



包 旭 著

# 延长无线传感器网络生命周期的 相关算法研究

YANCHANG WUXIAN CHUANGANQI  
WANGLUO SHENGMING ZHOUQI DE  
XIANGGUAN SUANFA YANJIU



东南大学出版社  
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS



# 延长无线传感器网络生命 周期的相关算法研究

包 旭 著



东南大学出版社  
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

• 南京 •



内容提要

本专著介绍了无线传感器网络的特点,从时间同步、节点调度、空洞检测及修复和路由等四个方面,系统、全面分析了目前常见算法存在的问题,并在此基础上对已有算法进行优化与仿真。全书共分五章,主要章节有:异构无线传感器网络下的分簇时间同步算法、保持覆盖的无线传感器网络簇内节点调度算法、面向节点失效的无线传感器网络簇内覆盖空洞修复算法、基于簇的能量高效路由算法。

本专著可作为交通工程、计算机类等本科生、硕士研究生阅读参考书。

图书在版编目(CIP)数据

延长无线传感器网络生命周期的相关算法研究/包旭著.

—南京:东南大学出版社,2017.7

ISBN 978-7-5641-7300-5

I. ①延… II. ①包… III. ①无线电通信—传感器—  
算法—研究 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 170285 号

延长无线传感器网络生命周期的相关算法研究

|       |                                   |       |                    |
|-------|-----------------------------------|-------|--------------------|
| 著 者   | 包 旭                               | 出 版 人 | 江建中                |
| 责任编辑  | 陈 跃(025)83795627                  | 邮 编   | 210096             |
| 出版发行  | 东南大学出版社                           | 电子邮箱  | press@seupress.com |
| 地 址   | 南京市四牌楼 2 号                        | 印 刷   | 江苏凤凰数码印务有限公司       |
| 销售电话  | (025)83794121                     | 印 张   | 8                  |
| 网 址   | http://www.seupress.com           |       |                    |
| 经 销   | 全国各地新华书店                          |       |                    |
| 开 本   | 787 mm×1092 mm 1/16               |       |                    |
| 字 数   | 205 千字                            |       |                    |
| 版 印 次 | 2017 年 7 月第 1 版 2017 年 7 月第 1 次印刷 |       |                    |
| 书 号   | ISBN 978-7-5641-7300-5            |       |                    |
| 定 价   | 30.00 元                           |       |                    |

(凡因印装质量问题,请与我社营销部联系。电话:025-83791830)



# 前 言

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSNs)是近年来随着微机电系统、嵌入式计算、无线通信等技术的发展而成为研究和应用热点的新型网络,它是物联网的基础,以数据为中心,提供信息的感知和协同处理功能,且在国防军事、智能交通、智能建筑、环境监测、医疗卫生等领域都有着广泛的应用。然而,与传统网络不同,无线传感器网络具有节点密集、资源(能量、计算能力、通信能力等)受限以及动态拓扑等特点,这使得其各种算法的设计首要目标就是延长网络生命周期。本专著针对无线传感器网络的节点调度算法、空洞修复算法、路由算法以及异构网络的时间同步算法进行了研究,主要内容及成果如下:

(1) 针对在实际应用网络中往往会有部分异构节点的情况,提出了异构无线传感器网络的分簇时间同步算法——CTSA。在 CTSA 算法中,每一轮的时间同步由 sink 节点发起,各个异构节点收到发起消息后,向 sink 节点发送簇首当选请求消息,并在得到 sink 节点的确认后充当簇首,然后在网内广播自己的当选消息,普通节点选择最近的异构节点作为自己的簇首并加入簇。时间同步的过程也首先在 sink 节点与簇首之间进行,然后在各个簇内的簇首与普通成员之间进行。本专著分析了时间同步过程中的误差来源,并利用多个同步字节以及最小二乘拟合法减小时间同步误差。仿真结果表明,在异构



网络应用中,CTSA 算法比 FTSP 算法有着更高的网络同步比率、同步精度与生命周期,同时有着较低的同步能耗。

(2) 针对目前已有的节点调度算法不能保持网络初始覆盖的问题,提出了保持覆盖的无线传感器网络簇内节点调度算法——CPNSC。CPNSC 算法采用与 LEACH 算法同样的分簇算法将网络分簇,各个簇首负责建立簇内的节点信息表以及两两节点距离表,并根据节点的两两距离、节点的感知半径按照节点 ID 从小到大的顺序依次判断各个簇内节点是否是冗余节点,若是,则在节点信息表中标出。待簇首将所有节点都计算完毕后,将节点信息表在簇内广播,接收到信息表的节点根据信息表决定是否调度自己进入睡眠状态。仿真表明,CPNSC 算法在不同的节点感知半径下有着不同的性能表现,且在感知半径达到一定的数值后,即使继续增大,对网络的性能影响也不大。这是因为 CPNSC 算法的性能同时受到节点感知半径与簇的大小的影响,当感知半径很大时,簇的大小则起到决定性作用。仿真同时表明,在冗余节点不足够多的情况下,CPNSC 算法在生命周期、能耗等性能上都要优于 E-LEACH 算法。

(3) 针对已有的无线传感器网络覆盖空洞检测与修复算法需要每轮重复进行的问题,在 CPNSC 算法基础上,提出了面向节点失效的无线传感器网络簇内覆盖空洞修复算法——CHPA。CHPA 算法无需网络定时进行覆盖空洞检测,而是当某个普通节点即将由于能量耗尽而失效时,立即发送失效信息给簇首,簇首则根据簇内冗余节点的相关信息,确定激活哪个冗余节点。确定冗余节点的依据是:该冗余节点与失效节点的距离小于感知半径,且该冗余节点与覆盖空洞的边界节点的相邻个数最多。由于 CHPA 算法是在 CPNSC 算法的基础上完成的,因此,CHPA 算法有着与 CPNSC 算法同样的特性:算法的性能同时受到节点感知半径与簇的大小的影响,这在仿真中得到了验证。同时,仿真也表明了网络覆盖率、单轮能耗、单轮时耗等方面的内容,CHPA 算法都比 3MeSH 算法有着更好的表现。

(4) 针对 LEACH 算法中存在的问题,对 LEACH 算法进行了改进,提出



了基于簇的能量高效路由算法——EERA。在 EERA 算法中,簇首的选举、簇间路由的确定以及普通节点加入簇等步骤,都需要考虑多个因素,具体来说,簇首的选举过程中考虑节点的剩余能量与邻节点个数;簇间路由确定的过程中考虑某个簇首到下一跳簇首的距离以及该下一跳簇首的剩余能量;普通节点加入簇的过程中考虑节点与簇首之间的距离以及簇首转发消息的能耗系数。在这三个步骤中同时考虑多个因素,可以有效地平均网络能耗,尤其是簇首的能耗。仿真表明,EERA 算法的簇首能耗、网络整体能耗、网络生命周期等性能参数都要优于 LEACH 算法、LEACH-EE 算法和 EERP 算法。



# 目 录

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第一章 绪论                   | 1  |
| 1.1 课题研究背景               | 1  |
| 1.2 国内外研究现状              | 4  |
| 1.2.1 无线传感器网络的节点能耗分析     | 4  |
| 1.2.2 国内外研究现状            | 8  |
| 1.3 本专著主要研究内容            | 14 |
| 第二章 异构无线传感器网络下的分簇时间同步算法  | 16 |
| 2.1 引言                   | 16 |
| 2.2 异构无线传感器网络            | 16 |
| 2.3 几种无线传感器网络时间同步算法      | 18 |
| 2.3.1 无线传感器网络时间同步算法的评价指标 | 18 |
| 2.3.2 无线传感器网络信号传输时延分析    | 19 |
| 2.3.3 几种典型的无线传感器网络时间同步算法 | 20 |
| 2.4 异构无线传感器网络下的分簇时间同步算法  | 23 |
| 2.4.1 无线传感器网络节点时钟模型      | 23 |
| 2.4.2 网络模型               | 24 |



|                          |                      |    |
|--------------------------|----------------------|----|
| 2.4.3                    | 同步消息结构               | 25 |
| 2.4.4                    | 异构无线传感器网络的三层结构       | 25 |
| 2.4.5                    | 算法的具体步骤              | 26 |
| 2.5                      | 算法分析                 | 30 |
| 2.5.1                    | 算法同步精度分析             | 30 |
| 2.5.2                    | 算法同步能耗分析             | 31 |
| 2.6                      | 算法仿真                 | 32 |
| 2.6.1                    | 生命周期仿真               | 33 |
| 2.6.2                    | 同步比率仿真               | 34 |
| 2.6.3                    | 同步精度仿真               | 35 |
| 2.7                      | 本章小结                 | 36 |
| 第三章 保持覆盖的无线传感器网络簇内节点调度算法 |                      | 37 |
| 3.1                      | 引言                   | 37 |
| 3.2                      | 几种冗余节点调度算法           | 38 |
| 3.2.1                    | 无线传感器网络冗余节点调度算法的评价指标 | 38 |
| 3.2.2                    | 几种无线传感器网络冗余节点调度算法    | 38 |
| 3.3                      | 保持覆盖的无线传感器网络簇内节点调度算法 | 41 |
| 3.3.1                    | 网络模型                 | 41 |
| 3.3.2                    | 相关定义                 | 42 |
| 3.3.3                    | 冗余节点的确定              | 43 |
| 3.3.4                    | 保持覆盖的无线传感器网络簇内节点调度算法 | 46 |
| 3.4                      | 算法能耗分析               | 49 |
| 3.5                      | 算法仿真                 | 50 |
| 3.5.1                    | $R_S$ 对算法的影响         | 50 |
| 3.5.2                    | 与 E-LEACH 算法比较       | 52 |
| 3.6                      | 本章小结                 | 55 |



第四章 面向节点失效的无线传感器网络簇内覆盖空洞修复算法 ..... 57

4.1 引言..... 57

4.2 几种覆盖空洞检测与修复算法..... 58

4.2.1 空洞修复算法的评价指标..... 58

4.2.2 几种覆盖空洞检测与修复算法..... 58

4.3 面向节点失效的无线传感器网络覆盖空洞修复算法..... 62

4.3.1 网络模型..... 62

4.3.2 边界节点的确定..... 63

4.3.3 冗余节点的选择..... 67

4.3.4 面向节点失效的簇内覆盖空洞修复策略..... 67

4.4 算法复杂度分析..... 68

4.5 算法仿真..... 69

4.5.1  $R_s$  对算法的影响 ..... 69

4.5.2 与 3MeSH 算法的比较 ..... 72

4.6 本章小结..... 74

第五章 基于簇的能量高效路由算法 ..... 75

5.1 引言..... 75

5.2 几种基于簇的路由算法..... 76

5.2.1 基于簇的路由算法的特点..... 76

5.2.2 基于簇的路由算法的评价标准..... 76

5.2.3 几种基于簇的路由算法..... 77

5.3 基于簇的能量高效路由算法..... 80

5.3.1 网络模型..... 80

5.3.2 网络初始化..... 81

5.3.3 簇首选举..... 81

5.3.4 簇间路由的确定..... 82

5.3.5 普通节点加入簇..... 86



|           |                             |     |
|-----------|-----------------------------|-----|
| 5.3.6     | 簇的自愈.....                   | 87  |
| 5.3.7     | 数据采集与传输.....                | 88  |
| 5.4       | 算法复杂度分析.....                | 88  |
| 5.5       | 算法仿真.....                   | 90  |
| 5.5.1     | $w_1$ 与 $w_2$ 对本算法的影响 ..... | 90  |
| 5.5.2     | 与其他算法的比较.....               | 93  |
| 5.6       | 本章小结.....                   | 97  |
| 结论 .....  |                             | 98  |
| 参考文献..... |                             | 101 |
| 致谢.....   |                             | 113 |



# 图表清单

|        |                                        |    |
|--------|----------------------------------------|----|
| 图 1.1  | 典型的无线传感器网络结构示意图 .....                  | 2  |
| 图 1.2  | 无线传感器网络节点结构示意图 .....                   | 2  |
| 图 1.3  | 无线传感器网络节点能耗示意图 .....                   | 6  |
| 图 1.4  | 无线传感器网络协议栈 .....                       | 8  |
| 图 2.1  | 典型异构无线传感器网络结构图 .....                   | 17 |
| 图 2.2  | 无线传感器网络信号传输时延分析 .....                  | 19 |
| 图 2.3  | RBS 算法的基本原理 .....                      | 20 |
| 图 2.4  | TPSN 算法的相邻层次节点同步基本原理 .....             | 21 |
| 图 2.5  | TPSN 算法的网络分层结构图 .....                  | 22 |
| 图 2.6  | FTSP 算法同步消息结构及时间戳位置 .....              | 22 |
| 图 2.7  | 无线传感器网络节点时钟模型 .....                    | 24 |
| 图 2.8  | CTSA 算法同步消息结构图 .....                   | 25 |
| 图 2.9  | 异构无线传感器网络三层结构图 .....                   | 26 |
| 图 2.10 | CTSA 算法簇首任命流程图 .....                   | 27 |
| 图 2.11 | CTSA 算法簇的形成流程图 .....                   | 27 |
| 图 2.12 | 标准时间节点与时间汇聚节点的同步流程图 .....              | 28 |
| 图 2.13 | 标准时间节点与时间汇聚节点的同步时序图 .....              | 29 |
| 图 2.14 | CTSA 算法仿真节点位置图 .....                   | 33 |
| 图 2.15 | CTSA 算法与 FTSP 算法在不同通信半径下网络生命周期对比 ..... | 34 |



图 2.16 CTSA 算法与 FTSP 算法在不同通信半径下网络同步比率对比 ..... 34

图 2.17 CTSA 算法与 FTSP 算法在不同通信半径下网络同步精度对比 ..... 35

图 3.1(a) 节点贡献面积示意图;图 3.1(b) 贡献面积全覆盖包含节点感知范围  
..... 39

图 3.2 CCP 算法的 1-覆盖示意图 ..... 40

图 3.3 NSACT 算法冗余节点判断示意图 ..... 41

图 3.4 节点位置示意图 ..... 42

图 3.5 节点交点角示意图 ..... 43

图 3.6 冗余节点示意图 ..... 44

图 3.7 冗余节点判断流程图 ..... 45

图 3.8 簇内冗余节点判断流程图 ..... 48

图 3.9 CPNSC 算法工作时序图 ..... 49

图 3.10 CPNSC 算法在不同感知半径下的网络生命周期对比 ..... 51

图 3.11 CPNSC 算法在不同感知半径下的每轮睡眠节点个数对比 ..... 51

图 3.12 CPNSC 算法在不同感知半径下的每轮死亡节点个数对比 ..... 52

图 3.13 CPNSC 算法与 E-LEACH 算法的生命周期对比 ..... 53

图 3.14 CPNSC 算法与 E-LEACH 算法的每轮睡眠节点个数对比 ..... 54

图 3.15 CPNSC 算法与 E-LEACH 算法的每轮死亡节点个数对比 ..... 54

图 3.16 CPNSC 算法与 E-LEACH 算法的每轮剩余能量对比 ..... 55

图 4.1 Voronoi 多边形 ..... 59

图 4.2(a) 非边界节点图;图 4.2(b) 边界节点 ..... 60

图 4.3 BFNP 算法最佳匹配位置 ..... 61

图 4.4(a) 3MeSH 环;图 4.4(b) 大覆盖空洞 ..... 61

图 4.5 非边界节点判断图 ..... 63

图 4.6 节点密集情况下的非边界节点确定(情况 1) ..... 65

图 4.7 节点密集情况下的非边界节点确定(情况 2) ..... 65

图 4.8 单个节点失效时边界节点确定流程图 ..... 66

图 4.9 两个节点同时失效时的非边界节点确定 ..... 67

图 4.10 单轮面向节点失效的簇内覆盖空洞修复算法流程图 ..... 68



图 4.11   CHPA 算法在不同感知半径下的网络生命周期对比 ..... 70

图 4.12   CHPA 算法在不同感知半径下的单轮覆盖空洞修复的平均能耗对比 ..... 71

图 4.13   CHPA 算法在不同感知半径下的单轮覆盖空洞修复的平均时耗对比 ..... 71

图 4.14   3MeSH 算法在不同感知半径下的网络覆盖率对比 ..... 73

图 4.15   CHPA 算法与 3MeSH 算法在不同感知半径下的单轮能耗对比 ..... 73

图 4.16   CHPA 算法与 3MeSH 算法在不同感知半径下的单轮时耗对比 ..... 74

图 5.1   EERA 算法工作时序图 ..... 81

图 5.2   EERA 算法簇首路由确定流程图 ..... 85

图 5.3   EERA 算法普通节点选择簇首流程图 ..... 87

图 5.4   EERA 算法运行流程图 ..... 89

图 5.5   EERA 算法中不同的  $w_1$  值对网络死亡节点个数的影响对比 ..... 91

图 5.6   EERA 算法中不同的  $w_1$  值对每轮簇首消耗的能量的影响对比 ..... 91

图 5.7   EERA 算法中不同的  $w_2$  值对网络死亡节点个数的影响对比 ..... 92

图 5.8   EERA 算法中不同的  $w_2$  值对每轮簇首消耗的能量的影响对比 ..... 93

图 5.9   几种不同路由算法下的死亡节点个数对比 ..... 94

图 5.10   几种不同路由算法下的单轮簇首消耗总能量对比 ..... 95

图 5.11   EERA 算法与 LEACH 算法单轮簇首能耗方差对比 ..... 95

图 5.12   EERA 算法与 LEACH-EE 算法单轮簇首能耗方差对比 ..... 96

图 5.13   EERA 算法与 EERP 算法单轮簇首能耗方差对比 ..... 96

表 2.1   算法仿真参数设置一览表 ..... 32

表 3.1   CPNSC 算法簇内节点信息表 ..... 46

表 3.2   CPNSC 算法簇内两两节点距离信息表 ..... 47

表 5.1   EERA 算法中 sink 节点广播的簇首确认消息中包含的簇首路由表 ..... 82

表 5.2   EERA 算法中簇首状态信息表 ..... 83



# 第一章 绪 论

## 1.1 课题研究背景

近年来,随着微机电技术、微处理器技术、无线通信技术以及嵌入式操作系统的发展,无线传感器网络也取得了迅猛发展。无线传感器网络技术被认为是影响 20 世纪人类生活的十大技术之首,并引起了世界各国军事部门、学术界以及工业界的广泛关注。

无线传感器网络通过大量部署具有无线通信、数据采集、协同合作等功能的无线传感器网络节点来浸入式地获取网络覆盖范围内感知目标的物理属性,然后通过自组织的通信方式将采集并处理后的信息传送给用户,以供存储或进一步的处理及使用。典型的无线传感器网络由普通节点、sink 节点、远距离通信网络(互联网或卫星通信)以及用户等构成。大量的网络普通节点被部署到监测目标区域,用于监测目标区域的物理数据,并把监测所得信息通过多跳无线通信方式发送到 sink 节点,同时, sink 节点也可通过无线通信的方式实现对目标区域节点的调度; sink 节点收集到监测区域的相关信息后对其进行一定的数据融合,并通过互联网或卫星将这些信息发送至相关用户,同时, sink 节点也能够通过互联网或卫星接收用户的相关指令。典型的无线传感器网络结构如图 1.1 所示。

随着各种相关技术的日益成熟,作为无线传感器网络主体,具有感知能力、计算能力和通信能力的无线传感器网络节点也不断成熟,通常情况下,无线传感器网络节点主要由电源、感知单元、数据处理单元和数据收发单元组成,其结构如图 1.2 所示。



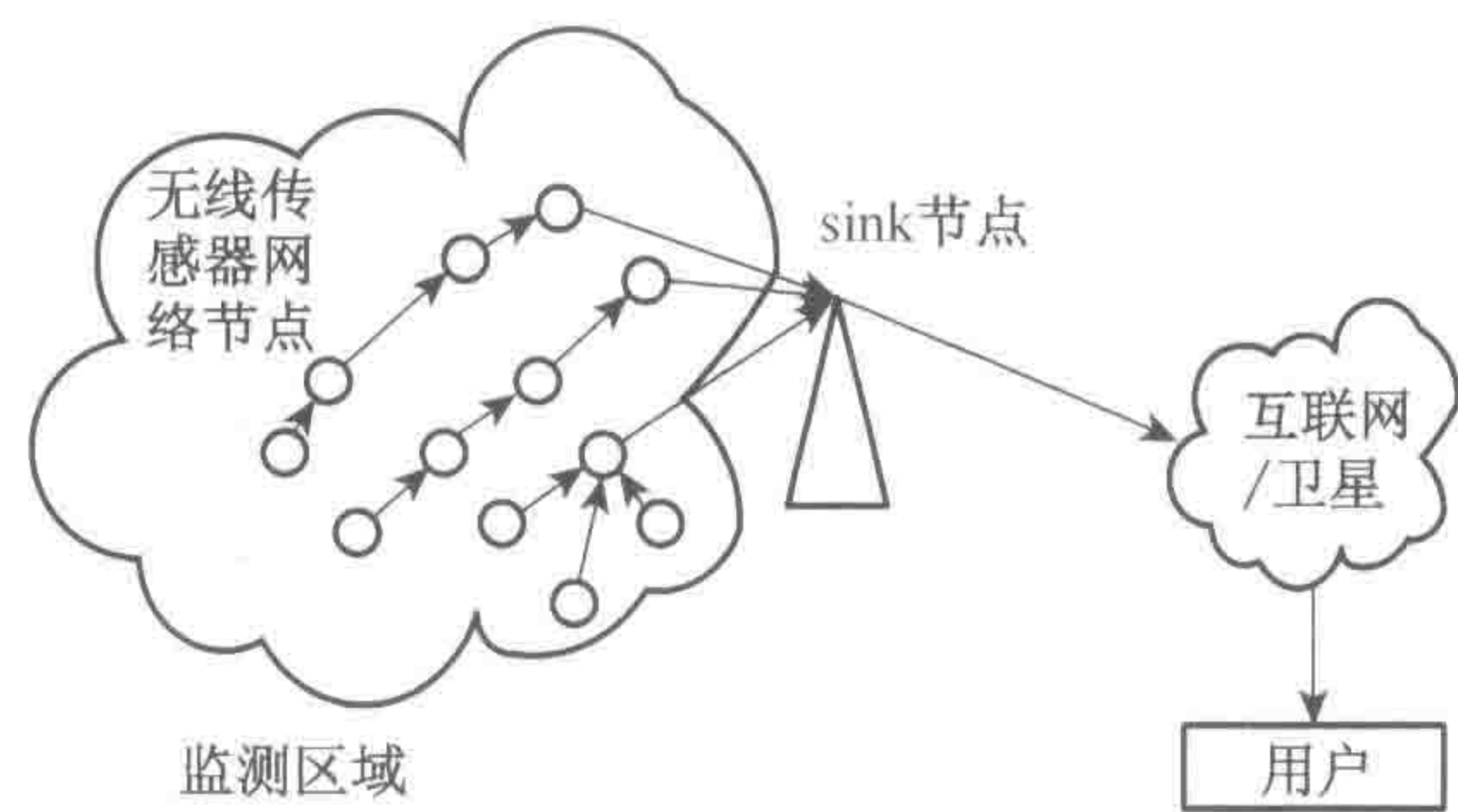


图 1.1 典型的无线传感器网络结构示意图

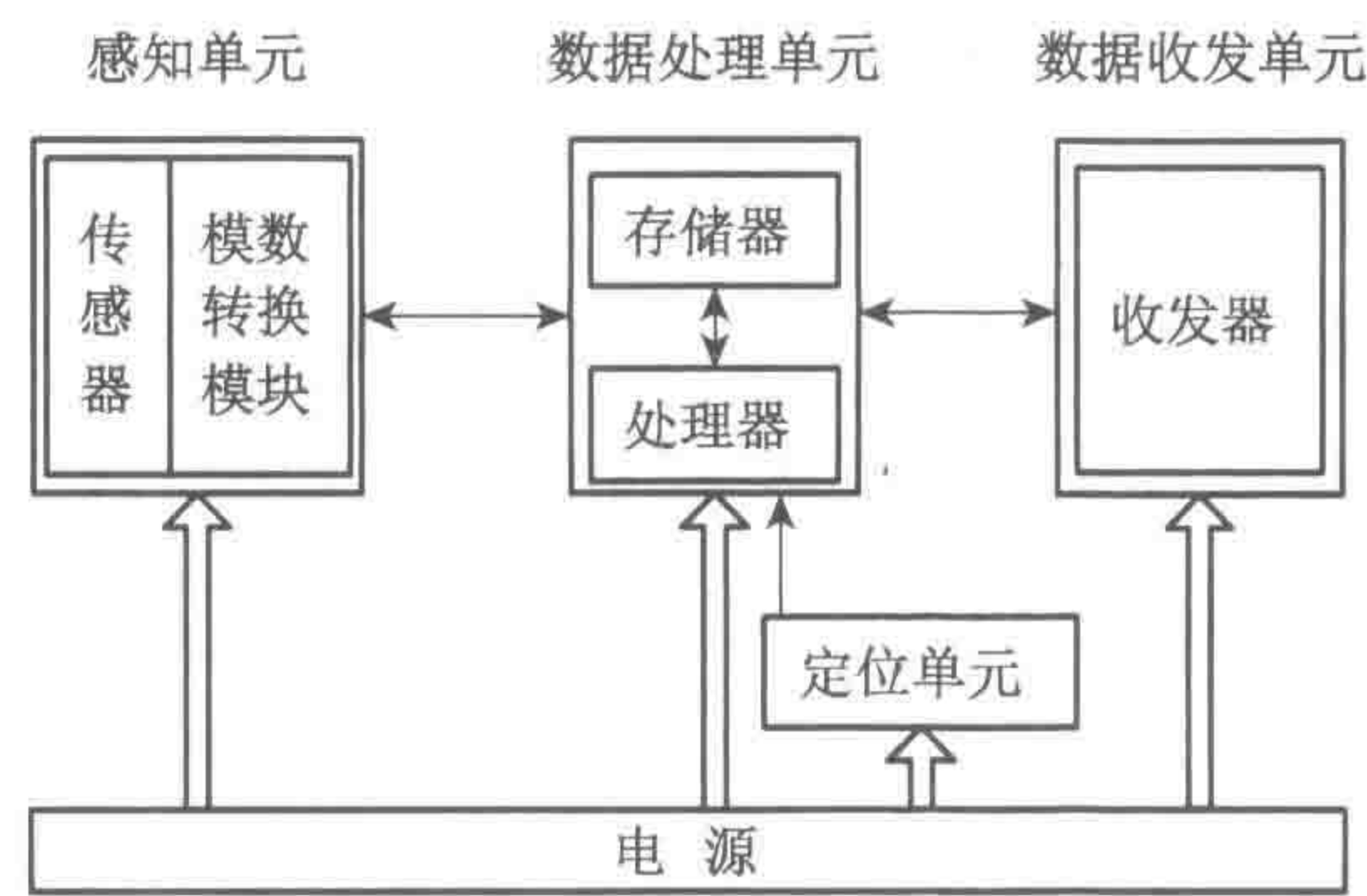


图 1.2 无线传感器网络节点结构示意图

无线传感器网络节点的电源主要作用是为其其他单元供电，一般为微型电池，能量有限，但 sink 节点以及在特殊应用下的网络普通节点也可能会采用已有的城市用电供电，这样可以保证节点供电的可靠性和稳定性。

节点的感知单元主要用来感知目标区域的相关特性，并通过模数转换模块将现场采集所得的模拟信号转化为数字信号。感知单元是节点用于监测的必需工具，在不同的网络实际应用中，感知单元的传感器也各不相同。

数据处理单元主要用来处理感知单元所获取的数字信号以及通过数据收发单元所接收到的来自于其他节点或 sink 节点的信号。由于处理单元通常采用微处理器，且节点的能量受限，因此处理单元的处理能力也受到一定的限制，故数据处理单元一般只对信号做简单处理。另外，为了快捷地处理数据，该单元往往还包含一个存储器，用于存储相关程



序和数据,同样由于节点体积以及能量的限制,存储器的容量一般也较小。

数据收发单元主要用来实现节点之间的相互通信。节点能够相互通信的距离越长,网络的连通性越好,因此,为了延长节点之间的通信距离,一方面,该单元可能包含一个功率放大器,用于对收发数据的放大;另一方面,该单元可能采用不同的数据传输天线,比如印制天线、鞭装天线等,以满足不同应用的需求。

另外,在一些应用以及算法中,网络节点需要知道自己的确切地理位置,因此,在节点本身无法提供确切位置信息的情况下,额外的节点定位单元就必不可少。定位单元大多采用 GPS 定位模块,能够实现节点的较精确定位。

图 1.2 中所示的所有单元,都要集成在一个大约只有火柴盒大小的模块中,有的甚至更小,PicoRadio 项目曾提出无线传感器网络节点的理想目标是:体积小于  $1\text{ cm}^3$ ,重量小于  $100\text{ g}$ ,成本低于 1 美元。

由此可知,无线传感器网络有着与传统网络截然不同的特点:

(1) 规模大,节点密集。通常情况下,无线传感器网络大规模、高冗余地部署节点,以通过节点数量换取网络的服务质量和可靠性,节点数量可能达到成百上千,甚至更多,这就要求网络的相关算法必须具备良好的可扩展性。

(2) 节点体积小、成本低。上文已述,无线传感器网络节点的体积一般很小,这是无线传感器网络满足大量实际应用的重要前提,这使得无线传感器网络节点的硬件结构较为简单,在大批量生产的情况下,节点的制作成本也较低。

(3) 节点部署容易。通常情况下,无线传感器网络节点是随机部署的(特殊的应用需求除外),对节点的具体位置并不需要作预先规定,而只需知道部署后的节点的位置即可。

(4) 节点能源受限。无线传感器网络往往被部署在条件比较恶劣、网络使用者难以到达的地方,比如军事要地、危险山区等。网络节点一旦部署完毕,网络使用者将无法再为节点更换电池,而只能通过各种方式降低网络能耗,延长网络生命周期。

(5) 计算、存储能力受限。上文已述,无线传感器网络节点的计算、存储能力由于节点的体积、成本、能量等受限而受限。

(6) 通信能力受限。一方面,如上文所述,由于节点的体积、成本以及能量等受限的原因,节点的通信距离也较小;另一方面,由于节点被部署在条件恶劣的地方,往往节点与节点之间存在着山体、河流、建筑等障碍物,因此,节点与节点之间虽然物理距离较近,但仍然可能无法直接通信。



(7) 网络动态变化。一方面,通常情况下,网络节点一旦被部署,将无法移动,但随着网络的运行,节点的能量将越来越小直至死亡,因此,为了提高网络的服务质量,可能需要不断地补充新的节点,故网络是动态变化的。另一方面,部分网络应用中的节点具有移动的能力,网络同样动态变化。因此,网络的算法应满足网络的动态性。

(8) 网络的自组织性。无线传感器网络节点既可能通过单跳的方式也可能通过多跳的方式将自己监测所得信息发送给 sink 节点,在多跳方式中,节点可以通过一定的竞争方式当选为簇首,其他普通节点可以根据自己与各个簇首的距离、簇首的剩余能量等等参数来选择自己的下一跳簇首。在网络整体运行过程中,网络都是自组织的。

另外,不同的应用环境对网络的具体需求也不尽相同,不同的算法设计需要针对不同的网络需求进行。本书正是在这种背景下展开对不同网络模型下的无线传感器网络的时间同步算法、冗余节点调度算法、网络覆盖空洞修复算法以及路由算法进行研究,从而有效延长具体模型下的无线传感器网络的生命周期。

## 1.2 国内外研究现状

### 1.2.1 无线传感器网络的节点能耗分析

当前,对无线传感器网络的生命周期存在多种不同的定义方法,总的来说,可归结为三类:(1)将第一个死亡的无线传感器网络节点的生命周期定义为网络的生命周期;(2)当网络中存活节点的数量占网络所有节点的比例低于某一阈值时,则认为整个网络死亡,从网络开始运行至网络死亡的整个周期即为网络的生命周期;(3)当网络覆盖率低于某一阈值,或不能再完成某项任务的时候,则认为其死亡。不管采用哪种定义方法,都不影响延长网络生命周期的措施的制定。在具体分析延长无线传感器网络生命周期的措施之前,首先需要对节点的能耗来源进行分析。

#### 1. 感知单元

正如图 1.2 所示,感知单元的能耗主要来源于前端传感器和模数转换模块。传感器