

具有单跳与多跳路由选择功能的层次路由协议

胡 荣¹, 杨 春², 何 军³, 李 奇²

(1 四川师范大学 计算机科学学院, 四川 成都 610068; 2 四川师范大学 四川省计算机软件重点实验室, 四川 成都 610068;
3 四川大学 计算机学院, 四川 成都 610065)

摘 要: 分析了层次路由协议中聚类内部以及聚类之间单跳与多跳路径的能量消耗情况. 提出了一种混合路由方案, 节点自主地根据剩余能量, 与邻居节点的距离, 以及当选首领的总时间来竞争聚首, 同时为了减小节点远距离通信带来的能量开销, 无论是在聚类内部还是聚类之间, 节点在数据传输阶段均遵循单跳与多跳路由的选择规则. 通过和 LEACH, DEEG 协议对比实验, 结果表明新路由方案不仅均衡了聚类负载, 还增加了数据收集次数, 有效提高了传感器节点的利用率.

关键词: 无线传感器网络; 单跳路由; 多跳路由; 选择

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)11-0033-04

Hierarchical Routing Protocol with a Selection of Single-hop or Multi-hop

HU Rong¹, YANG Chun², HE Jun³, LI Qi²

(1 College of Computer Science, Sichuan Normal University, Chengdu 610068, China;

2 Key Laboratory of Sichuan Province, Sichuan Normal University, Chengdu 610068, China;

3 School of Computer, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: Through analyzing the energy dissipation of single-hop and multi-hop path within as well as between clusters in the hierarchical routing protocol, a hybrid routing method was proposed. Nodes compete for cluster head autonomously according to residual energy, the distances with neighbor nodes and total time of being the elected head. Meanwhile, in order to reduce energy cost of telecommunication, nodes are all followed the selection rules of single-hop and multi-hop routing during data transmission step whether in the internal clusters or between them. By the compared experiment with LEACH and DEEG, the results show that this new routing method not only balanced the cluster load, but also increased the times of data collection and improved the utilization of sensor nodes effectively.

Key words: wireless sensor network; single-hop; multi-hop; selection

1 引言

无线传感器网络^[1] (WSN) 通常运行在人无法接近的远程环境中, 能源无法替代, 因此设计高效节能的路由协议来延长网络的生命周期成为目前 WSN 研究中的热点问题. 从研究方向可划分为分布式路由协议和基于聚类的层次路由协议. 其中层次

路由协议采用分簇机制形成处理和转发数据的骨干网, 聚类首领能对通信资源进行优化管理, 具有很好的扩充性. 目前, 文献提出的一些路由算法^[2-5] 均以节省能量消耗为目的. 有的采用单跳路由^[2], 有的采用多跳路由^[3], 但都没有具体分析单跳与多跳路由分别在何种情况下使用能达到最优以节省传感器节点的能量.

收稿日期: 2009-09-11; 修回日期: 2009-11-11

基金项目: 国家科技部“八六三”计划项目(2008AA01Z208); 四川省科技厅基金项目(2007H12-010); 四川省计算机软件重点实验室(08JSU002); 四川省青年基金项目(2009-28-419)

本文分析了无线传感器网络单跳与多跳路由的能量消耗情况,提出了具有单跳与多跳路由选择功能的层次路由协议(Selection of single-hop or multi-hop in level routing protocol, SSMRP). 可实现延长整个网络生命周期的目的.

2 能量消耗模型

层次路由协议按数据收集周期(以下称为一轮)执行,每一轮由2个阶段组成:(1)聚类生成. 选举聚类首领,普通节点按某种策略选择合适的聚类加入;(2)数据路由. 发送 k bits 信息至距离为 d 的节点,能耗如式(1)所示;接收 k bits 信息的能耗,如式(2)所示;压缩融合 k bits 信息的能耗,如式(3)所示. 限于篇幅,参数含义见文献[6].

$$E_{\text{send}}(k) = \begin{cases} kE_{\text{elec}} + k\epsilon_{\text{fs}}d_{\text{next_hop}}^2, & d_{\text{next_hop}} < d_0 \\ kE_{\text{elec}} + k\epsilon_{\text{amp}}d_{\text{next_hop}}^4, & d_{\text{next_hop}} > d_0 \end{cases} \quad (1)$$

$$E_{\text{Rec}}(k) = kE_{\text{elec}} \quad (2)$$

$$E_{\text{C}_I}(k) = kE_{\text{fuse}} \quad (3)$$

3 单跳与多跳的能量消耗

3.1 单跳与多跳路径模式

图1描述了聚类内部单跳与多跳路由的情况. 真实环境中节点通信是双向且是多路径的,所以成员节点 d 除了可以直接把消息路由至 CH 外,还可通过 $d \rightarrow c \rightarrow \text{CH}$,甚至是 $d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow \text{CH}$ 的路径到达目的地. 显然,由图中节点的位置可看出,后两种路由采用的是多跳路径. 不仅成员节点与首领节点间的通信距离增加了,而且多跳路径比单跳路径在能耗上还多了节点融合数据所消耗的能量这一项,最终增加了整个聚类的能量消耗. 节点 c 和节点 b 是多跳路径中的中继节点. 图2描述了聚类之间单跳与多跳路由的情况,距离基站较远的首领节点,通过将收集的数据发往邻近的首领节点而不是相距很远的基站,可以减少单个首领的能耗,平衡 WSN 中各个首领的能量负载,尤其能避免某些首领节点因为远距离传输数据至基站而导致过早死亡的情况. 但同样存在如聚类内部出现的路由问题,例如,距离基站较近的首领节点 D 可直接路由信息至基站,还可以通过 $D \rightarrow B \rightarrow \text{BS}$,甚至是 $D \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow F \rightarrow \text{BS}$ 的路径到达目的地. 这样的多跳路径,显然增加了首领节点的能耗负载.

3.2 能量消耗分析

为了节省能量,聚类内部的单跳和多跳通信能

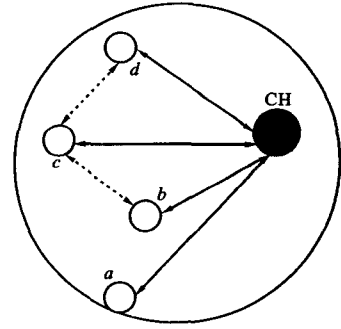


图1 聚类内部单跳与多跳

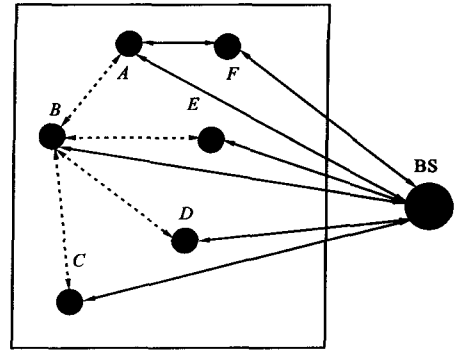


图2 聚类之间单跳与多跳

耗以及聚类首领间的多跳通信能耗应满足自由空间模型,而首领节点到基站的通信能耗应满足多路径衰减模型. 根据式(1)~式(3),单跳和多跳的能耗情况可分别表示为

$$E_{\text{s_hop}}(k) = E_{\text{send}}(k) \quad (4)$$

$$E_{\text{m_hop}}(k) = E_{\text{Rec}}(k) + E_{\text{C}_I} + E_{\text{send}}(k) \quad (5)$$

聚类内部成员节点单跳与多跳的能量消耗:

$$E_{\text{s_hop1}}(k) = E_{\text{send}}(k) = kE_{\text{elec}} + k\epsilon_{\text{fs}}d_{\text{next_hop}}^2 \quad (6)$$

$$E_{\text{m_hop1}}(k) = kE_{\text{elec}} + kE_{\text{fuse}} + ckE_{\text{elec}} + ck\epsilon_{\text{fs}}d_{\text{next_hop}}^2 \quad (7)$$

聚类首领节点通信若采用单跳方式直接路由信息至基站,能耗如式(8)所示,若是多跳方式,能耗如式(9)所示:

$$E_{\text{s_hop2}}(k) = kE_{\text{elec}} + kE_{\text{fuse}} + ckE_{\text{elec}} + ck\epsilon_{\text{amp}}d_{\text{next_hop}}^4 \quad (8)$$

$$E_{\text{m_hop2}}(k) = kE_{\text{elec}} + kE_{\text{fuse}} + ckE_{\text{elec}} + ck\epsilon_{\text{fs}}d_{\text{next_hop}}^2 \quad (9)$$

c 为数据的压缩或融合比率(表示数据压缩或融合后与压缩或融合前的比值). 文中取 $c = 1$, 即

$$E_{\text{m_hop1}}(k) = E_{\text{m_hop2}}(k) = 2kE_{\text{elec}} + kE_{\text{fuse}} + k\epsilon_{\text{fs}}d_{\text{next_hop}}^2 \quad (10)$$

$$E_{s_hop2}(k) = 2kE_{elec} + kE_{fuse} + k\epsilon_{amp}d_{next_hop}^4 \quad (11)$$

4 路由协议 SSMRP 过程

SSMRP 的思想过程:聚类生成阶段,将节点的剩余能量,与邻居节点的距离,以及当选首领的总时间这三个部分进行数值正规化,节点计算它们的加权平均值作为该节点当选聚类首领的阈值;首领产生后,普通节点根据距离远近选择加入聚类;计算单跳与多跳路由的能耗代价,产生并记录节点的下一跳路由节点;数据传输阶段按每一个节点的下一跳路由路径传送信息,循环执行数据收集任务。

阶段 1:每个节点生成一个 0 到 1 之间的随机数,若该随机数小于 P ,此节点成为首领节点。首领节点以 $R(<1/2d_0)$ 为半径广播自己成为首领的消息。普通节点根据接收到的信号强弱选择加入聚类。 $P(i)$ 的产生如下所示:

$$P(i) = w_1 * E_c(i) + w_2 \left(\sum_{v \in N(i)} \text{dist}(i, v) \right) + w_3 T(i) \quad (12)$$

式中, W_1, W_2, W_3 是权重因子, $E_c(i)$ 表示节点的剩余能量, $N(i)$ 是节点 i 的邻居节点集合, $\text{dist}(i, v)$ 表示节点 i 和邻居节点 v 的距离, $T(i)$ 是节点 i 当选首领的总时间。

阶段 2:聚类生成以后,依据下列规则,为每一个节点(首领节点和成员节点)确定下一跳节点。具体算法如下所示:

设 E_{S-E} 为节点 S 到节点 E 的能耗, E_{S-DH} 为节点 S 到首领 CH 的能耗, E_{E-DH} 为节点 E 到首领 CH 的能耗,均能由式(6)、式(10) 计算得出。则节点 S 的下一跳节点 E 必须同时满足两个条件:(1) 下一跳节点的能量 E_E 大于当前节点的能量 E_S ; (2) $E_{S-E} + E_{E-DH} < E_{S-DH}$ 。这样即使距离首领较远的节点也不会过度地消耗能量,同时又避免了距离首领较近的节点过多地充当中继节点而较早死亡,有利于聚类能耗均衡。聚类之间首领节点的下一跳路由选择规则和聚类内部的算法规则近似,其中,首领间的单跳与多跳能耗由式(10)、式(11) 计算得出。

一定时间以后,聚类首领向所有成员广播 TDMA 通信时隙分配表。聚类成员按照分配好的 TDMA 时隙,在某个时刻将自己监测到的数据发送给首领。首领接收成员节点发送过来的数据之后,进行数据融合,然后通过之前确定的下一跳节点(首领

或基站)把数据发送出去。

5 仿真实验

为了验证文中算法的性能,在大型仿真工具 OMNET++^[7] 上进行仿真。覆盖区域为(0,0)至(300,300)。无线通信方面的设置与文献[6]保持一致。实验 1 中,基站的位置为(150,350)。实验 2 中,传感器节点数目为 300,并假设每轮中所有节点收集环境数据的次数是一致的,实验中设置为 4。令 $w_1 = w_2 = 0.4, w_3 = 0.2$ 。三种算法的生命周期如图 3 所示。三种算法数据收集总量如图 4 所示。由实验结果图可看出,新算法无论是在生命周期方面的性能还是数据收集总量方面的性能均优于传统的 LEACH 协议和 DEEG 协议。

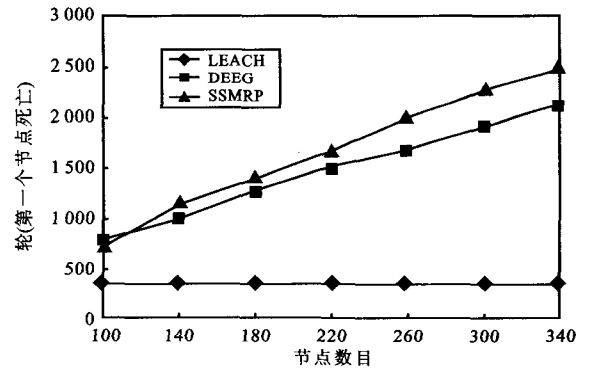


图3 节点数量与网络规模关系图

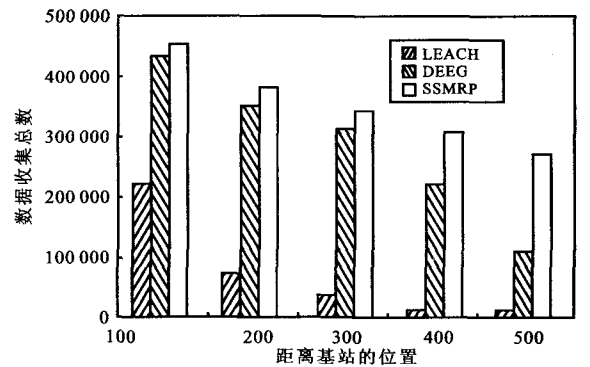


图4 传感器网络数据收集数量图

6 结束语

本文提出的 SSMRP 协议通过计算得出每一个节点的下一跳路由更能节省能量。该算法为节省 WSN 的能量和高效的数据传输提供了良好的支撑平台,并最终能实现延长网络生命周期的目的。

参考文献:

- [1] Romer K, Mattern F. The design space of wireless sensor

- networks[J]. IEEE Wireless Communications, 2004, 11(6):54-61.
- [2] Ye Mao, Li Chengfa, Chen Guihai, et al. EECS: An energy efficient clustering scheme in wireless sensor networks [C]// Proc. of the IEEE Int'l Performance Computing and Communications Conf. New York: IEEE Press, 2005:535-540.
- [3] 朱子健,赵广社,苏丽芳,等. WSN 非对称集中式能量有效路由算法[J]. 计算机工程, 2009, 35(3):155-157.
- [4] 姚仲欢,王高才,孙野,等. 传感器网络中基于最短路径树的低延时节能路由算法[J]. 微电子学与计算机, 2007, 24(9):174-177.
- [5] 殷新春,徐力杰. WSN 中一种基于数据融合的能量高效分簇路由协议[J]. 微电子学与计算机, 2007, 24(9):116-119.
- [6] Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. An application-specific protocol architecture for wireless micro sensor networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2002, 1(4):660-669.
- [7] Xian XD, Shi WR, He H. Comparison of OMNET++ and other simulator for WSN simulation[J]. IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, 2008:1439-1443.

作者简介:

胡 荣 女, (1985-), 硕士研究生. 研究方向为计算机网络.

杨 春 男, (1970-), 博士, 教授. 研究方向为信息安全、分布式计算、并行计算.

何 军 男, (1970-), 博士, 副教授. 研究方向为无线网络、分布式计算.

李 奇 高级工程师.

(上接第 32 页)

- [2] 张兵,汤清华. 基于 DSP 的数字正交解调器的设计与实现[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(7):32-35.
- [3] Robertson G H. A fast amplitude approximation for quadrature pairs[J]. The Bell System Technical Journal, 1971(50):2849-2852.
- [4] Charles Abraham. Method and apparatus for performing signal correlation[P]. US Patent, US6891880, 2005.
- [5] Intersil Corp. HSP50110 digital quadrature tuner data sheet[P]. File Number 3651.6, 2001.
- [6] Adams W, Brady J. Magnitude approximation for microprocessor implementation[J]. IEEE Micro, 1983, 3(5):27-31.
- [7] Richard G L. Understanding digital signal processing[M]. 2nd ed. NJ: Prentice-Hall, 2004:481-482.
- [8] Levitt B K, Morris G A. An improved digital algorithm for fast amplitude approximation of quadrature pairs[R]. The Deep Space Network Progress Report, DSN PR 42-40, 1977:97-101.

作者简介:

何文涛 男, (1982-), 博士研究生. 研究方向为卫星导航接收机信号处理算法、超大规模集成电路设计.

徐建华 男, (1963-), 博士生导师. 研究方向为嵌入式软件、无线通讯系统、定位系统及算法.

叶甜春 男, (1965-), 博士生导师. 研究方向为集成电路设计与应用、纳米加工与制造技术、新型器件.