LLA (Lee Localization Algorithm, Lee 定位算法)。该算法分为 3 个阶段:①采用 TOA 技术进行预测距,设计预测距算法完成定位初始化;②设计校正算法滤除不良节点;③设计最小圆覆盖算法处理良好节点,完成定位。

(3) 分析放射源类室内定位系统的重要性,并指出其对于定位精度和安全性的需求。分析在此类特殊的室内定位系统中的应用缺陷。基于移动信标节点,采用多机器人协作定位方案,设计一种安全定位算法。该算法在 LLA 算法思想的基础上,对测距结果进行相应的定位优化。

(4) 提出一类更简单的非测距三维定位算法。该算法是在对 DV-Hop 经典算法的研究、分析以及完善过程中,一种基于虚拟中心节点的定位新方式。在该算法中,节点成空间网格状分