

一种基于能量均衡的分区成链路由算法

潘琢金, 尹 琴, 罗 振, 杨 华

(沈阳航空航天大学 计算机学院, 辽宁 沈阳 110136)

摘 要: 提出了一种基于能量均衡的分区成链路由算法 CDEB(A Chain By Division Based on Energy Balance Routing Algorithm). 该算法假定网络范围为一圆形, 通过选定圆心角 θ 将网络分成 $2\pi/\theta$ 个区域; 成链时, 链上的节点根据相邻节点到本节点的距离是否小于设定的阈值来决定是否将其加入链中; 成链后, 综合考虑链上每个节点的剩余能量、到基站的距离以及节点的度数来选取链首. 仿真结果表明, 该算法能够避免“长链”产生, 改善节点能量消耗的不均衡, 有效延长网络生命周期.

关键词: 无线传感器网络; 长链; 链首; 圆; 分区; 阈值

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000—7180(2016)06—0032—05

A Chain By Division Based on Energy Balance Routing Algorithm

PAN Zhuo-jin, YIN Qin, LUO Zhen, YANG Hua

(School of Computer, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136 China)

Abstract: A Chain By Division Based on Energy Balance Routing Algorithm (CDEB) is proposed. The algorithm assumes that the network range is a circle, which is divided into $2\pi/\theta$ regions according to a center angle θ . when forming a chain, a node would decide to whether to join into the chain by comparing the set threshold with the distance between neighbor node and itself. When the chain is completed, chain-head is selected by considering the node's residual energy, the degree and the distance with the base station. Simulation results show that the algorithm could avoid the produce of the "long-chain", optimize the status of unbalanced energy consumption and effectively prolong the network life cycle.

Key words: wireless sensor networks; long chain; chain-head; circle; division; threshold

1 引言

无线传感器网络是由部署在监测区域内的大量微型传感器节点组成, 分布区域广, 部署区域环境复杂. 因为传感器节点体积微小, 携带的电池能量有限, 而且计算能力和存储能力有限, 所以要让节点能量消耗均衡, 以延长整个网络的生命周期, 那么提出一个合理有效的路由算法对整个传感器网络而言, 是很重要的^[1-2].

无线传感器网络的路由算法应该具有能量优先、基于局部的拓扑结构、以数据为中心的特点^[3]. 经典的 PEGASIS^[4] 算法主要是将网络中所有节点

连成一条链, 基站在链中选择一个链首节点, 通信时数据从链的两端开始沿链将数据传输给链首, 再由链首传输给基站, 该算法存在以下不足: 成链时若相连两点距离较远易产生“长链”^[5], 导致节点过早死亡; 链首节点随机选取会导致节点被重复选取, 以致于让节点间能量消耗不均衡. 针对以上不足, 文献^[6]将网络以扇形区域的形式进行分层或分簇^[7], 使“长链”问题得到改善, 但在选择链首时, 没考虑到链首传输数据时能量均衡问题. 文献^[8]中提到选取链首时需要统计每轮的剩余能量状况, 考虑了能量均衡方面, 但“长链”问题没有考虑. 文献^[9]通过设定相应“长链”门限阈值来成链, 但阈值的设定没有充

收稿日期: 2015—07—23; 修回日期: 2015—09—08

基金项目: 航空科学基金项目(2014ZC54012); 辽宁省自然科学基金项目(2013024002); 辽宁省教育厅基金项目(L2013063)

分考虑节点能量的消耗状况. 文献[10]提出了把网络区域以圆的形式分成多个子区域, 根据树的结构成链, 该算法将树根作为链首传输数据时没有考虑能量均衡问题.

基于避免“长链”产生和链首节点选取导致的能量消耗不均衡问题的宗旨, 本文提出了一种基于能量均衡的分区成链路由算法 CDEB.

2 网络模型

现有算法一般假设节点随机分布在一个矩形区域内, 在本文中为了防止节点间出现远距离通信, 也为了便于研究分析和模拟实验, 本文利用在单位面积下, 圆形区域点与点之间最大长度最小^[10]的特点, 把整个网络范围划分为以基站为圆心的圆的网络模型.

2.1 网络分区

基站根据整个网络区域节点分布的密度情况选择一个圆心角 θ , 将整个网络区域划分为 $2\pi/\theta$ 个扇形的区域, 其中圆心角度 θ 的选择只能是被 $\pi/2$ 整除的角度, 因为在区域划分时是以圆的四个象限进行划分, 若每个象限平均划分为 n 个扇形区域, 则整个网络被分为 $4n$ 个扇形区域, 如图 1 所示. 在图 1 中每个扇形区域被分配一个标号 $\text{num}(n)$ (设定从第一象限开始编号, 从 1 开始).

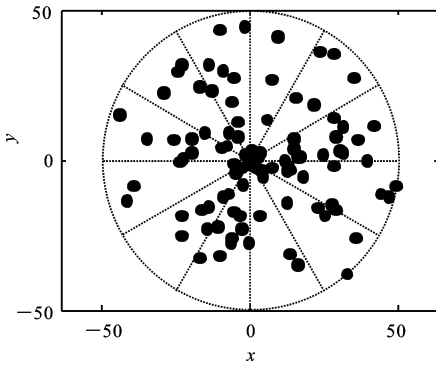


图 1 圆形分区示意图

2.2 区域位置的确定

划分好区域后需要确定每个节点所在的区域及在区域的具体位置, 方法如下所示.

首先, 计算节点的极坐标角度. 所有的节点需要将自己的位置信息与 ID 信息发送给基站, 基站根据正切函数特征进行计算.

把圆放到直角坐标系中, 圆心 O 的坐标为 $(0, 0)$, 设任意一个点 i 的坐标为 $(x(i), y(i))$. 如图 2 所示, 假设 i 点和圆心的连线与 x 轴形成的角设为 α ,

同时, $\beta = \alpha + \pi$, 由正切函数 $\tan\alpha = y(i)/x(i)$ 的公式得到反三角公式:

$$\alpha = \arctan(y(i)/x(i)) \quad (1)$$

根据正切函数以 π 为周期的特点可知:

$$\tan\beta = \tan(\alpha + \pi) = \tan\alpha \quad (2)$$

利用极坐标的特点和点横坐标的正负可知每个节点的极坐标角度:

$$\alpha = \begin{cases} \alpha + 1.5\pi & x(i) < 0 \\ \alpha + 0.5\pi & x(i) \geq 0 \end{cases} \quad (3)$$

其次, 确定节点所在区域. 将节点 i 对应的角度 α 与圆心角 θ 相除, 得到整数 k , 比较 $k(i)$ 与已经划分好区域的编号 $\text{num}(n)$, 获得节点 i 所在的区域编号 k , 即:

$$k(i) = \text{floor}(\alpha/\theta) \quad (4)$$

$$k(i) = \text{mod}(2\pi/\theta + k - 2, 2\pi/\theta) + 1 \quad (5)$$

最后, 确定节点在相应区域的具体位置. 定义一个的 1×100 的全零矩阵 reg , 用来存储节点在某个区域的具体位置, 其中 count 表示节点的位置, 即:

$$\text{reg}(k, \text{count}(k)) = i \quad (6)$$

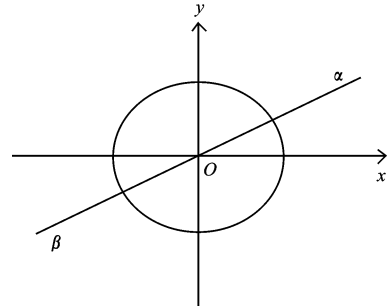


图 2 分区求解说明图

3 CDEB 算法

3.1 成链的原理

为保证每个节点都能有相邻节点, 选择离基站最远的节点开始成链^[3], 并用虚线圆圈标记. 为了判断相邻节点间是否为“长链”, 设置了“长链”门限阈值 dt , 通过比较相邻两点间距离与门限阈值的大小来选择相连的节点, 具体建链方法如图 3 所示.

如果两个相邻节点间距离大于等于 dt , 便称这两个相邻节点间的链路为“长链”. 假设相邻两点间距离为 dis_{con} , 相邻距离之和为 sum , 节点与基站距离为 dis .

阈值 d 的设定分为两种情况:

$$dt = \begin{cases} a * \text{dis}_{\text{con}}(i) & i = 2 \\ a * \text{abs}(\text{sum}/(i - 2)) & i > 2 \end{cases} \quad (7)$$

其中选取 $a = 1.1$, 当 a 趋于无穷大时, 任何两个相邻节点都不会产生“长链”, 这时候成链算法等同于 PEGASIS 算法^[9], 其中 $\text{dis}_{\text{con}}(2)$ 为节点与基站间的距离 $\text{dis}(2)$.

所有待加入链的节点中, 假设节点 $i+1$ 是最靠近节点 i 的节点, 在节点 $i+1$ 加入链前, 先将自身与节点 i 之间的距离 $\text{dis}_{\text{con}}(i)$ 与 d 进行比较, 分为两种情况:

(1) 若 $\text{dis}_{\text{con}}(i) \leq dt$, 节点 $i+1$ 直接与 i 相连加入链;

(2) 若 $\text{dis}_{\text{con}}(i) > dt$, 节点 $i+1$ 从已加入链的节点中寻找离它最近的点 j , 如果 $i+1$ 与 j 之间的距离小于 dt , 则 $i+1$ 与 j 进行相连, 否则节点 $i+1$ 仍然与节点 i 相连加入链.

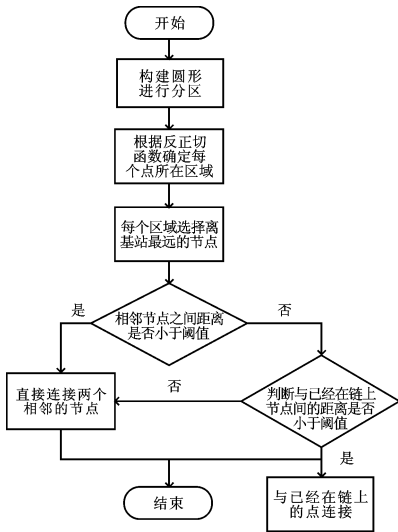


图 3 CDEB 成链流程图

3.2 链首选择

CDEB 算法链首的选择考虑了节点的剩余能量 E , 节点与基站之间的距离以及节点的度 (degree), 并且在每一轮都会进行选取. 节点的度指一个节点分支的个数, 一个节点会同时与几个其他不同的点进行连接, 就定义为几个度 (degree). 链首选择的公式为:

$$Q = E / (\text{dis} * \text{degree}) \quad (8)$$

由公式可以看出, 节点的度 (degree) 与 Q 成反比, 度比较大的节点负荷量也比较高, 为了平衡能量, 则在同等剩余能量, 且离基站距离相同的情况下, 度较大的节点被选为链头节点的可能性较小. 距离 distance 也与 Q 成反比, 距离基站越远的节点消耗的能量更大, 因此该点被选为链头的几率也比较小. 综上所述, 剩余能量越多, 离基站距离越近, 度越

小的点越容易被选为链首. 选出的链首用黑色圆圈标记.

4 能量通信与传输

4.1 能量通信模型

能量通信模型采用一阶无线电模型, 在传输长为 k -bit 的信息经过距离 d 的过程中, 能量消耗如下所示.

数据发送:

$$E_{\text{Tx}}(k, d) = \begin{cases} E_{\text{elec}} \cdot k + \epsilon_{\text{fs}} \cdot k \cdot d^2, & d < d_0 \\ E_{\text{elec}} \cdot k + \epsilon_{\text{mp}} \cdot k \cdot d^4, & d \geq d_0 \end{cases} \quad (9)$$

数据接收:

$$E_{\text{Rx}} = E_{\text{elec}} \quad (10)$$

数据融合:

$$E_{\text{Gx}} = E_{\text{g}} \cdot k \quad (11)$$

4.2 数据传输模型

在每轮传输数据时, 基站会广播信息让所有传感器节点同步自己. 数据的传输通过箭牌 token 机制进行传送, 节点从链两端沿着链首节点方向传输数据, 一直到所有节点的数据到达链首节点, 然后由链首节点传送到基站. 图 4 为节点传输路径图.

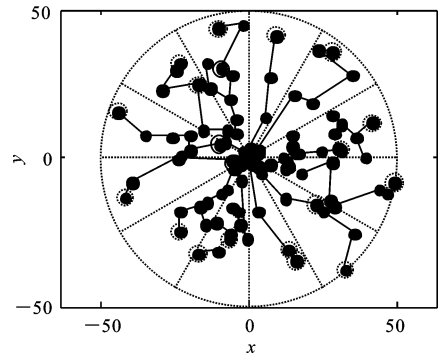


图 4 节点传输路径图

当节点为链尾或链首时, 能量消耗只包括节点将数据发送到邻节点的能量; 当节点为普通节点时, 能量消耗为节点接收、融合以及发送数据的能量总和.

5 仿真实验结果及分析

在周期性环境监测应用中, 无线传感器节点会周期性地传输采集的数据. 假设如下:

(1) 基站固定且位于监测区域的最中心, 远离传感器节点;

(2) 所有的节点性质一样且固定不动, 初始能量相同;

(3)节点具有足够的功率与其他节点和基站进行通信.

为了评估算法 CDEB 的性能,使用 Matlab 进行仿真. 仿真时,基站坐标为(0,0),设数据包的长度为 3 000 bit,控制包的长度较小,可以忽略不计,其他的实验参数设置如表 1 所示. 重点分析经过一定轮数网络节点死亡个数和网络平均剩余能量的情况.

表 1 实验仿真参数设置

参数	取值
节点个数	100
监测区域	100×100
节点初始能量	0.5 J
数据包	3 000 bit
控制包	100 bit
E_{elec}	50 nJ/bit
ϵ_{fs}	$10 \text{ pJ} \cdot \text{bit}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$
ϵ_{mp}	$0.0013 \text{ pJ} \cdot \text{bit}^{-1} \cdot \text{m}^{-4}$
E_g	$5 \text{ nJ} \cdot \text{bit} \cdot \text{signal}^{-1}$
d_0	87.705 8

5.1 参数 θ 的确定

在 CDEB 算法中参数 θ 非常重要,它直接影响网络性能,在网络中节点随机分布的密度不同,参数值 θ 的设置也不同,随轮数变化节点存活数不同. 需要多次仿真,进行选择,当 θ 分别为 $\pi/2, \pi/4, \pi/6$ 进行比较.

从图 5 可知:当运行到 500 轮时, $\theta = \pi/2$ 与 $\theta = \pi/6$ 时的平均剩余能量远远高于 $\theta = \pi/4$,当运行到 2 000 轮时, $\theta = \pi/6$ 是 $\theta = \pi/2$ 时平均剩余能量 106%.

最后得出当 $\theta = \pi/6$ 时网络节点存活时间最长,网络性能最好,因此在实验中设置参数值 $\theta = \pi/6$.

5.2 性能的比较

当 $\theta = \pi/6$ 时,比较 CDEB 算法与 PEGASIS 算法的性能.

图 6 为两种算法存活节点对比图,从图 6 可以看出当运行到 1 300 轮左右,PEGASIS 算法的节点开始死亡,并且死亡速度特别快,到 1 500 轮左右,PEGASIS 算法的节点已全部死亡,而 CDEB 算法的节点还没有开始死亡. 可看出,新提出算法更节约能量的消耗.

图 7 为两种算法平均剩余能量对比图,由图 7

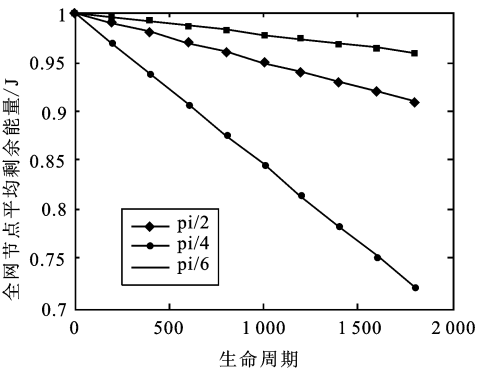


图 5 不同参数剩余能量对比图

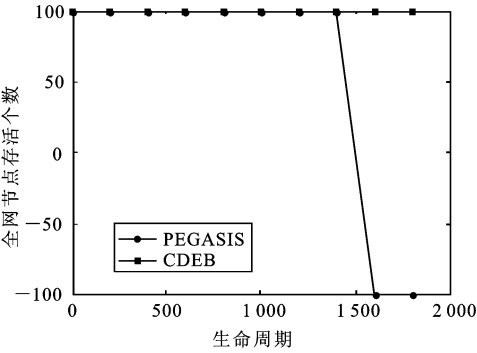


图 6 两种算法存活节点对比图

可知,随着轮数的增大,CDEB 与 PEGASIS 算法平均剩余能量的差距也随之增大,直到 1 300 轮左右时,CDEB 的平均剩余能量是 PEGASIS 的 140%. 当到 1 500 轮左右时,PEGASIS 已没有剩余能量,节点已全部死亡,而 CDEB 还有 0.14 J 的能量. 因此本文算法在避免“长链”以及节点选取导致能量均衡问题上得到明显改善,并且延长了网络生命周期.

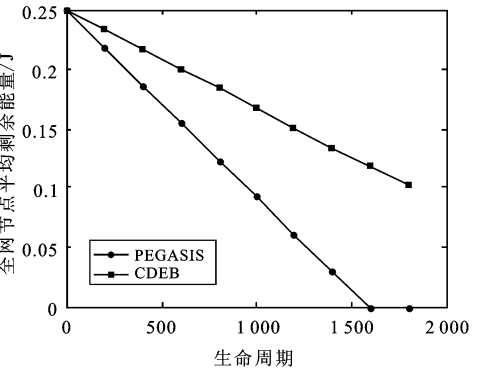


图 7 两种算法平均剩余能量对比图

6 结束语

本文针对 PEGASIS 中“长链”的出现以及链首节点选取导致的能量消耗均衡的问题提出了 CDEB 路由算法,该算法采用了圆形网络模型,通过网络分

区,将整个网络分为小规模网络,在重新构造拓扑结构时,节省了节点额外开销;通过设定阈值判断相连点,避免了“长链”产生,减少了传输延迟,使能量消耗减少;选择链首时在每一轮综合考虑节点剩余能量、距离和度,更有效地提高了数据融合效率,降低了能耗。总之,本文算法在节约能量,使能量消耗均衡的同时,有效提高了网络利用率,延长了整个网络的生存时间。

参考文献:

- [1] 苏俭华,刘宇红,徐跃州. 一种基于 LEACH 的无线传感器网络路由算法及仿真[J]. 通信技术, 2014, 47(1):60-63.
- [2] Li Y Z, Zhang A L, Liang Y Z. Improvement of leach protocol for wireless sensor networks[C]//Instrumentation, Measurement, Computer, Communication and Control (IMCCC), 2013 Third International Conference on. China,Shenyang,IEEE, 2013: 322-326.
- [3] Meenu M, Vandana V. Modified PEGASIS in WSN to increase network lifetime[J]. International Journal of Computer Applications,2012, 52(19): 7-10.
- [4] Mamun Q. A qualitative comparison of different logical topologies for wireless sensor networks[J]. Sensors, 2012, 12(11): 14887-14913.
- [5] 胡峻浩,刘兴长,谈昨非. 基于 PEGASIS 算法的一种改进方案[J]. 微电子学与计算机, 2014, 31(11):

9-12.

- [6] 王鑫,王梦莹,蒋华. 一种基于簇首成链的分层分簇路由协议[J]. 微电子学与计算机, 2014,31(10):3-5.
- [7] 鲁晓辉. 基于扇形区域的无线传感器网络路由算法研究[J]. 三门峡职业技术学院学报, 2014, 13(3): 114-116.
- [8] Gupta M, Saraswat L. Energy aware data collection in wireless sensor network using chain based PEGASIS [C]//Recent Advances andInnovations in Engineering (ICRAIE), 2014. India, Jaipur,IEEE, 2014: 1-5.
- [9] 余勇昌,韦岗. 无线传感器网络中基于 PEGASIS 协议的改进算法 [J]. 电子学报, 2008, 36(7): 1309-1313.
- [10] 刘伟强,蒋华,王鑫. 无线传感器网络中 PEGASIS 协议的研究与改进[J]. 传感技术学报, 2013, 26(12): 1764-1769.

作者简介:

潘琢金 男,(1962-),教授,硕士生导师. 研究方向为嵌入式系统、计算机检测与控制.

尹 琴(通讯作者) 女,(1988-),硕士研究生. 研究方向为嵌入式系统. E-mail:yinqinhouse@163.com.

罗 振 男,(1981-),博士,讲师. 研究方向为以太网路由技术、嵌入式系统.

杨 华 男,(1974-),博士,副教授. 研究方向为计算机系统结构、智能人机交互、仿人机器人、机载计算和智能控制.

(上接第 31 页)

本文所设计的 SMT 处理器的指令调度要求在一个时钟周期内做出调度选择,所以指令调度器的响应仲裁部分均是由组合电路来实现,这样带来的问题就是仲裁模块的组合延时过大,本文采用双调排序的并行算法来提高电路的并行性减小因组合逻辑链路过长延时加大而带来的工作频率过低的问题,今后的研究重点是提高指令调度器的工作频率,增大电路的并行度缩短电路的关键路径.

参考文献:

- [1] 李涛,肖灵芝. 面向图形和图像处理的轻核阵列机结构 [J]. 西安邮电学院学报,2012,17(3): 41-47.
- [2] Tullsen D M, Eggers S J, Levy H M. Simultaneous multithreading: maximizing on-chip parallelism[C]//22nd Annual International Symposium on Computer Architecture. USA, Berkeley, 1995

- [3] Eggers S J, Emer J S, Levy H M, et al. Simultaneous multithreading: a platform for next-generation processors[J]. IEEE Micro, 1997,17(5): 12-19.
- [4] 黄虎才. 多态阵列处理器的并行计算研究[M]. 西安: 西安邮电大学,2014.
- [5] 李祖松,许先超,胡伟武,等. 龙芯 2 号处理器的同时多线程设计 [J]. 计算机学报, 2009, 32(11): 2266-2273.
- [6] 李涛,杨婷,易学渊. 萤火虫 2:一种多态并行机的硬件体系结构 [J]. 计算机工程与科学, 2014, 12(2): 191-200.

作者简介:

李 乐 男,(1990-),硕士研究生. 研究方向为专用集成电路设计及集成系统. E-mail:1056051253@qq.com.

李 涛 男,(1954-),博士,特聘外籍教授. 研究方向为计算机体系结构、算机图形学.