

一种基于 LEACH 的高效路由协议*

杨 珍¹, 谢建平², 卢 强¹, 张 健¹

(1. 浙江工业大学 信息工程学院, 浙江 杭州 310023; 2. 丽水学院 信息工程学院, 浙江 丽水 323000)

摘要:为解决无线传感器网络路由协议研究中降低单个节点能耗, 延长网络生存期等问题, 在分析传统的 LEACH 算法基础上, 针对簇头选举、簇形成过程两个问题加以改进, 设计了一种基于 LEACH 的高效路由协议。依据节点的剩余能量、离基站的距离等因素产生簇头; 依据普通节点到簇头的距离、簇头到基站的距离等因素成簇。研究表明, 改进算法在降低节点能耗、延长网络生存期等性能方面有明显的提升。

关键词:无线传感器网络; 分簇路由; LEACH; 网络生存期

中图分类号:TP393.04; TN915.04

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)08-0970-05

Efficient routing protocol based on LEACH

YANG Zhen¹, XIE Jian-ping², LU Qiang¹, ZHANG Jian¹

(1. College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China;

2. College of Information Engineering, Lishui University, Lishui 323000, China)

Abstract: In order to solve the problems of reducing the network energy consumption and improving the lifetime in the study of the routing of wireless sensor networks, in the analysis of the traditional algorithm based on LEACH, aiming at cluster-head election and cluster forming, an efficient routing protocol was proposed. In cluster-head election, the nodes consider the remaining energy of the nodes and the distance from the base station as the main factors; while forming cluster ordinary nodes consider cluster formation according to communication cost by the distance from cluster-head and the distance from base-station to the cluster-head. The Simulation results indicate that the new algorithm has significantly performance in reducing the energy consumption of nodes and prolonging the lifetime of the network.

Key words: wireless sensor networks (WSN); clustering routing; LEACH; network lifetime

0 引 言

无线传感器网络 (WSN) 被认为是 21 世纪最重要的技术之一, 是一种新型的信息获取和处理技术。WSN 是由廉价的、低功耗的具备感知、无线通信及信息处理的传感器节点共同组成的, 通过节点间的相互协作, 将其监测和感知的多种信息传送到基站进行处理。目前, 该技术在军事国防、数字农业、智能交通、环境监测、抢险救灾等多领域都有重要的科研和使用价值^[1]。

但无线传感器节点能量有限, 节点的通信、计算、

处理能量有限, 成为束缚 WSN 广泛应用的瓶颈。设计更好的路由协议以提高节点能量的利用率, 最大限度地延长网络生存期, 已成为当前 WSN 研究的热点问题之一。

无线传感器网络的路由协议可以分成平面路由协议和分簇路由协议两种。平面路由由于需要维持较大的路由表, 占据较多的存储空间, 因而并不适合在大规模网络中应用^[2]。分簇路由很好地解决了这个问题。作为当前最具典型且成熟的分簇路由算法, LEACH 算法通过周期性地随机选举簇头, 很好地均衡了网络中的能耗, 但算法并未考虑节点的剩余能量等因素; HEED 算法虽然考虑了单个节点的剩余能量, 但引入

收稿日期: 2010-11-26

基金项目: 浙江省大学生科技创新活动计划资助项目 (2010R403007)

作者简介: 杨 珍 (1986-), 女, 浙江三门人, 主要从事自动化方面的研究. E-mail: 676573152@qq.com

了多个约束条件作用于簇头的选举过程,提高了算法的复杂度^[3];PEGASIS 协议形成一条链,数据顺着链向上融合和传输,虽可节省了能量,但增加了延迟,且由于节点成链传输数据,网络可靠性不高^[4]。

本研究提出一种基于 LEACH 算法的高效路由协议。簇头选举中,让剩余能量不低于网络平均能量的节点参与簇头竞争,再根据其剩余能量情况及与基站的距离竞争为簇头;簇形成过程中,普通节点依据通信代价选择加入相应的簇头,通信代价综合考虑其与簇头的距离及簇头与基站的距离两方面因素,有效地保证网络能量消耗的均衡性,从而延长网络生长期。

1 LEACH 协议分析

1.1 LEACH 协议概述

LEACH 作为无线传感器网络早期的分簇路由协议,是由 MIT 的 Chandrakasan 等人提出的低功耗自适应聚类路由算法。它的基本思想是通过等概率地随机循环选择簇头,将整个监测网络的能量负载平均分配到每个传感器节点,从而达到降低网络能量消耗、延长网络生命周期的目的。它的执行过程是周期性的。每个循环分为簇的建立阶段和稳定的数据通信阶段。簇头选举方法如下:传感器节点生成 $0 \sim 1$ 之间的随机数,如果小于阈值 $T(n)$,见公式(1),则选该节点为簇头节点,并向周围节点广播“它是簇头节点”的消息,如果节点已经当选过簇头,则把 $T(n)$ 设置为 0。

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p[r \bmod (1/p)]} & n \in G \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

式中, p 一簇头占所有节点的百分比; r 一目前循环进行的轮数; G 一 $1/p$ 轮中还未当选过簇头的节点集合。从 $T(n)$ 可以看出,当选过簇头的节点在接下来的 $1/p$ 轮循环中将不能成为簇头,剩余节点当选簇头的阈值 $T(n)$ 将增大,节点产生小于 $T(n)$ 的随机数的概率随之增大,节点当选簇头的概率增大,以此均衡网络节点能量消耗^[5]。

该协议通过采用随机选择簇头的方式避免簇头能量消耗过快,提高了网络生存时间。

1.2 LEACH 协议的不足

LEACH 协议虽然减少了避免了节点能量消耗过快,延长了网络生存期。但仍存在一些不足:

(1) 由于 LEACH 簇头的产生具有很强的随机性,故在网络中簇头分布不一定均匀,有可能簇头之间相邻很近或者簇内节点与簇头相距甚远,节点发送数

据消耗的能量过快,这样就不利于提高网络生存时间。

(2) 由于簇头产生的随机性,簇头分布不均衡导致的簇内负载差异悬殊,节点密集的区域负载规模大,而节点稀疏的区域负载规模小,不利于网络的负载均衡。

(3) LEACH 协议中没有考虑到节点的剩余能量因素,剩余能量较小的节点有可能再次当选簇头,存在能量消耗过快问题,容易造成网络破裂,从而不能有效提高网络生存时间。

(4) 节点成簇方式单一,只根据接收到簇头节点的信号强弱加入簇,而没有考虑基站(Sink 节点)因素。有可能出现节点到基站的距离小于到各簇头的距离,从而浪费节点通信能量^[6]。

从以上的分析可以看出,本研究提出的的算法在簇头选举方面,首先考虑节点剩余能量高于网络平均能量的节点参与簇头选举,有效克服了 LEACH 的第 3 点不足;其次考虑了与基站的距离因素保证了网络簇头的均衡分布(即第 1 点的不足)。在簇形成过程中,本研究的算法综合考虑节点与簇头的距离、簇头与基站的距离两方面因素,克服了第 2、4 两点带来的不足之处^[7]。

2 网络模型和能量模型

2.1 网络模型

(1) 网络中所有传感器节点是同构节点,且具备相同的初始能量和通信半径;

(2) 传感器节点一旦分布后,在网络运行过程一直处于静态;

(3) 基站位于区域中心,研究中不考虑能量消耗,假定其具有充足的能量供应;

(4) 基站信息处理、计算能力不受限;

(5) 节点可感知它的剩余能量,并具备数据融合能力。

2.2 系统能量模型

该协议能量模型参照文献[8]。节点发射 k 比特的数据到距离为 d 的另一节点,能量消耗由发射电路消耗和功率放大器消耗两部分组成,即:

$$\begin{aligned} E_{Tx}(k, d) &= E_{Tx-elec}(k) + E_{Tx-amp}(k, d) \\ &= E_{elec} \cdot k + E_{fs} \cdot k \cdot d^2 \end{aligned} \quad (2)$$

节点接收 k 比特的数据接收电路所消耗的能量:

$$E_{Rx}(k) = E_{Rx-elec}(k) = E_{elec} \cdot k \quad (3)$$

式中: E_{elec} 一发射和接收单位比特数据消耗的能量; E_{fs} 一功率放大器消耗单位比特数据的能量。在分簇

路由算法中,每个簇头需要将簇内成员发送过来的数据进行融合,然后再发送到 Sink 节点。数据融合也需要消耗一定的能量:

$$E_{df}(k) = E_{df} \cdot k \tag{4}$$

式中: E_{df} —融合单位比特数据所消耗的能量。

3 算法的改进

本研究在考虑簇头的剩余能量、簇头到基站的距离和普通节点到簇头的距离的基础上对 LEACH 算法进行了改进,改进方面主要体现在节点如何选举成为簇头和节点如何加入簇头的簇形成过程。

3.1 簇头选举

针对 LEACH 簇头选举没有考虑到剩余能量因素,改进算法综合了节点剩余能量和节点与基站间的距离等因素^[9]。

首先,每轮簇头选举之前,节点感知自身剩余能量,并与基站广播的网络平均能量作比较,如果 $E_i \geq E_{ave}$,节点被列为簇头竞争者,否则节点沦为普通节点,进入休眠状态,等待簇头选举完成后,选择加入哪个簇。 E_i 为节点本轮剩余能量, E_0 为节点初始能量, E_{ave} 为上一轮网络平均能量。

其次,本研究根据簇头竞争者剩余能量、到基站的距离因素对阈值加以调整。调整后的阈值公式如下:

$$T'(n) = T(n) \cdot \left[\alpha \cdot \frac{E_i}{E_0} + (1 - \alpha) \cdot \frac{D_{max} - D_i}{D_{max}} \right] \tag{5}$$

式中: α —能量与距离的平衡系数,取值在 0 ~ 1 之间,它的选择应当根据不同的网络环境,当网络节点密度和能量开销较大时, α 应取大些;反之,取小些; D_{max} —节点到基站的距离; D_i —簇头竞争者到基站的距离。

最后,簇头竞争者产生一个 0 ~ 1 之间的随机数。如果生成的随机数小于阈值 $T'(n)$,那么簇头竞争者就被选为簇头,并向监测区域广播簇头信息。

节点的剩余能量因子保证了拥有更多能量的节点有更多的机会成为簇头节点;节点的位置因子保证了距离基站越近的节点具有更大的机会成为簇头,这样可以使得在传输数据的过程中消耗更少的能量,以提高网络生存期。

3.2 簇形成过程

簇头选举结束以后,簇头节点便在其通信范围内广播“簇头信息”,告诉其他节点自己已是簇头。通常,在收到各个簇头的广播消息后,普通节点要选择—一个簇头,成为该簇的一个成员。

在 LEACH 簇形成中,普通节点通过判断到各簇头的距离,选择距离最小的簇头作为自己的簇头,并向其发送“请求加入簇”信息;节点不能保证簇的负载平衡,没有考虑距基站较远的簇头能量耗费过快等问题。针对这一问题,改进算法引入通信代价公式(6)来决定节点加入哪个簇。公式(6)中加入权值 w ,权值 w 的设置则是根据具体应用环境,在成员节点能量与簇头能量耗费之间作出折衷,目标是网络生命周期最大化。这样做,既考虑节点自身通信代价,又考虑簇头通信代价,可以有效地平衡网络负载。

$$\text{cost}(j,i) = w \cdot \frac{d(P_j, Ch_i)}{d_{f_max}} + (1 - w) \cdot \frac{d(Ch_i, BS) - d_{g_min}}{d_{g_max} - d_{g_min}} \tag{6}$$

式中: $d_{f_max} = \max\{d(P_j, Ch_i)\}$; $d_{g_min} = \min\{d(Ch_i, BS)\}$; $d_{g_max} = \max\{d(Ch_i, BS)\}$; $\text{cost}(j,i)$ —节点 P_j 加入簇头 i 的代价; $d(P_j, Ch_i)$ —节点到簇头的距离; $d(Ch_i, BS)$ —簇头 i 到基站的距离;权值 w 的设置则是根据具体应用,在成员节点能量与簇头能量耗费之间作出折衷,目标是网络生命周期最大化。节点 P_j 选择 $\text{cost}(j,i)$ 最小的簇头 i 作为自己的簇头,并发送“请求加入簇”消息,从而保证每个簇头负载均衡。

簇头节点接收到所有的“请求加入簇”消息后,为簇内成员分配时间槽,生成 TDMA 消息,并发送给该簇内所有成员节点。当簇内成员节点接收到该消息后,就会保存自己的时间槽。

在数据传输阶段,节点根据簇头的 TDMA 消息,在各自的时间槽内发送数据。经过一段时间的数据传输,簇头节点对收集到的簇内成员的所有数据进行数据融合处理,并将融合后的数据直接传输给基站。簇形成流程如图 1 所示^[10]。

4 Matlab 仿真

本研究采用 Matlab 仿真平台,对 LEACH、改进算法(New)进行仿真比较,以此评价 New 算法的性能。在 100 m × 100 m 的监测区域中,随机均匀部署 100 个同构传感器节点, Sink 节点位于(50,50)处。

本研究假设每个节点的初始能量为 $E_0 = 1 \text{ J}$,每个节点发送或接收数据时,发射电路需要消耗的能量 $E_{elec} = 50 \text{ nJ/bit}$,功率放大器消耗的能量 $E_{fs} = 100 \text{ pJ/bit} \cdot d^2$,簇头融合数据消耗的能量 $E_{df} = 50 \text{ pJ/bit}$,融合率 $DA = 0.6$,最优簇头比例 $p = 0.08$ 。

在一轮循环的数据传输阶段,每个节点发送 100

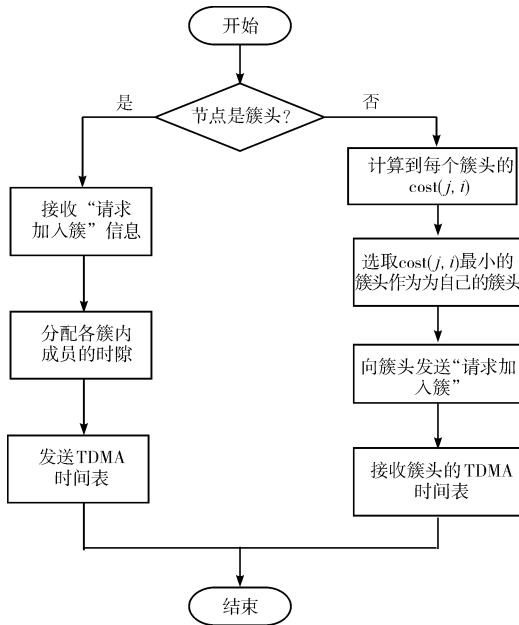


图 1 簇形成流程

次数据包,每次数据包长度为 200 bit。簇头发送的“簇头信息”、TDMA 时间表消息和普通节点发送的“请求加入簇”消息等命令信息包的长度均为 30 bit。

本研究选取存活节点个数、网络剩余平均能量、网络能量均衡度等指标来比较两种算法的性能,并在不考虑其他外界破坏因素的前提下,当一个节点的能量等于零时,定义节点失效,同时定义第 1 个节点死亡时间为网络生存期。

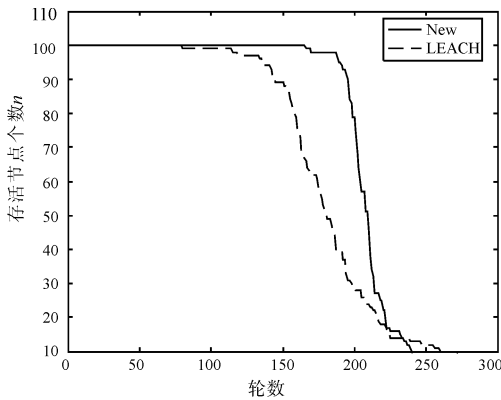


图 2 存活节点个数对比情况

New 算法与 LEACH 算法在每轮循环中的存活节点个数对比情况如图 2 所示。该图明显地显示了 New 算法在降低能耗上的优越性。第 1 个节点失效时,LEACH 算法运行了 78 轮循环,而 New 算法已运行了 161 轮循环,New 算法的网络生存期比 LEACH 算法提高了 106.4%。而且从曲线斜率可知,相对 LEACH 而言,New 算法网络负载均衡明显提高了。

New 算法与 LEACH 算法的网络平均能量对比情

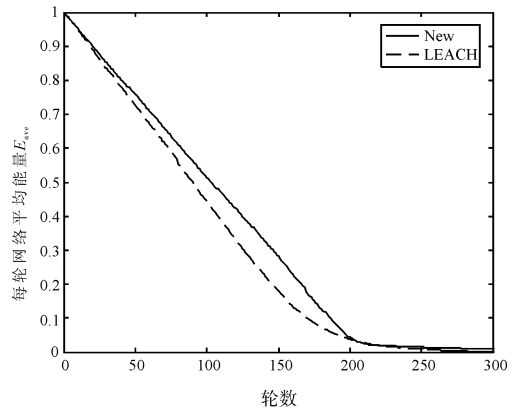


图 3 网络剩余平均能量对比情况

况如图 3 所示。对比 LEACH 算法,New 算法主要在簇形成环节加入簇头与基站的距离因素,从而降低了节点的通信能耗。

本研究定义每轮网络能量均衡度函数 EBF 为

$$EBF = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - E_{ave})^2}{n} \quad (7)$$

式中: E_i 一节点当前剩余能量, E_{ave} 一每轮网络平均能量, n 一网络中存活节点个数。

当 EBF 的值越小,说明网络中各节点之间的能量消耗就越均衡。

New 算法与 LEACH 算法的 EBF 的对比情况如图 4 所示。由图可知,根据每 10 轮采样的 EBF 对比情况显然可知,New 算法中,网络中平均能量方差较小且波动不大,从而有效证明了网络能量消耗的均衡性。

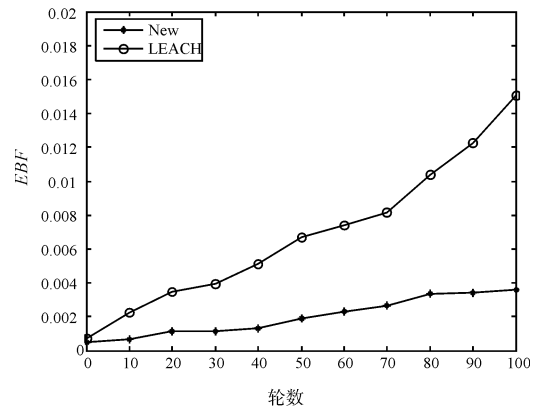


图 4 网络能量均衡度对比情况

5 结束语

本研究在分析 LEACH 算法的基础上,对其成簇算法进行了改进,综合考虑节点剩余能量、节点到基站的距离、节点到簇头的距离、簇头到基站的距离等因素成簇。依据节点的剩余能量、离基站的距离等因素产

生簇头;依据普通节点到簇头的距离、簇头到基站的距离等因素成簇。

研究表明,New 算法在节省节点能耗、延长网络生存期等方面相比 LEACH 算法,具有更好的性能。

参考文献 (References) :

[1] 孙利民,李建中,陈渝. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社,2005.

[2] 沈波,张世永,钟亦平. 无线传感器网络分簇路由协议. 软件学报[J]. 2006, 17 (7): 1588-1600.

[3] YOUNIS O, FAHMY S. HEED: a hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks [J]. **IEEE Transactions on Mobile Compute**, 2004, 3 (4): 366-379.

[4] 张震,闫连山,潘伟,罗斌. 基于 LEACH 和 PEGASIS 的簇头成链可靠路由协议研究[J]. 传感技术学报, 2010, 23 (8):1173-1178.

[5] 马玉刚,周群彪. 基于 LEACH 的无线传感器网络节能算法[J]. 计算机应用, 2009, 29 (6): 1514-1516.

[6] 胡钢,谢冬梅,吴元忠. 无线传感器网络路由协议 LEACH 的研究与改进[J]. 传感技术学报, 2007, 20 (6): 1391-1396.

[7] Ali Chamam, Samuel Pierre. A distributed energy-efficient clustering protocol for wireless sensor networks [J]. **Computers & Electrical Engineering**, 2010, 36(2): 303-312.

[8] HEINZELMAN W, CHANDRAKASAN A, BAKAJR-LSH-NAN H. Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks [C]// Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences. Maui:[s. n.], 2000:3005-3014.

[9] ANASTASI G, CONTI M, FRANCESCO M D, et al. Energy conservation in wireless sensor networks: A survey [J]. **Ad Hoc Networks**, 2009, 7(3): 537-568.

[10] XIANG Min, SHI Wei-ren, JIANG Chang-jiang, et al. Energy efficient clustering algorithm for maximizing lifetime of wireless sensor networks [J]. **AEU-International Journal of Electronics and Communications**, 2010, 64 (4): 289-298. [编辑:李辉]

(上接第 953 页)

稳。当本研究取直线加减速法的起始转速为 100 r/min,加速度 a 为 20,速度对比结果如表 2 所示,可见在一定条件下,S 型加减速在速度方面也具有良好的效果,在使用中可根据需要选取^[12-13]。

表 2 直线加减速-S 型加减速速度对比表

行程(脉冲)	直线型加减速/s	S 型加减速/s
1 000	4. 10	3. 54
2 000	7. 68	7. 02
3 000	10. 39	9. 65

3 结束语

本研究在结合步进电机矩频特性的基础上,对几种主要的加减速控制曲线进行了详细分析和比较,并给出了具体的数学描述,为研究电机加减速控制的学者和实际工程应用提供了一定的帮助。最后对直线加减速法和 S 型加减速法进行了深入研究,通过实例表明,两种加减速法各有自己的优势,可根据不同场合选取。目前,笔者把 S 型曲线加减速方法应用在了自己研发的数控系统中,在使用 S 型加减速方法过程中,数控系统在水晶生产加工中运行良好。

参考文献 (References) :

[1] KIM D I, JEON J W, KIM S. Software acceleration/ deceleration methods for industrial robots and CNC machine tools [J]. **Mechatronics**, 1994 ,4 (1) :37-53.

[2] JEON J W, KIM Y K. FPGA based acceleration and deceleration circuit for industrial robots and CNC machine tools [J]. **Mechatronics**, 2002,12 (4) :635-642.

[3] 潘敏,邬义杰,冷洪滨. 数控系统加减速控制方法的研究[J]. 制造业自动化,2005,27(9):30-33.

[4] 李晓菲,胡泓,王炜,等. 步进电机加减速控制规律[J]. 机电产品开发与创新,2006,19(1):122-124.

[5] 康健,陶涛,梅雪松. 基于数字信号处理器的指数加减速算法仿真[J]. 系统仿真学报,2003,15(5):678-680.

[6] 杨雁,王云宽,宋英华. 基于 FPGA 的数控加减速控制器的设计[J]. 制造技术与机床,2007(6):31-34.

[7] 盖荣丽,林许,郑默,等. 高速加工中速度规划算法的研究与实现[J]. 小型微型计算机系统,2009(6):1067-1071.

[8] 张碧陶,高伟强,沈列,等. S 曲线加减速控制新算法的研究[J]. 机床与液压,2009,37(10):27-29.

[9] Kuijing Zheng, Li Cheng. Adaptive S-curve Acceleration / Deceleration Control Method [C]//Proceeding of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation, 2008: 2752-2756.

[10] 付云忠,王永章,富宏亚,等. 多轴联动线性插补及其“S 加减速”规划算法[J]. 制造技术与机床,2001(9):9-12.

[11] 张秉云,郑崇苏. 基于 51 单片机的发电机输出电压控制仿真[J]. 机电技术,2010(5):69-72.

[12] 邹乾,李兴根. 步进电机的自适应 PI 调速系统[J]. 轻工机械,2009,27(1):73-75.

[13] 颜晓河. 全电动式注塑机计量位置控制电机的选择[J]. 轻工机械,2010,28(4):103-104. [编辑:张翔]