

一种基于无线传感器网络的动态拓扑能量有效成簇增量算法

崔永锋, 刘 伟

(周口师范学院 计算机科学与技术学院, 河南 周口 466001)

摘 要: 研究无线传感器网络能耗降低问题, 在自适应分簇路由算法 LEACH 等路由协议基础上, 提出了一个基于无线传感器网络的动态拓扑能量有效成簇增量算法 DTECI, 在传统算法的基础上, 引入能量因子进行低复杂度簇头选择, 借助部分节点移动的拓扑动态的网络, 在数据传输上通过多跳方式进行信息路由的选择, 以便实现无线传感器网络能耗降低. 实验结果表明改进后的算法相对于传统的 LEACH 算法, 能有效的减少网络节点能量的损耗, 在网络生命周期上得到了很大的提高, 具有一定的实际应用价值.

关键词: 无线传感器; 动态拓扑; 能量因子; 多跳; 数据传输; 传感器节点

中图分类号: TN402

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)12-0151-05

A Dynamic Topology Energy Efficient Clustering Incremental Algorithm Based on Wireless Sensor Network

CUI Yong-feng, LIU Wei

(Department of Computer Science and Technology, Zhoukou Normal University, Zhoukou 466001, China)

Abstract: Research the energy consumption of wireless sensor networks. The paper puts forward a dynamic topology energy efficient clustering incremental algorithm. The algorithm uses the introduction of the energy factor of low complexity cluster head selection method, with some nodes move dynamic network topology, on data transmission through multi-hop route selection information in order to reduce energy consumption of wireless sensor networks. The experimental results show that the proposed algorithm with respect to LEACH algorithm can effectively reduce the energy loss of the network nodes and in the network life cycle has been greatly improved.

Key words: Wireless sensors; dynamic topology; energy factor; multi-hop; data transmission; the sensor node

1 引言

无线传感器网络 (Wireless Sensor Network, WSN) 是由大量的静止或移动的传感器构成的无线网络, 它是以自组织和多跳的方式进行工作的, 并且以协作地感知、采集、处理和传输对象信息, 这些信息是网络覆盖地理区域内被感知的信息, 这些信息最终要发送给网络所有者, 它是一个通过射频通信形成的一个自组织网络系统. 它通过对被监测对象目标信息的感知, 获取和处理, 提供给管理者以有用的信息, 能广泛地应用在航空、防爆、环境、医疗、保

健、家居、工业、军事预警以及防洪救灾等领域^[1-5].

WSN 与移动 Ad Hoc 网络 (MANET) 是有很大的区别的, 它们的通信方式、通信目的和网络拓扑很不相同, 尤其在能量来源方面, WSN 是采用电池供电, 路由算法对传感器网络的存活周期起着重要的影响, 所以移动 Ad Hoc 网络的路由协议不能完全适应于 WSN, 需要单独研究适合于无线传感器网络的通信协议, 本文提出的动态拓扑能量有效成簇增量算法, 有效地改善了这个问题, 并取得了良好的实验效果^[6-12].

收稿日期: 2013-03-26; **修回日期:** 2013-05-30

基金项目: 河南省重点科技攻关项目 (102102210265); 河南省基础与前沿研究项目 (132300410400); 河南省信息技术教育研究规划项目 (ITE12064)

2 动态拓扑能量有效成簇增量算法的提出

2.1 算法描述

针对当前层次路由协议中存在的各种问题,提出了适用于 WSN 的动态拓扑能量有效成簇算法 (DTECI). 此算法引入基于能量因子的低复杂度的簇头选择机制,同时通过协议的设计使其支持节点部分离去或有新节点加入的拓扑动态传感器网络. WSN 是由传感器节点、汇聚节点和管理节点构成的三级网络系统结构如图 1 所示,在这个体系中,算法在簇间数据传输上通过多跳算法使数据以最优路径传向汇聚节点,系统能耗很小,网络的生命周期最大化^[12-16].

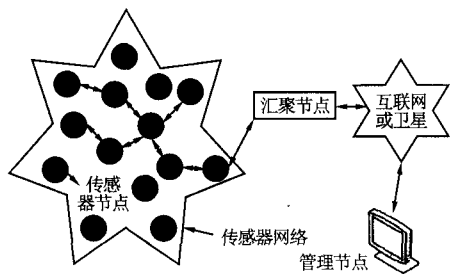


图 1 无线传感器网络体系结构

2.2 网络模型

假设传感器节点随机分布在一个矩形监测二维空间中,并且该传感器网络具有下述特点:

(1) 在这个无线网络中,所有的网络传感器节点都具有相同的性质,一方面这些传感器节点均匀的分布在物理空间内;另一方面,传感器节点部署很密集,避免盲区的出现. 另外,这些传感器节点的采用电池供电,原始能量相同,并且能量是一个定值.

(2) 传感器节点的发送功率不是连续的,可以进行离散性的控制,发送功率的调控与距离有关,距离远则发送功率大;反之则小.

(3) 在图 1 中,汇聚节点功能强大、能量充足、存储容量大以及计算能力强,还具有很好的扩展性和高度的灵活性,拥有统一完整的外部接口,汇聚节点硬件结构如图 2 所示,它的无线信号可以覆盖整个传感器网络所在的区域.

(4) 传感器网络部署之后,会出现部分节点随着时间的推移而移动;

(5) 传感器节点具有数据汇聚功能. 常分为三级:数据级汇聚,特征级汇聚和决策级汇聚.

(6) 在采集数据的过程中,物理位置上相近的无线网络节点,它们所收集的数据具有很大程度的相关性.

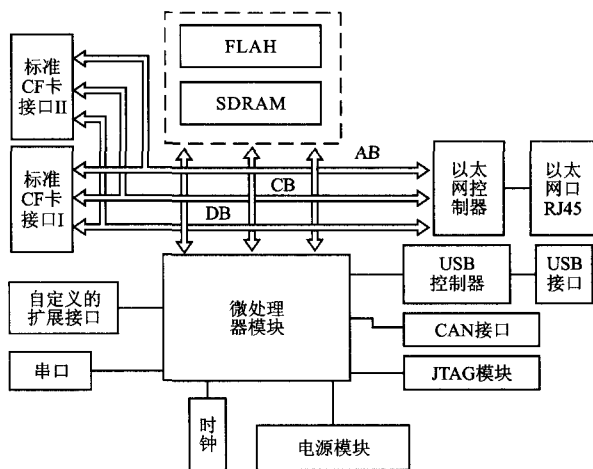


图 2 汇聚节点硬件框图

2.3 能量模型

在无线网络传输中,由于距离的增加,信号会越来越弱,并且这种减弱的方式,经研究发现,是呈指数递减的.

本文设定了能量模型. 该模型给出了一个阈值 d_0 , d_0 是一个常数,数值由使用的环境决定,当发送节点与接收节点的距离比 d_0 小时,发送节点发送数据的能量损耗与 d^2 (d 表示距离) 成正比,否则与 d^4 成正比. 上述两种能量衰减模型分别是自由空间模型和多径衰减模型.

发送数据时,发送端消耗能量公式如下:

$$\begin{aligned} E_{Tx}(l, d) &= E_{Tx-elec}(l) + E_{Tx-amp}(l, d) \\ &= lE_{elec} + \epsilon fsd^2 \\ &\quad d < d_0 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} E_{Tx}(l, d) &= E_{Tx-elec}(l) + E_{Tx-amp}(l, d) \\ &= lE_{elec} + \epsilon fsd^2 \\ &\quad \geq d_0 \end{aligned} \quad (2)$$

式中, d 表示距离, l 表示发送长度.

同时,在接收端用于接收 l 位长度的数据所消耗的能量为

$$E_{Rx}(l) = E_{Rx-elec}(l) = lE_{elec} \quad (3)$$

2.4 成簇策略

在该算法成簇策略中,是以轮为形式周期进行的,但在簇头选举引入了能量因子,同时第一轮和以后轮的算法过程是不同的,从第二轮开始在成簇阶段可以不用计算公式,相比 LEACH 及一些改进算法需要计算复杂公式的开销,降低了复杂度,使簇头选举能量开销最低,成簇过程中采用的非均匀成簇方法更是使网络能量分布更加均衡.

簇内单跳,簇间多跳的数据传输,因此离 Sink 节点远的簇头节点,数据转发量越少,能量消耗的

慢;而离 Sink 节点越近的簇头,其所承担的数据转发业务越多,消耗能量越大,所以更容易出现能量耗尽而死亡的情况.为此,本文抛弃了传统算法中采用的均匀分簇的方法,而是采用非均匀成簇的策略.使离 Sink 节点越近的簇,其规模越小一些,从而这些簇其簇内路由及数据融合开销小,又因为其所承担的簇头间数据转发开销多,综合起来无论离 Sink 远还是近的簇头都将能量相对均衡消耗,网络生命周期得以最大化.

非均匀分簇的实现过程是这样的:首先, Sink 节点向网络所在区域广播一个 NOTICE 报文,网络中所有节点根据接收到的此报文能量强度信息确定自己与 Sink 节点的距离 $d(i)$. 根据监测区域范围、传感器节点个数以及能量自由空间模型确定网络分层数 n ,然后,本文采用文献[14]中的均匀分层的方法,各节点所在的层号 i 用下面公式表示:

$$i = \frac{d(i) * n}{R} \quad (4)$$

式中, R 为监测区域半径. 因为靠近 Sink 节点的簇规模小,簇内节点少,也就是所在不同层次的节点成为簇头的概率不一样,各节点成为簇头的最佳概率用下面公式表示:

$$p_i = \frac{p}{i * i} \quad (5)$$

式中, p 是第一层节点变成簇头的概率. 第一轮循环需要将传感区域进行划分,以后的循环过程不用再划分.

3 算法实现

3.1 簇头选择

开始第一轮的选举,各节点产生一个随机数 $r(n)$,并与 $T(n)$ 进行比较,若 $r(n)$ 小于 $T(n)$,则节点自选举成为簇头.

$$T(n) = \begin{cases} p_i & n \in G \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

G 为这一轮循环中未成为簇首的节点的集合. 当节点成为簇头后,以适当的半径 RC 广播簇头加入消息,周围的节点根据接收信号强度决定加入哪个簇并发送一个请求加入消息.之后簇头在接收到相关节点的请求加入消息后,建立 TDMA 调度表并广播出去.簇内节点在收到此消息后,在属于自己的时隙内打开无线电模块开始数据传送,在其他不属于自己的时隙内关掉通信功能以最大限度节省能量.在簇内节点向簇头发送数据报文时,在其中加入

一个本节点此刻剩余能量的数据信息,供之后算法使用.

第二轮及以后轮的簇头产生过程中,首先是上一轮的旧簇头对收到各节点报文中含有的各节点能量信息及自己的剩余能量进行比较,从中选出剩余能量最大的节点为新簇头,之后旧簇头以半径 RC 发出 new_CH 报文,报文中包括报文类型及新簇头的 ID,当指定的新簇头收到此报文后发现 ID 与之相匹配,就广播簇头加入报文,其余节点再根据接收信号强度决定加入哪个簇头,之后过程与第一轮相同.但在实际应用中,网络节点有可能意外被移动了,或者出故障死亡了,这样指定的新簇头就可能不存在了,从而这一簇范围内节点由于没收到簇头加入报文就会整体停止工作,使网络出现死区.

考虑此方面,本文设定旧簇头节点在一定的时间阈值内若没有指定的新节点发来的簇头加入报文,它就确认指定的新节点被意味移动走了,从而它指定剩余能量第二多的节点为新节点,并发送新的 new_CH 报文.这样新算法就支持了部分节点移动或者有新节点加入的动态拓扑的网络.

同时本文设计所有节点在任一轮循环中,从收到簇头加入报文或 new_CH 报文开始,启动一个计时器 Timer,若在最大时限 T_{max} 内没有收到新的簇头加入报文或 new_CH 报文,则启动从第一轮开始新的簇头选择过程,相对于大多数算法只支持静态网络,本文的算法支持了小范围地理位置变动的传感器网络.

3.2 数据传输

在传感器网络中,簇内数据传输为单跳的,在簇首和各成员节点之间进行,而对于簇头到 Sink 节点的数据传输,LEACH 算法及部分改进算法是采用簇头到汇聚节点的单跳传输,这种方法使簇头使用了多径衰落的通信模型,能量消耗很大,本文采用基于距离因子的多跳传输方式.由于采用多跳通信,能量消耗为自由空间模型,而且消息在传送过程中进行了多次数据融合,使各级数据转发中的数据量都有所减少,也减少了通信能耗.

网络所有节点都存储有根据接收到 Sink 节点的信号确定的自己到 Sink 的距离值,这一距离值在第一轮成簇前就已确定,称之为距离因子.当每个簇的簇内数据融合进行之后,就会开始各簇到 Sink 的多跳数据传输.

首先,发送数据的簇头以确定的半径 RD 发送出消息,消息报文中还包含了此簇头的距离因子,周

围的簇头收到消息后,各簇头将些距离因子与自己的进行比较,若发现其距离因子小于报文中的距离因子,且自己的剩余能量值不低于簇间传输所需的最小能量阈值 E_{min} 后,确定自己将此数据进行转发,将消息报文中的距离因子替换为其距离因子后以半径 RD 继续转发,之后传输过程相似.由于转发消息的簇头的距离因子小,从而其离 Sink 节点更近,这样消息报文在簇间就以多跳的最优路径传向了汇聚节点.传输能量开销得以最小化.

4 实验

本文实验过程中,采用的是文献[11]中所用的通信能耗模型.并设置如下参数:区域大小为 $200\text{ m} \times 200\text{ m}$,设置 200 个传感器节点,这每个节点能量的初始值为 $E_{max}=0.6\text{ J}$;基站位于 $(55; 160)$,假定基站的能量是无限制的;初始簇头概率为 $P=0.06$,权重引导因子 $\alpha=1.5$,实验中假定每个节点发出的数据包都能顺利传输,由于整个网络时序由主站统一控制,因此能保证不会出现访问冲突.实验中,网络内传感器节点的分布状态如图 3 所示.

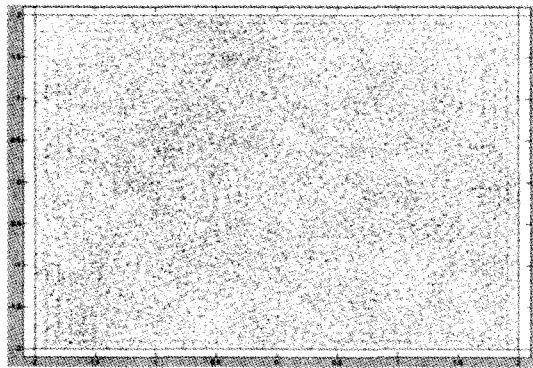


图 3 节点随机分布图

实验中比较了本文算法 DTECI 与 LEACH 算法,剩余节点存活情况随时间的变化,结果如图 4 所示.

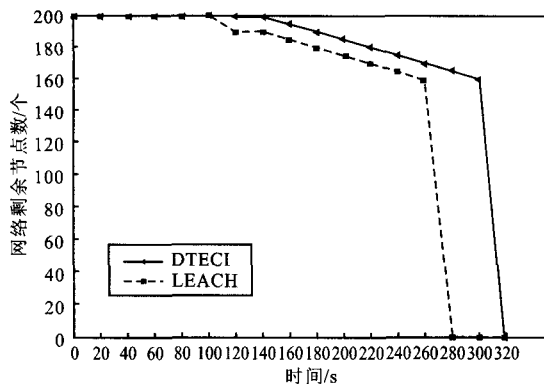


图 4 无线网络中剩余节点随时间分布图

从图可以看出,节点的能量会随着时间的推移逐渐减少,故各个区内随时间变化的节点数目是不同的.图 4 中对两种算法在不同时段仍然存活的节点个数进行了比较.首先,LEACH 算法从 120 秒就开始出现节点死亡,而 DTECI 算法是从 140 多秒时才开始出现节点死亡.从节点存活数目图可以看出,在 280 s 左右,LEACH 算法的存活节点数已经为 0,而 DTECI 算法仍有大量节点能量并未耗尽,直到 320 s 左右,DTECI 算法的节点才全部死亡,所以 DTECI 算法中节点的生命周期比 LEACH 提高了很多,可以看出,DTECI 算法由于采用多跳的路由方式,网络生命周期得到了一定程度的延长.

感知节点分布优化中覆盖度的变化特性试验结果如图 5 所示,从图中可以看出,在不同阶段的变化中,DTECI 算法优化性能比 LEACH 算法性能要强很多,而且稳定性方面也更优秀.

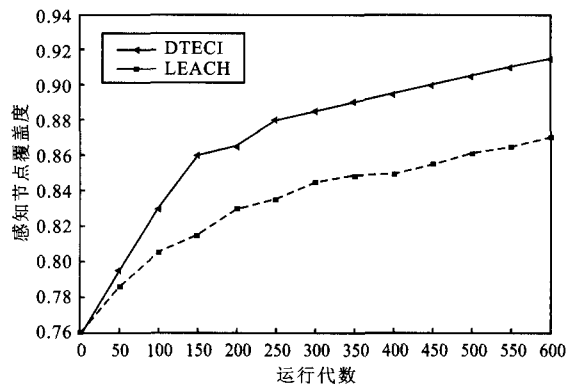


图 5 节点分布优化中的覆盖度特性

在相同的区域 D 内任意投入不同数目的节点,考察节点覆盖度的分布状态,保证感知参数不变,每次随机投放 60 次记录其结果并取平均值,得到不同节点分布密度下感知网络的覆盖度曲线如图 6 所示.

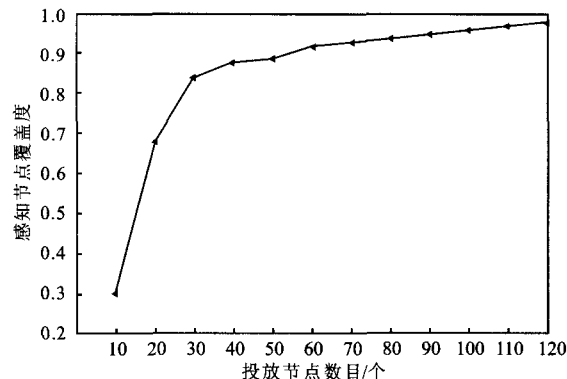


图 6 不同节点分布密度下感知网络的覆盖度曲线

从图 6 中可以看出,在随机投放模型下,想要达到 90 % 的覆盖度,需要至少超过 60 个节点数目;

而应用本文算法对节点分布进行优化则需要 12 个节点就可以达到所需要的覆盖度。

5 结束语

本文分析了 WSN 层次型结构中汇聚节点的特性,引入能量因子的低复杂度簇头选择方法,并在 WSN 平台中得到应用,改善了无线网络节点的能量损耗,对研究 WSN 具有很好的应用价值。

本文通过采用引入能量因子的低复杂度簇头选择算法降低了网络通信能耗,在数据传输上通过多跳方式进行信息路由。实验结果表明,改进后的 DT-ECI 协议能更好地平衡网络负载、节约能量消耗且具有更高的能量使用效率,对分簇算法的路由协议实现了优化。在实际应用中,有一定的价值。

参考文献:

- [1] Shihong Duan, Yadong Wan, Zhiqiang Guo, et al. RAAH: reliability aware adaptive hopping scheme on time-varying channel model in WSN[J]. JCIT, 2013, 8(1): 16-25.
- [2] 付华,韩爽等. 基于新量子遗传算法的无线传感器网络感知节点的分布优化[J]. 传感技术学报, 2012, 7(21): 1260-1264.
- [3] Zhenjun Luo, Yingjiang Zhang, Zhangfan Pang. Research on energy-efficient intelligent method for WSN[J]. JCIT, 2013, 8(1): 94-102.
- [4] Tang Wenliang, Yan Liping. Research of WSN-based safety monitoring system for middle-and-small sized dams[J]. JDCTA, 2013, 7(1): 838-845.
- [5] 平安,龚钢军,刘向军. 无线传感器网络的能量估计路由算法[J]. 计算机仿真, 2013, 8(30): 285-288.
- [6] 杨志义,张要伟,李志刚,等. 无线传感器网络汇聚节点的研究与实现[J]. 计算机工程, 2008, 34(14): 194-197.
- [7] Wang Hai-jun. A cooperative transmission theory based on distributed two-hop and two relay system[J]. AISS, 2012, 4(23): 735-741.
- [8] Zhenquan Qin, Weifeng Sun, Huizhen Jiang, et al. A node-priority based coordinating MAC protocol in MANET[J]. JCIT, 2013, 8(3): 108-116.
- [9] 刘涛,程宏兵. 安全定向扩散路由协议与无线传感器网络安全[J]. 科技通报, 201, 4(29): 47-49.
- [10] ZHAO Xi. Study on simulation of wireless mobile ad Hoc networks based on the NS2[J]. JCIT, 2013, 8(7): 723-730.
- [11] LE-Le Qiu, Yan-jun Hu, Yi Wang, et al. A novel multi-media transmission method base on quantized compressive sensing for wireless sensor network[J]. IJACT, 2013, 5(1): 496-504.
- [12] Xiaotie Qin, Yuesheng Gu, Xiaorong Wang, et al. A comprehensive smart home networking system[J]. AISS, 2013, 5(3): 708-716.
- [13] 李长庚,谭鹏飞. 一种半径自适应成簇多跳传感器网络路由算法[J]. 信息与控制, 2012, 37(16): 642-647.
- [14] Oh Seung Hyun, Tran Thi Minh Khoa. A comparative analysis of similarity functions of data aggregation for underwater wireless sensor networks[J]. JDCTA, 2013, 7(2): 830-837.
- [15] Zhi Chuan. A new MAC protocol based on adaptive energy-efficient for wireless sensor networks[J]. JDC-TA, 7(3): 119-126, 201.
- [16] Zhi Chuan. A new MAC protocol based on adaptive energy-efficient for wireless sensor networks[J]. JDC-TA, 7(3): 119-126.

作者简介:

崔永锋 男, (1978—), 副教授, 硕士. 研究方向为计算机应用技术、工程优化算法。

刘伟 男, (1975—), 副教授, 硕士. 研究方向为计算机网络技术。