

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: X2013222012

UDC_____

厦 门 大 学

工 程 硕 士 学 位 论 文

无线传感器网络自定位及跟踪算法研究

The Wireless Sensor Network Self-localization and Tracking
Algorithm Research

李颖

指导教师姓名: 袁 飞 副教授

专 业 名 称: 电子与通信工程

论文提交日期: 2016 年 月

论文答辩时间: 2016 年 月

学位授予日期: 2016 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2016 年 05 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘要

无线传感器网络 (WSN, Wireless Sensor Network) 是由多量传感器节点组成的一个多跳、自组织、动态计算机系统, 在军事侦察、环境监测、医疗监护等领域有广泛的应用前景。定位技术在无线传感器网络的应用中起到非常重要的作用, 掌握传感器节点的位置分布, 不仅可以对目标领域进行物体跟踪, 而且有助于提高路由效率, 均衡负载和拓扑控制。由于 WSN 设备价格、功耗和硬件条件的限制及对定位精度的要求, 如何实现成本低廉、能耗节俭和精确度高的定位方法一直是研究者们关注的课题。定位技术最简单的方法是采用卫星定位技术, 这种方法虽然精度高, 但存在成本高、功耗大、室内无法有效定位等局限性。因此需要采用一定的机制与算法来实现 WSN 的自身定位与跟踪。

首先, 本文介绍了 WSN 定位技术的背景、意义和相关研究成果, 分析了定位算法的主要原理和性能指标, 并通过仿真实验分析和比较 WSN 几种经典定位算法中影响性能的几个因素。

其次, 为解决 WSN 采用 RSSI 方法进行自定位时, 存在测距误差的问题, 提出基于最速下降法的分布式无锚点定位算法。将测距误差定义为一个目标函数, 使用最速下降法来分布式求解全局非线性优化问题, 以使这个目标函数最小化。在对测距误差进行正确估计的基础上, 求得各节点的相对位置。仿真结果证明, 在无锚节点且距离测量值存在误差的情况下, 也能够提高节点定位精度。

最后, 提出基于最大似然法的移动节点跟踪算法。在密闭走廊、开放走廊和实验室三种不同场景中通过实际测试, 对信道传播特性建模的基础上, 锚节点定期测量移动节点信标的 RSSI, 利用最大似然法来推测移动节点的坐标位置、速度和前进方向。仿真结果证明了该定位方案的有效性。

关键词: 无线传感器网络; 分布式自定位; 跟踪

Abstract

Wireless Sensor Network (WSN) a kind of multi-hop, self-organization, dynamic computer system which composed of a large number of Sensor nodes, and It will be widely used in the military reconnaissance, environmental monitoring, medical care and other fields. Positioning technology has a very important role in WSN, mastering the distribution of nodes position, not only can track the object in the target areas, but also help improving the efficiency of routing, balancing load and topology controlling. Because of the limitations for WSN equipment, such as price, power consumption, hardware, and the requirement of positioning accuracy, the problems of how to implement low cost, low power consumption and high precision positioning method, have always been a focus of researchers. Satellite positioning technology is a simplest method with high precision, but it has many drawbacks of high cost, high power consumption, and can not be positioned indoor. So some mechanism and algorithm should be used to realize the self-location and tracking.

Firstly, the background, significance and research status of WSN location technology, are introduced, the main principle and performance metrics of the localization algorithm are analyzed. The performance influence factors are compared and analyzed through the simulation experiment for several typical localization algorithm of WSN.

Secondly, to solve the problem of ranging error when using RSSI method for location in WSN, a distributed anchor-free location method is proposed based on the Steepest Descent method. Ranging error is defined as an evaluation function, using the steepest descent method to solve nonlinear global optimization problem to minimize the evaluation function. Based on the correctly estimation of ranging error, the relative position of each node is found. The simulation results show that the node position accuracy is improved with ranging error and without anchor nodes

Finally, a mobile node tracking algorithm is proposed based on maximum likelihood. Channel propagation model is established by actual measurement in three different scenarios, which Included closed corridor, open corridor and laboratory, are

considered for measurements. The anchor measure RSSI of mobile anchor node beacon regularly estimate the coordinates of the mobile node location, speed and direction by using the Maximum Likelihood method. The simulation results prove the effectiveness of the proposed scheme.

Key words: Wireless Sensor Network; Distributed self-Positioning; Tracking

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘要.....	1
第一章 绪论.....	1
1.1 研究背景与意义.....	1
1.2 无线传感器网络技术研究进展.....	1
1.3 无线传感网定位技术研究现状.....	3
1.4 论文内容组织和结构.....	4
第二章 无线传感器网络及定位相关理论.....	6
2.1 无线传感网络基本概念.....	6
2.2 无线传感网络定位算法定位原理及步骤.....	8
2.2.1 定位原理.....	8
2.2.2 定位步骤.....	8
2.2.3 定位算法.....	8
2.3 无线传感网络定位算法分类.....	10
2.4 无线传感网络主要定位算法比较.....	12
2.5 本章小结.....	15
第三章 无线传感器网络定位算法的仿真评估.....	16
3.1 定位性能评估指标.....	16
3.2 仿真模型及假设.....	17
3.3 影响因素仿真及分析.....	18
3.3.2 环境区域的影响.....	19
3.3.3 测距与非测距算法的影响.....	20
3.3.4 通信半径的影响.....	21
3.3.5 定位误差的影响.....	24
3.4 本章小结.....	25
第四章 基于最速下降法的无锚点定位算法.....	27
4.1 最速下降法.....	27
4.2 算法核心思想.....	28
4.2.1 测距误差.....	28
4.2.2 相对位置转换.....	28
4.2.3 对位置的估计及优化.....	29
4.2.4 主要算法.....	29
4.3 基于最速下降法无锚点定位方案.....	30
4.3.1 网络结构.....	30
4.3.2 定位流程.....	31
4.4 仿真与性能评估.....	31
4.5 本章小结.....	38
第五章 基于最大似然法的移动节点跟踪算法.....	39

5.1 网络模型及算法.....	39
5.1.1 网络模型.....	39
5.1.2 最大似然法.....	40
5.2 传播特性建模.....	41
5.3 基于最大似然法的跟踪定位协议.....	42
5.4 仿真及性能评估.....	43
5.4.1 信道模型测量.....	43
5.4.2 算法仿真及评估.....	46
5.5 本章小结.....	48
第六章 总结与展望.....	49
6.1 主要研究工作总结.....	49
6.2 进一步研究工作的展望。.....	50
附录一：常用术语.....	51
致谢.....	53
参考文献.....	54

ABSTRACT.....	1
CHAPTER 1 PREFACE.....	1
1. 1 THE RESEARCH BACKGROUND AND SIGNIFICANCE.....	1
1. 2 THE RESEARCH DEVELOPMENT OF WIRELESS SENSOR NETWORK	1
1. 3 THE STATUS OF STIDU FOR WIRELESS SENSOR NETWORK LOCATION TECHNOLOGY.....	3
1. 4 THE MAIN CONTENT AND STRUCTURE OF THE PAPER.....	4
CHAPTER 2 THE RELATED THEORY OF WIRELESS SENSOR NETWORKS AND POSITIONING.....	6
2. 1 THE BASIC CONCEPT OF WIRELESS SENSOR NETWORK.....	6
2. 2 THE PRINCIPLE AND PROCESS OF WIRELESS SENSOR NETWORK LOCALIZATION ALGORITHM.....	8
2.2.1 the positioning principle.....	8
2.2.2 the positioning process.....	8
2.2.3 the localization algorithm.....	8
2. 3 THE CLASSIFICATION OF WIRELESS SENSOR NETWORK LOCALIZATION ALGORITHM.....	10
2. 4 THE COMPARISON OF WIRELESS SENSOR NETWORK LOCALIZATION ALGORITHM	12
2. 5 SUMMARY.....	15
CHAPTER 3 THE SIMULATION EVALUATION OF WIRELESS SENSOR NETWORK LOCALIZATION ALGORITHM.....	16
3. 1 THE EVALUATION METRICS OF POSITIONING PERFORMANCE.....	16
3. 2 THE SIMULATION MODEL AND HYPOTHESIS.....	17
3. 3 THE SIMULATION AND ANALYSIS OF INFLUENCE FACTORS.....	18
3.3.1 the influence of the number of anchor nodes.....	18
3.3.2 the influence of the environment area.....	19
3.3.3 the influence of Ranging algorithm and non ranging algorithm.....	20
3.3.4 the influence of communication radius.....	21
3.3.5 the influence of location error.....	24
3. 4 SUMMARY.....	25
CHAPTER 4 THE POSITIONING ALGORITHM BASED ON THE STEEPEST DESCENT METHOD WITHOUT ANCHOR POINT.....	27
4. 1 THE STEEPEST DESCENT METHOD.....	27

4.2 THE CORE IDEA OF ALGORITHM.....	27
4.2.1 the ranging error.....	28
4.2.2 the transformation of the relative position.....	28
4.2.3 the estimation and optimization of the relative position.....	29
4.2.4 the primary algorithm.....	29
4.3 THE POSITIONING SCHEME BASED ON THE STEEPEST DESCENT METHOD WITHOUT ANCHOR POINT.....	30
4.3.1 the the network structure.....	30
4.3.2 the positioning process.....	31
4.4 THE PERFORMANCE SIMULATION AND EVALUATION.....	31
4.5 SUMMARY.....	36
CHAPTER 5 TRACKING ALGORITHM BASED ON MAXIMUM LIKELIHOOD METHOD.....	39
5.1 THE NETWORK MODEL AND ALGORITHM.....	39
5.1.1 the network model.....	39
5.1.2 the maximum likelihood method.....	40
5.2 THE PROPAGATION MODELING.....	41
5.3 THE LOCATION AND TRACIKING METHOD BASED ON THE MAXIMUM LIKELIHOOD METHOD.....	42
5.4 THE PERFORMANCE SIMULATION AND EVALUATION.....	43
5.4.1 the measurement of the channel models.....	44
5.4.2 the simulation and evaluation of the algorithm.....	46
5.5 SUMMARY.....	48
CHAPTER 6 SUMMARY AND PROSPECT.....	49
6.1 SUMMARY OF THIS PAPER.....	49
6.2 THE FUTURE RESEARCH WORK.....	50
APPENDIX:COMMONTERMS.....	51
ACKNOWLEDGEMENT.....	53
REFERENCES.....	54

第一章 绪论

1.1 研究背景与意义

无线传感器网络 (WSN, Wireless Sensor Network) 是由一定数量传感器节点组成的一个多跳、自组织的动态计算机网络系统。这些传感器节点由传感器元件、信息处理元件和信息通信元件集成, 通常被随机布置或抛撒在一些恶劣和复杂的环境中, 根据自身不同传感性能, 对周边进行感知、监测, 有效采集相关热、红外、声纳、光波、雷达、磁场强度、毒气浓度或其他信息的数据。通过传感器元件之间互相协作, 使得传感器节点采集相应数据信息, 借助中央处理器分析处理, 最终通过无线通信的方式实现有效信息的传递, 从而完成目标探测、位置识别和跟踪监测等任务。由于无线传感节点价格低、体积小、能耗少、部署快和短距离无线通信能力强等特点, 使得人们获取信息的成本降低, 处理和传播信息更加快捷、高效。在军用、农林、生产、安防等方面具有广阔的应用前景, 还可能在智能交通、工业制造、家庭自动化、生物体探索以及保密安全方面拥有巨大潜在的实用价值。

无线传感器网络中传感器节点对数据信息的感知和采集与其具体空间位置息息相关, 定位技术非常必要。首先, 只有确认各传感器节点的位置信息, 才能确定事件发生的真实位置, 预测目标发展的趋势, 进行目标跟踪等等, 同时结合传感器节点采集到的数据信息来确定下一阶段的决策方案, 尤其对于军事侦查、医疗急救、森林灭火等紧急情况。其次, WSN 在自组织工作过程中, 在进行路由协议等协议设计时, 需要地理信息的支撑。第三, 预先配置节点地理坐标需要耗费大量人力物力。如果定位监测的目标是动态的, 预先配置和坐标容易失效, 影响定位跟踪效果。由于 GPS 价格昂贵, 耗能大, 而且在室内环境等复杂区域定位效果有限, 所以完全依赖 GPS 进行定位也不现实。

因此, WSN 中定位技术的发展, 对于 WSN 理论的创新和应用研究具有至关重要的意义。

1.2 无线传感器网络技术研究进展

无线传感器网络是当今信息科学技术领域的研究热点^{[1][2]}，被认为是 21 世纪继因特网之后对人类影响最大的 IT 技术之一，其广阔的应用前景引起了全世界范围的广泛关注。

无线传感器网络的研发和应用起源于军事，1978 年美国国防部高级研究计划署首先在卡耐基—梅隆大学提出研究分布功耗式传感器网络。1996 年，美国洛杉矶加州大学的 William J Kaiser 教授向美国国防高级研究计划局提交的“低能耗无线集成微小型传感器”对 WSN 的发展起到了巨大的推动作用。1998 年，洛杉矶加州大学 (UCLA) 的 Gregory J Pottie 教授从网络发展的角度指出无线传感器网络的研究对科学的重大意义。目前美国军方持续推进很多无线传感器网络有关的研究项目，例如未来空间战争中集通讯、运算、指令、监控、侦察和定位等多项功能的无线传感器网络应用、美国国防部高级研究计划局主持的沙地直线无线传感器网络研究等等。

除美国军方之外，美国自然科学基金委员会 (NSF) 对 WSN 领域的研究也非常重视，投入巨资大力支持麻省理工学院、康奈尔大学、斯坦福大学等美国本土的高等学府进行无线传感器网络基础理论和核心技术的相关研究，研究的重点集中在无线传感器节点体系构建、通信协议的设计、采集信息的处理和大规模网络的应用等领域。

在工业界方面，由于国家政府的重视以及具大的商业潜力，国外许多信息工业界的知名企业例如：美国英特尔公司、微软公司、摩托罗拉、西门子等联和以美国麻省理工学院、加州大学伯克利分校为代表的许多知名院校和研究机构纷纷设立或启动无线传感器网络相关应用的研发项目，不断探索无线传感器网络应用的可能性，积极推动无线传感器网技术的发展。英国、日本等国家政府也表现出对无线传感器网络应用的浓厚兴趣，纷纷出资资助该领域的研究项目。

在我国无线传感器网络方面的研究起步相对较晚，但是政府对无线传感器网络的相关研究非常重视。2005 年发改委关于下一代互联网示范工程 CNGI 项目以及 2006 年国家 973 基础研究计划、国家自然科学基金和国家 863 等均设立专项资助基金支持无线传感网络领域基础理论和创新技术的研究。在这些项目的资助下吸引了清华大学、浙江大学、上海交通大学、哈尔滨工业大学、香港科技大学、中科院等国内大批著名高等学府和研究机构，加入到发展无线传感器网络的研究

队伍，他们分别从不同的角度对无线传感器网络进行深入探索和研究，并取得不错成果。我国 2010 年远景规划和“十五”计划中更是将无线传感器网络技术作为重点发展的信息产业之一。《国家中长期科学和技术发展规划纲要》(2006 至 2020)明确提出将“智能感知技术和传感器自组织网络技术”列为重点研究项目，把发展传感器网络及智能信息处理做为优先发展主题，着重研发新型无线传感器及条码自动识别、射频标签、基于传感信息智能化的处理技术，发展低成本并能实时进行信息数据处理的传感器网络体系，提供便捷、功能齐全信息服务平台。在政府的政策导向下，国内掀起对无线传感网络的研究热潮。

1.3 无线传感网定位技术研究现状

无线定位技术是 WSN 的重要核心内容，现有的无线定位技术包括 GPS 全球定位系统、蓝牙、无线超声波、WIFI 定位技术^{[3][4]}、超宽带定位等。

GPS 项目的研发开始于 1973 年，1989 年发射第一颗工作卫星，截至 1994 年共完成 24 颗工作卫星的发射，这也标志着 GPS 全球定位系统组网成功，至此 GPS 实现全球绝大部分区域的精确定位。1996 年，美国联邦通信委员会(FCC)公布 E911 紧急定位标准要求所有的无线运营提供商都能为移动用户提供位置服务，从此国际上掀起了无线定位技术的研究热潮，世界各国也都推出了各自的商用定位服务。除了美国，各国也陆续推出了自己的卫星定位系统，包括苏联的格洛纳斯全球卫星导航系统、欧盟伽利略卫星定位系统和中国北斗卫星导航系统等^[5]。

国外在无线传感网定位技术的研究成果显著^{[6][7][8]}。2000 年微软研究院研发出通过分析信号的强度 (Received Signal Strength Indication, 简称 RSSI) 进行定位的 RADAR 定位系统^[9]，根据移动终端周围无线接入点 (Access Point, 简称 AP) 采集到的信号强度，比对指纹数据库的 RSSI 数据强度，借助邻居最近匹配算法 NN (Nearest Neighbors, 简称 NN) 进行定位计算，选择距离移动终端最近的参考点作为移动终端的位置。2005 年，美国 Skyhook 公司研发出一套无线定位系统 (Wireless Positioning System, 简称 WPS)^[10]，借助 WiFi 信号实现精确定位。具体方法是把由人工获取每条街上的每一个无线 IP 地址数据导入数据库，并给每个无线 IP 配备唯一标识，同时在数据库中记录接入点的具体位置。

当运行 Skyhook 系统时,接入点由客户端移动扫描进入系统,对照数据库中的参考信息,从而确定用户的位置。Skyhook 定位系统通常在 Android 和 iOS 等智能操作系统中应用,是一款实用价值很高的定位系统。相比较于定位系统定位算法的发展更为快速。质心定位算法(Centriod Localization,简称 CL)^[14]是由南加州大学 N. Bulusu 等人发明的,通过计算由相邻节点组成的区域的质心来确定待求节点估计坐标。质心定位算法是一种测距的定位算法,算法简单易学,但算法的定位误差受节点分布密度影响很大,节点密度分布越高,定位误差越大。

国内近年来,基于无线传感技术实时定位系统的研究和开发成果斐然^{[12][13]},很多研究成果已经在安防监控制造生产、智能家居、物流运输等领域得到很好的应用,例如:苏州优频科技有限公司的“优频 WiFi 实时定位系统”、上海希华通讯科技有限公司的“WSN 中 WiFi 实时定位系统”均获得市场一致的好评。关于无线定位算法方面国内也取得一定的成绩,例如华东师范大学的董梅教授等人的“基于信号强度的经验与估计相融合的无线定位方法”^[14];武汉理工大学的陈维克等人的“基于 RSSI 测距加权质心定位算法”^[15]结合 RSSI 测距算法和质心加权算法各自的优势共同提升定位的精度;华中科技大学的黄河等人提出的“自适应室内 RSSI 估计算法”^[16],大大提高了 RSSI 测距定位的精度和计算的速度。

总之,在无线定位技术领域的研究和应用领域,国内外都取得一些突破性的进展,但是由于每一个无线定位系统技术所采用的算法都具备自身的优缺点,加上待测区域环境复杂多样,导致很难设计出一种满足所有环境需求的定位算法,所以必须结合待测区域的环境和具体应用需求来设计相应的定位算法。

1.4 论文内容组织和结构

传感器节点定位是 WSN 的核心技术,本文首先研究和分析 WSN 的特性和各种定位算法的特征,探讨各种性能因素对定位性能的影响,针对相对定位场景,提出一种基于最速下降法的无锚点定位算法。结合室内信道变化的特点,提出一种基于最大似然法的节点跟踪方法,并用实测和仿真进行验证。各章节主要研究内容和基本框架如下:

第一章为绪论。概述无线传感器网络特点及应用,总结了 WSN 定位技术国内外研究成果。

第二章介绍无线传感网络中定位技术的基本理论。重点介绍几种典型的定位技术分类方法以及定位计算的数学方法。

第三章在介绍 WSN 性能评估指标的基础上，建立仿真模型，对 WSN 各种典型定位算法的性能影响因素进行仿真评估。

第四章提出基于最速下降法的无锚点定位算法，以解决 WSN 中采用 RSSI 方法进行自定位时，存在测距误差的问题。将测距误差定义为一个评价函数，使用最速下降法来分布式求解全局非线性优化问题，以使这个评价函数最小化。在对测距误差进行正确估计的基础上，求得各节点的相对位置。

第五章提出基于最大似然法的移动节点跟踪算法。在密闭走廊、开放走廊和实验室三种不同场景中通过实际测试，对信道传播特性建模的基础上，锚节点定期测量移动节点信标的 RSSI，利用最大似然法来推测移动节点的坐标位置、速度和前进方向。仿真结果证明了该定位方案的有效性。

第六章总结和展望。对本文无线传感网络无锚点主要研究工作进行总结，并对无线传感网络定位算法提出进一步研究工作的展望。

第二章 无线传感器网络及定位相关理论

无线传感网络节点的信息感知和数据采集与“位置”是密切联系的，没有位置坐标的数据就意味着丧失了价值。WSN 中，可以不借助 GPS 或锚点的地理位置信息，仅仅通过节点间距离或连通性来实现节点位置的定位，大大拓展了定位的应用可能性。

2.1 无线传感网络基本概念

1. 无线传感网络拓扑

WSN 由多量部署的传感器节点、少量汇聚节点(Sink 节点)、Internet 网络以及管理中心构成的一个多跳、自组织、动态无线通信网络，如图 2.1 所示。传感器节点采集相关信息并进行简单的数据处理后，通过某种路由策略把数据传递到 Sink 节点，经过 Sink 节点对信息进行分析处理后将信息上传至本地用户或者通过 Internet 网络上传至远程监控中心。

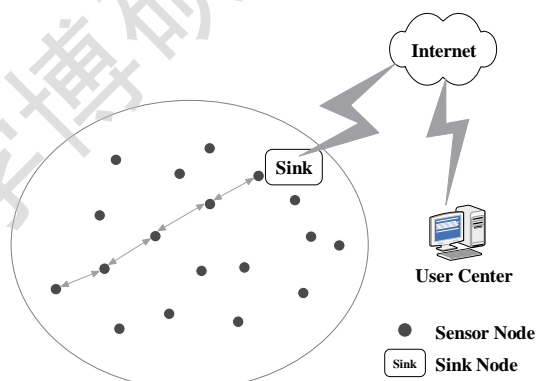


图 2.1 无线传感器网络体系结构

2. 无线传感网络节点硬件结构

无线传感器节点主要负责信息的采集、处理和传输，节点通常由传感模块、控制模块、无线通信模块、存储模块和电源模块等 5 部分组成。根据需求，节点还可以具有定位模块、移动模块以及能量补充模块等扩展功能。图 2.1 所示为传感器节点结构示意图。

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.