

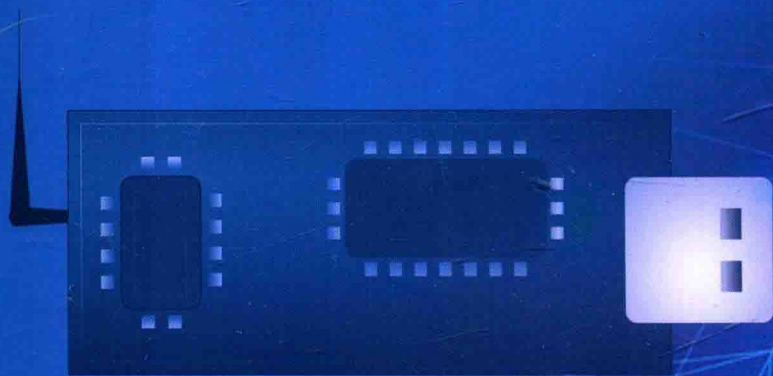


智能

科/学/技/术/著/作/丛/书

基于信息融合的 无线传感器网络部署

张聚伟 著



科学出版社

智能科学技术著作丛书

基于信息融合的无线 传感器网络部署

张聚伟 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

节点部署是无线传感器网络研究的一个基本问题,部署效果的好坏直接影响无线传感器网络所提供的服务质量的好坏。本书结合作者长期以来在该领域的研究工作,基于信息融合理论,论述和总结无线传感器网络部署的发展及所面临的诸多技术挑战。全书分三篇,共 16 章,内容涉及水下传感器网络部署、有向传感器网络部署和异构传感器网络部署,针对不同种类的传感器节点建立概率感知模型,基于信息融合理论给出解决方案,为传感器网络部署提供新思路。

本书可以作为无线传感器网络领域的研究人员及广大对无线传感器网络感兴趣的工程技术人员的参考用书,也可作为高等院校自动化、网络、通信、电子等专业高年级本科生和研究生的学习教材。

图书在版编目(CIP)数据

基于信息融合的无线传感器网络部署 / 张聚伟著. —北京:科学出版社,2017.6
(智能科学技术著作丛书)

ISBN 978-7-03-052921-3

I. ①基… II. ①张… 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(2017)第 116366 号

责任编辑:张海娜 姚庆爽 / 责任校对:桂伟利

责任印制:张 伟 / 封面设计:陈 敬

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>

北京中石油彩色印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 6 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2017 年 6 月第一次印刷 印张:12 3/4

字数:240 000

定价:80.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

智能科学技术著作丛书 编委会

名誉主编：吴文俊

主 编：涂序彦

副 主 编：钟义信 史忠植 何华灿 何新贵 李德毅 蔡自兴 孙增圻
谭 民 韩力群 黄河燕

秘 书 长：黄河燕

编 委：（按姓氏汉语拼音排序）

蔡庆生（中国科学技术大学）

蔡自兴（中南大学）

杜军平（北京邮电大学）

韩力群（北京工商大学）

何华灿（西北工业大学）

何 清（中国科学院计算技术研究所）

何新贵（北京大学）

黄河燕（北京理工大学）

黄心汉（华中科技大学）

焦李成（西安电子科技大学）

李德毅（中国人民解放军总参谋部第六十一研究所）

李祖枢（重庆大学）

刘 宏（北京大学）

刘 清（南昌大学）

秦世引（北京航空航天大学）

邱玉辉（西南师范大学）

阮秋琦（北京交通大学）

史忠植（中国科学院计算技术研究所）

孙增圻（清华大学）

谭 民（中国科学院自动化研究所）

谭铁牛（中国科学院自动化研究所）

涂序彦（北京科技大学）

王国胤（重庆邮电学院）

王家钦（清华大学）

王万森（首都师范大学）

吴文俊（中国科学院数学与系统科学研究院）

杨义先（北京邮电大学）

于洪珍（中国矿业大学）

张琴珠（华东师范大学）

赵沁平（北京航空航天大学）

钟义信（北京邮电大学）

庄越挺（浙江大学）

智能科学技术著作丛书 序

“智能”是“信息”的精彩结晶,“智能科学技术”是“信息科学技术”的辉煌篇章,“智能化”是“信息化”发展的新动向、新阶段。

“智能科学技术”(intelligence science & technology, IST)是关于“广义智能”的理论方法和应用技术的综合性科学技术领域,其研究对象包括:

- “自然智能”(natural intelligence, NI),包括“人的智能”(human intelligence, HI)及其他“生物智能”(biological intelligence, BI)。

- “人工智能”(artificial intelligence, AI),包括“机器智能”(machine intelligence, MI)与“智能机器”(intelligent machine, IM)。

- “集成智能”(integrated intelligence, II),即“人的智能”与“机器智能”人机互补的集成智能。

- “协同智能”(cooperative intelligence, CI),指“个体智能”相互协调共生的群体协同智能。

- “分布智能”(distributed intelligence, DI),如广域信息网、分散大系统的分布式智能。

“人工智能”学科自1956年诞生的,五十余年来,在起伏、曲折的科学征途上不断前进、发展,从狭义人工智能走向广义人工智能,从个体人工智能到群体人工智能,从集中式人工智能到分布式人工智能,在理论方法研究和应用技术开发方面都取得了重大进展。如果说当年“人工智能”学科的诞生是生物科学技术与信息科学技术、系统科学技术的一次成功的结合,那么可以认为,现在“智能科学技术”领域的兴起是在信息化、网络化时代又一次新的多学科交融。

1981年,“中国人工智能学会”(Chinese Association for Artificial Intelligence, CAAI)正式成立,25年来,从艰苦创业到成长壮大,从学习跟踪到自主研发,团结我国广大学者,在“人工智能”的研究开发及应用方面取得了显著的进展,促进了“智能科学技术”的发展。在华夏文化与东方哲学影响下,我国智能科学技术的研究、开发及应用,在学术思想与科学方法上,具有综合性、整体性、协调性的特色,在理论方法研究与应用技术开发方面,取得了具有创新性、开拓性的成果。“智能化”已成为当前新技术、新产品的发展方向和显著标志。

为了适时总结、交流、宣传我国学者在“智能科学技术”领域的研究开发及应用成果,中国人工智能学会与科学出版社合作编辑出版《智能科学技术著作丛书》。

需要强调的是,这套丛书将优先出版那些有助于将科学技术转化为生产力以及对社会和国民经济建设有重大作用和应用前景的著作。

我们相信,有广大智能科学技术工作者的积极参与和大力支持,以及编委们的共同努力,《智能科学技术著作丛书》将为繁荣我国智能科学技术事业、增强自主创新能力、建设创新型国家做出应有的贡献。

祝《智能科学技术著作丛书》出版,特赋贺诗一首:

智能科技领域广

人机集成智能强

群体智能协同好

智能创新更辉煌

涂序彦

中国人工智能学会荣誉理事长

2005年12月18日

前 言

负责前端无线接入的无线传感器网络技术是支持物联网以及未来移动通信系统的重要技术基础,如何有效地部署传感器节点并提高数据可靠性一直是研究无线传感器网络的重要课题。由于无线传感器网络节点具有可靠性差、冗余性高的特点,通过信息融合算法减少数据传输量、改进节点的部署算法、增加信息的可靠性是提高无线传感器网络服务质量的有效途径。

本书围绕无线传感网络节点部署中的热点和难点,以信息融合理论为主线索,基于作者在水下传感器网络部署、有向传感器网络部署、异构传感网络部署等课题中的研究成果,结合国内外重要研究成果展开详细的阐述和分析,全书分三篇共16章。针对不同种类的传感器节点,建立概率感知模型,基于信息融合理论,给出解决方案,为传感器网络部署提供新思路。本书可以作为无线传感器网络领域的研究人员及广大对无线传感器网络感兴趣的工程技术人员的参考用书,也可作为高等院校自动化、网络、通信、电子等专业高年级本科生和研究生的学习教材。

第1章是绪论,主要介绍无线传感网络的概念、主要特点与关键技术,重点分析无线传感器网络覆盖部署问题。接下来分为三篇,第一篇是基于信息融合的水下传感器网络部署问题研究,其中第2章介绍水下传感器网络部署的研究进展;第3章介绍基于深度信息的水下传感器网络部署;第4章介绍水下传感器网络表面区域部署算法;第5章介绍混合通信方式的水下传感器网络部署;第6章介绍基于信度势场的水下传感器网络部署;第7章介绍基于模糊数据融合的水下传感器网络部署;第8章介绍基于小分子模型的水下传感器网络部署。第二篇是基于信息融合的有向传感器网络部署,其中第9章介绍有向传感器网络的研究进展及常见的有向传感器网络节点感知模型;第10章介绍基于概率感知模型的有向传感器网络部署算法;第11章介绍视频传感器网络路径覆盖算法;第12章介绍有向传感器网络强栅栏覆盖算法。第三篇是基于信息融合的异构传感器网络节点部署,其中第13章介绍异构传感器网络介绍及异构传感器网络部署简介;第14章介绍感知数据类型异构的传感器网络部署;第15章介绍基于粗糙集的水下异构传感器网络节点部署;第16章介绍基于粒子群算法的异构传感器网络节点部署。

本书作者的科研团队在无线传感器网络领域进行了多年的研究,本书的大部分内容来自这些研究成果,其中许多内容来自于相应的原创论文。作者及作者的科研团队在无线传感器网络领域承担过多项国家、省部级科研课题,相关的研究成果也在本书中得以引用,感谢作者的研究生李强懿、李世伟、刘亚闯、武宁宁、王亚

乐、王宇、谭孝江、文森、郑鹏博配合作者所做的大量工作。

本书在撰写过程中,得到河南科技大学科技处、电气工程学院领导和同仁的支持和帮助,首先感谢朱文学教授、史敬灼教授、毛鹏军教授、秦青副教授、于华副教授、孙立功副教授、黄景涛副教授、卜文绍教授等老师对本书的大力帮助和无私奉献,正是他们的帮助和支持才使本书得以成稿,也要感谢天津大学孙雨耕教授、杨挺教授、刘丽萍副教授、李桂丹副教授、张强博士对本书的指导。最后,感谢爱妻陈媛女士对我生活上的照顾和支持,以及在写作过程中给我的鼓励。

由于无线传感器网络技术和理论发展迅速,许多问题尚无法定论,加之作者水平有限,书中难免存在不妥之处,恳请同行及读者批评指正。

张聚伟

2017年2月

目 录

智能科学技术著作丛书 序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 无线传感器网络部署	1
1.2 无线传感器网络分析	2
1.2.1 无线传感器网络的特点	2
1.2.2 无线传感器网络的关键技术	4
1.2.3 无线传感器网络的应用	4
1.2.4 无线传感器网络覆盖分类	5
1.3 传感器网络覆盖控制	7
1.3.1 休眠调度机制	7
1.3.2 移动节点调节机制	7
1.3.3 无线传感器网络部署问题研究现状	8
1.4 数据融合	10
1.4.1 数据融合的意义	10
1.4.2 常用的数据融合方法	10
参考文献	12

第一篇 基于信息融合的水下传感器网络部署

第 2 章 水下传感器网络部署问题研究进展	17
2.1 水下传感器网络部署	17
2.2 水下传感器网络节点部署研究进展	17
2.3 水下传感器网络的通信方式	20
2.4 本章小结	21
参考文献	21
第 3 章 基于深度信息的水下传感器网络部署算法	24
3.1 引言	24
3.2 相关知识	25
3.2.1 水下传感器网络节点	25

3.2.2 水下传感器节点感知模型	26
3.2.3 水下传感器覆盖率的计算	26
3.3 部署算法描述	27
3.3.1 基本假设	27
3.3.2 算法步骤	27
3.3.3 算法流程图	28
3.4 仿真分析	29
3.4.1 层次划分	30
3.4.2 水下目标分布	30
3.4.3 工作状态的水下传感器节点概率	31
3.4.4 检测概率仿真分析	31
3.4.5 水下传感器节点数目分析	32
3.4.6 生存时间仿真分析	33
3.5 本章小结	34
参考文献	35
第4章 水下传感器网络表面区域高效部署	36
4.1 引言	36
4.2 水下传感器网络结构	37
4.2.1 水下传感器网络结构	38
4.2.2 水下传感器节点	38
4.2.3 水下传感器节点通信方式	39
4.3 节点动态分析	39
4.4 表面部署区域分析	41
4.4.1 给定区域部署	41
4.4.2 目标区域深度与部署的关系	42
4.5 本章小结	43
参考文献	43
第5章 光学声学通信混合水下传感器网络的分布式部署	45
5.1 引言	45
5.2 混合水下传感器网络部署结构	46
5.3 混合水下传感器网络节点部署算法	49
5.4 仿真分析	49
5.4.1 节点数目分析	49
5.4.2 检测概率分析	51

5.4.3 延时时间分析	51
5.4.4 网络生存时间分析	52
5.5 本章小结	53
参考文献	53
第6章 基于信度势场算法的水下传感器网络部署算法	55
6.1 引言	55
6.2 背景知识与相关定义	56
6.2.1 D-S证据理论基础	56
6.2.2 被动声呐节点的概率感知模型	56
6.2.3 相关定义	58
6.3 基于信度势场算法的水下传感器网络部署	58
6.3.1 基于改进 D-S证据理论的数据融合模型	58
6.3.2 水下传感器网络的 κ -信度覆盖分析	59
6.3.3 基于信度势场算法的节点部署算法	60
6.4 仿真实验与结果分析	62
6.4.1 仿真实验参数设置	62
6.4.2 仿真结果分析	62
6.5 本章小结	66
参考文献	66
第7章 基于模糊数据融合的水下传感器网络部署算法	68
7.1 基于模糊数据融合的传感器网络节点部署策略	69
7.1.1 相关定义	69
7.1.2 数据融合模型	71
7.1.3 基于模糊模型的节点部署算法	72
7.2 仿真分析	73
7.2.1 仿真设置	73
7.2.2 结果与分析	73
7.3 本章小结	76
参考文献	76
第8章 基于有机小分子模型的水下传感器网络部署算法	78
8.1 数学模型与假设	79
8.2 感知单元模型	81
8.3 基于有机小分子模型的传感器网络节点部署策略	82
8.4 仿真分析	83

8.4.1 仿真设置	83
8.4.2 仿真结果与分析	83
8.5 本章小结	85
参考文献	86

第二篇 基于信息融合的有向传感器网络部署

第9章 有向传感器网络覆盖部署	91
9.1 有向传感器网络	91
9.1.1 有向传感器网络简介	91
9.1.2 节点感知模型	91
9.1.3 节点通信模型	95
9.2 有向传感器网络的典型运行机制	97
9.2.1 休眠唤醒调度机制	97
9.2.2 节点运动方式	98
9.2.3 虚拟力原理	98
9.3 有向传感器覆盖部署	99
9.4 本章小结	100
参考文献	100
第10章 基于概率感知模型的有向传感器网络覆盖算法	104
10.1 引言	104
10.2 感知模型	105
10.2.1 有向传感器概率感知模型	105
10.2.2 覆盖模型	107
10.3 基于概率感知模型的有向传感器网络覆盖算法	108
10.3.1 算法假设	108
10.3.2 标准工作方向	108
10.3.3 工作节点数量估算	112
10.3.4 算法描述	112
10.4 仿真分析	115
10.5 本章小结	118
参考文献	118
第11章 视频传感器网络路径覆盖改进算法	120
11.1 引言	120

11.2 感知模型	121
11.2.1 概率感知模型	121
11.2.2 计算等效质心	122
11.2.3 目标轨迹	123
11.2.4 覆盖模型	123
11.3 基于概率感知模型的视频传感器网络路径覆盖增强算法	125
11.3.1 算法设定	125
11.3.2 虚拟力受力分析	125
11.3.3 算法描述	127
11.4 仿真分析	128
11.5 本章小结	131
参考文献	132
第 12 章 有向传感器网络强栅栏覆盖算法	133
12.1 引言	133
12.2 问题描述	134
12.2.1 感知模型	134
12.2.2 数据融合模型	135
12.2.3 有向传感器网络栅栏覆盖分析	136
12.3 有向传感器网络栅栏覆盖算法	139
12.3.1 粒子群算法在栅栏覆盖中的应用分析	139
12.3.2 问题分析	140
12.4 算法描述	141
12.4.1 算法假设	141
12.4.2 算法步骤	141
12.4.3 算法收敛性分析	142
12.5 仿真分析	143
12.6 本章小结	147
参考文献	147

第三篇 基于信息融合的异构传感器网络节点部署

第 13 章 异构无线传感器网络	151
13.1 异构传感网络简介	151
13.2 异构传感网络特点	152

13.3 异构无线传感器网络部署	152
13.4 本章小结	153
参考文献	153
第 14 章 感知数据类型异构的传感器网络覆盖控制	155
14.1 引言	155
14.2 预备知识	156
14.2.1 节点模型	156
14.2.2 D-S 理论	156
14.2.3 三角融合网格	157
14.2.4 相关定义	157
14.3 问题分析	157
14.4 算法步骤	158
14.5 仿真实验分析	159
14.5.1 部署效果	159
14.5.2 覆盖效果	159
14.5.3 网络冗余度	161
14.5.4 网络运行时间	161
14.6 本章小结	162
参考文献	162
第 15 章 基于粗糙集的水下异构传感器网络节点部署	164
15.1 引言	164
15.2 异构传感器网络模型	165
15.2.1 磁感知节点模型	165
15.2.2 数据融合模型	166
15.3 基于粗糙集势场的节点部署策略	168
15.3.1 截面部署	168
15.3.2 每层最佳节点数目	168
15.3.3 不同网络层轮替工作模式	170
15.4 算法描述	170
15.5 仿真分析	171
15.5.1 覆盖效果	172
15.5.2 多层传感器网络覆盖效果	173
15.5.3 与立体覆盖效果对比	173
15.5.4 特殊情况覆盖效果	174

第 1 章 绪 论

1.1 无线传感器网络部署

无线传感器网络(wireless sensor networks, WSN)是由大量廉价的微型传感器节点部署在目标监测区域内,通过自组织的方式构成的网络。无线传感器网络^[1]综合了传感器技术、分布式信息处理技术、无线网络通信技术、嵌入式计算技术以及微电子技术等,通过各种集成化的传感器节点实时协作感知,采集监测区域内的各种信息,对采集到的数据进行计算处理,网络内的通信链路以多跳、中继的方式将数据传送到用户端。无线传感器网络是当前世界上备受关注的新兴前沿研究热点领域,它能够满足恶劣环境下的监测和特殊需求,有广阔的应用前景,在国家安全、交通管理、环境监测、空间探索等领域都具有重大的应用价值,引起了军事界和学术界的高度关注。2006 年年初,我国发布的《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》为信息技术确定的三个前沿方向中,有两个与无线传感器网络直接相关,即智能感知技术和自组织网络技术^[2]。可以预计,无线传感器网络的发展和广泛应用,将对人们生活和产业变革带来极大的影响和产生巨大的推动。

覆盖控制是无线传感器网络的一个基本问题,覆盖控制效果的好坏直接影响无线传感器网络所提供的感知服务质量的好坏。采用一定策略优化无线传感器网络的覆盖性能,对于合理分配网络资源,更好地完成对目标区域的感知、数据采集以及提高网络运行时间都具有重要的意义。覆盖控制即使传感器网络在满足覆盖要求的前提下,通过控制节点的工作方式或调整节点的位置,使传感器网络的整体覆盖效果最优化。通过对感兴趣区域内网络覆盖程度的测量,就能够了解到监测区域内是否存在覆盖盲区和通信盲区。掌握了检测区域内的网络覆盖状况,就可以为传感器节点的调整和在将来采取一定策略添加传感器节点时提供有效的依据。通过改变局部传感器节点的密度,还可以在部署区域的重点区域设置热点,从而更有效地覆盖事件多发地,进一步提高数据测量的可靠性。因此,传感器网络的覆盖控制已不只是为了满足对监测区域的整体通信覆盖和感知覆盖,更多是为了满足具体的应用需求。合理的网络覆盖控制方案是延长网络运行时间、优化网络资源、提高网络覆盖性能的重要保证。

1.2 无线传感器网络分析

图 1-1 为传感器网络的结构示意图,传感器节点随机抛撒在指定的监控区域内,通过节点的自组织特性组成传感器网络。由于传感器节点抛撒之后位置不能移动,或者只能移动很小的距离,各个传感器节点完成数据采集工作之后,通过与临近的节点的协同工作先把采集的数据信息传送给 sink(簇头)节点,再通过互联网、局域网或卫星网络发送到用户手中的客户端。为提高网络性能,无线传感器网络中还会采取覆盖控制、数据融合、拓扑控制、信道分配等策略,使用户最终得到的数据更加可靠和完善。

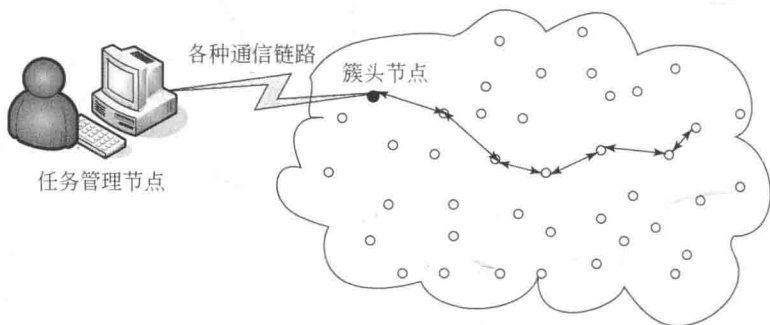


图 1-1 无线传感器网络

1.2.1 无线传感器网络的特点

无线传感器网络和无线自组网(ad-hoc)有许多相似之处,同时又有很大的区别。无线传感器网络特征可以总结为以下几点^[3]。

1) 资源受限

传感器网络中的节点在能量资源、通信资源、计算资源和存储资源等方面都在很大程度上受到限制。传感器节点的能量来源于携带的电池,但由于节点体积的限制,节点携带的电池容量非常有限;并且传感器节点往往部署在人员难以到达的区域,这就使得传感器节点携带的能源成为非常珍贵的资源。同时,传感器节点体积的限制,使节点在设计时只能拥有较弱的数据处理能力和较小容量的存储器,所以传感器节点在完成任务时能利用的数据处理和存储资源也非常有限。

2) 自组织网络

传感器网络的自组织性就是节点可以自定位、自动配置、自组网。要求不需要人工干预和任何其他预置的设施,可以在任何地方、任何时间快速展开并自动组成网络。同时由于其网络的分布式特性、节点的冗余性,单个节点发生故障不会影响

整个传感器网络的运行,具有很强的健壮性和抗毁性。对于无线传感器网络的部署,特别是在特殊无法到达的环境下的部署工作,往往通过飞机或炮火等方式来播撒,所以传感器节点的部署位置无法预测,邻居节点之间的关系也无法事先知道。这就需要传感器节点具有一定的自组织能力,能够自己进行配置与管理,并通过一定的自组织能力形成一个系统性的传感器网络。在传感器网络的运行过程中,由于局部部署不均匀和部分节点因为能量耗尽而死亡,就需要往网络中补充一些新的节点。这些因素就会造成传感器网络节点个数动态地变化,使得网络拓扑结构也随之动态变化,这也需要传感器网络具备自组织能力。

3) 节点数目大

通常情况下,传感器网络应用往往需要在监测区域高密度地部署大量传感器节点以获取足够精确的信息,节点数量可能会有成千上万个。例如,采用传感器网络对战场的环境,或是无人值守的环境进行监测,需要在很大的区域内部署大量传感器节点。另外,传感器网络需要高密度地部署来提供需要的冗余节点,才能够保证一定的覆盖质量和网络连通性,提高网络的可靠性。这两方面决定了传感器网络应用需要大量节点部署,同时也使网络的维护变得非常困难。

4) 动态性强

无线传感器网络的拓扑结构是会发生经常性的变化的,这种动态性是由多方面的原因造成的。例如,由于电池的能量耗尽,传感器节点发生故障或死亡;由于节点的移动性,其位置发生改变;节点功率控制或环境的因素造成网络的通信链路发生变化;为增强网络的监测精度或者为了网络维护而加入新的节点等。所以要求传感器网络能够适应这些动态变化,通过不断地调整来完成监测任务。

5) 以数据为中心

传统的网络以传输数据为目的,是以地址为中心的网络。在这类网络中,所有功能的处理都放在终端来进行,中间的节点只负责数据的转发,网络设备都有其唯一的地址标识,资源的定位和信息的传输依赖于不同网络设备的地址。而传感器网络是以完成对目标的监测或者数据采集等任务为目的。在无线传感器网络中,用户只对其感知到的数据感兴趣,而不会关心每个节点的地址标识。因此无线传感器网络是以数据为中心的网络,与传统网络以地址为中心不同。

6) 应用相关性

传感器网络具有广阔的前景,将会在人们生活中的各个领域发挥越来越大的作用。但由于资源限制,为了减少不必要的资源耗费,进一步降低传感器节点的成本,各个应用领域开始从硬件平台、网络协议和软件系统等方面对传感器网络提出不同的要求。传感器网络难以做到像因特网一样,具有统一通信协议平台。传感器网络的开发研究要从实际应用出发,针对不同的应用要求采用不同的技术,才能研究出高效率且成本低的应用系统。