

一种基于簇首成链的分层分簇路由协议

王 鑫^{1,2}, 王梦莹¹, 蒋 华¹

(1 桂林电子科技大学 计算机科学与工程学院, 广西 桂林 541004;

2 桂林电子科技大学 海洋信息工程学院, 广西 桂林 541004)

摘 要: 基于 LEACH 和 PEGASIS 算法, 设计了一种基于簇首成链的分层分簇路由协议 CHCRP (A Chain-cluster Based Hierarchical Clustering Routing Protocol). CHCRP 算法把网络分成多个层次, 对 LEACH 协议的簇首选取机制进行改进, 采用一跳竞争机制使得簇首分布均匀. 为了减少链式路由的时间延迟, 簇首间通过分层形成“主链”和“从链”多跳通信. 仿真结果表明该算法能够均衡簇首间通信能耗, 延长无线传感器网络生存周期并且降低了数据传输的滞后性.

关键词: LEACH; PEGASIS; 分层; 分簇; 路由协议

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)10-0009-04

A Chain-cluster Based Hierarchical Clustering Routing Protocol

WANG Xin^{1,2}, WANG Meng-ying¹, JIANG Hua¹

(1 School of Computer Science and Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China;

2 School of Marine Information Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: The paper designed a Chain-cluster based Hierarchical Clustering Routing Protocol on the base of LEACH and PEGASIS algorithm CHCRP. CHCRP algorithm divided the network into several layers and improved the cluster head selection mechanism of LEACH protocol. In the one-hop competition mechanism cluster heads are distributed evenly. To reduce chain routing latency the cluster heads formed "main chain" and "next chain" in layers for multi-hop communication. The simulation results show that the algorithm can balance energy consumption of communication among cluster heads, extend the life cycle of wireless sensor network and reduces the lag of data transmission.

Key words: LEACH; PEGASIS; Hierarchical; Cluster; Routing Protocol

1 引言

根据无线传感器网络的拓扑结构, 网络中路由分为平面路由和层次路由两种. 典型的层次路由有 LEACH、PEGASIS、HEED、TEEN 等. 其中 LEACH^[1]将整个网络中的能量负载平均分配到每个节点, 从而延长网络生存周期. 但 LEACH 协议随机选取簇首以及簇首与基站直接通信导致算法的生命周期大大降低, 所以后来学者基于 LEACH 做了很多改进研究. 文献[2]中主要是采用竞争机制优

化簇首选择. 文献[3]中侧重改进簇首间通信, 通过多跳路径降低簇首直接与基站通信的能耗. 文献[4]中通过改变成簇方式达到减少簇内节点与簇首通信的能量消耗, 但是都没考虑簇首间通信能耗. PEGASIS^[1]协议是在 LEACH 基础上的扩展, PEGASIS 将全网节点形成一条基于地理位置的链. PEGASIS 协议虽然节省了能量, 但却增加了延迟.

由于 LEACH 和 PEGASIS 两个协议各有优缺点, 不少基于这两种协议的改进算法被提出. 文献[5]中提出的簇首成链算法, 在改进簇首选择机制的

收稿日期: 2013-12-24; 修回日期: 2014-02-11

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(61262074)

基础上,簇首按照 PEGASIS 协议中的链式传输数据.文献[6]中提出一种称作 CCM 的路由算法,把网络分成很多条链,每个链单独运行改进的链式路由协议.并没有考虑链式路由带来的数据延迟,为了解决这个问题本文设计了一种基于簇首成链的分层簇路由协议(CHCRP).

2 CHCRP 算法概述

2.1 网络模型

假设网络中的节点随机均匀分布在一个正方形区域 A 内,传感器网络具有如下的性质:

(1)基站(BS)部署在区域 A 以外的一个固定位置,并且基站是唯一的,能量是无限的;

(2)所有节点有相似的处理和通信能力,并且地位平等,都有与基站一跳通信的能力;

(3)每个节点都能根据接收到消息的强弱程度判断自身距离发送者的近似距离,根据距离可自动调节自身发射功率;

(4)每个节点能够通过计算得出自己的当前剩余能量.

2.2 能量模型

本协议的能量模型采用 LEACH 协议中的能量模型.式(1)为发射 l bit 数据耗损的能量,由发射电路耗损和功率放大耗损两部分构成.功率放大耗损根据发送者和接收者之间的距离分别采用自由空间模型和多路径衰减模型. E_{elec} 为发射电路的耗损能量, ϵ_{fs} 和 ϵ_{mp} 分别表示两种信道模型下功率放大所需能量. r 某一距离值 $r = \sqrt{\frac{\epsilon_{\text{fs}}}{\epsilon_{\text{mp}}}}$, 式(2)为接收 l bit 数据的能量耗损,仅由电路耗损引起.同时,假设无线信道对称传输,即从节点 v 传送消息到 u 消耗的能量等于从 u 传送同样的消息到 v 所消耗的能量.

$$\text{数据发送: } E_{\text{TX}}(ld) = \begin{cases} lE_{\text{elec}} + \epsilon_{\text{fs}}d^2, & d < r \\ lE_{\text{elec}} + \epsilon_{\text{mp}}d^4, & d \geq r \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{数据接收: } E_{\text{RX}}(l) = lE_{\text{elec}} \quad (2)$$

2.3 CHCRP 算法描述

2.3.1 层次划分

通过分层阶段将整个网络分成多个层次,靠近基站的为第 0 层,依次向外为第 1、2... 层.网络在初始化后进入分层,由基站向全网的节点发送分层消息,消息包含第 0 层宽度 d_0 以及划分间隔距离 d ,所有的节点在接收到基站发送的消息之后根据接收到信号的强弱计算自己离基站的距离 D ,当节点距离 D 小于 d_0 ,节点层次为第 0 层;当 D 大于 d_0 时,根据分层公式计算节点所属的层次.这样通过一段时间

每个节点都有自己的层号,在这里要说明一下第 0 层的宽度要宽于其他层,所以基站发送的间隔距离包含第 0 层的宽距 d_0 ,以及其他层的宽度 d .计算层次的方法采用公式:

$$\begin{cases} 0, D \leq d_0 \\ \lceil (D - d_0)/d \rceil, D > d_0 \end{cases} \quad (3)$$

2.3.2 成簇算法

在 CHCRP 协议中成簇算法包括簇首选择,节点入簇,簇首轮换几个步骤.

(1)簇首选择机制.在完成网络分层之后,所有层进入簇首选择阶段.文中采用类似 LEACH 协议的簇首选择方式选出候选簇首参与簇首竞争.因为 LEACH 协议在选择簇首时完全随机选择导致簇首分布不均,同时可能会使得能量少的节点当选簇首.文中为了防止剩余能量较小的节点成为簇首将阈值稍作改变,考虑节点的剩余能量.这样保证能量越大的节点当选簇首的机会越大.改进后的阈值公式:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p * \lceil r \bmod (1/p) \rceil} \times \frac{E_{n_current}}{E_{n_start}}, n \in G \\ 0, n \notin G \end{cases} \quad (4)$$

式中, $E_{n_current}$ 表示节点的当前能量, E_{n_start} 表示节点的初时能量.其他和 LEACH 协议中含义一样.改进后的阈值考虑了节点剩余能量的因素,使得剩余能量大的节点更可能成为簇首.

为了保证簇首分布的相对均匀采用一跳竞争机制选取正式簇首.候选簇首向自己的所有邻居节点广播竞争消息,竞争消息包含节点的位置、剩余能量等信息.若邻居节点是普通节点则忽略该消息;若是邻居节点也是候选簇首在接到竞争消息后与自己的剩余能量相比较,剩余能量大于竞争者时反馈给竞争者同时宣告自己为正式簇首;剩余能量小于竞争者时忽略该消息.若竞争者在一段时间内没有接到任何反馈就表明宣告为正式簇首.某个节点为正式簇首后,以固定功率广播自己.

(2)节点入簇.这里采用 LEACH 协议相同的人簇方式,普通节点按照接收到的簇首节点信号强弱选择信号最强的一个簇首加入簇内,因为簇首时以固定的功率发送信号,正常情况下,接收到的信号越强代表距离越短,通信能耗就越低.由于簇首分布并不能保证绝对均匀,网络中可能会出现所有的簇首节点都不在某些节点通信范围内,这些节点就不能加入到任何簇内.被称为孤立节点,若这些节点不能连接到网络中那么必然会导致网络的连通性降

低.提出的解决方法是孤立节点通过寻找离自己最近的簇内节点作为中间节点多跳连接到该簇.

(3)簇首轮换机制.簇首要接收融合簇内其他节点的数据所以能量消耗较快,为了平衡节点负载,LEACH 协议需要每轮都重新选举簇首,这样会消耗多余的能量.为避免频繁选举簇首,在 CHCRP 中不再每轮都重新选举簇首,而是当簇首节点能量小于簇内平均能量时由簇首指定当前簇内剩余能量最大的节点作为代理簇首.基站记录循环轮数,当循环到一定轮数 C 时,才按照改进的协议重新执行算法.

2.3.3 簇间路由

簇首间的路由通过采用簇首成链的多跳方式进行通信.簇间路由的形成主要分两部分:“主链”的建立和“从链”的建立.

“主链”是在第 0 层簇首间形成的链.在簇形成结束之后第 0 层的簇首节点将自己的剩余能量以及到基站的距离发送给基站,由基站选出剩余能量最大并且到基站通信能耗最少的簇首节点作为 Leader.从离 Leader 最远的两个簇首节点开始采用贪婪算法成链形成“主链”,成链模型如图 1 所示.由于 Leader 节点选在第 0 层,所以第 0 层宽度应比其他层的宽,包括更多的节点,这样平均到每个节点的能量消耗就少.

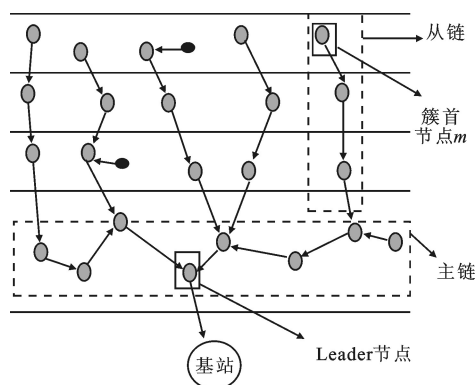


图 1 网络结构示意图

“从链”是在其他层簇首间形成的链.外层的簇首节点向内层寻找离自己最近的簇首作为父节点作为下一跳直到第 0 层,这样就形成一条“从链”.如图 1 所示,第 3 层的簇首节点 m 向第 2 层寻找离自己最近的簇首节点.若找到的簇首节点没有其他的子节点, m 就将找到的节点作为下一跳,同时这个节点称为 m 的父节点.同样的第 2 层的这个簇首节点向第一层寻找父节点.找到的第 1 层的节点向第 0 层寻找.这时“从链”就通过第 0 层的节点连接到“主链”上.在“从链”建立过程中若某个簇首节点已经是

父节点当它再接收到其他节点的请求时则忽略不管,保证了“从链”相互之间没有交叉通信,防止数据冲突.除了第 0 层的簇首其他的层的簇首同层不联系,这样做使得多条“从链”并行传输数据降低了长链传输数据带来的延迟.

簇间路由建立之后整个网络最终形成如图 1 所示的网络结构.图中灰色节点代表簇首,黑色节点代表没有加入簇的孤立节点.

2.3.4 数据传输

在 CHCRP 中,簇内的数据传输采用直接通信方式,簇首构建 TDMA 调度,采用与 LEACH 相同的组织方式,由簇头为每个节点分配时间槽节点,节点就可以根据自己的时间槽发送数据到簇首节点.簇首的任务是融合非簇头节点收集的数据,将数据融合发送给自己的父节点.同样父节点的簇首将数据发送给自己的父节点,直到所有数据都转发给 Leader,最后由 Leader 节点转发给基站.

3 CHCRP 算法过程

CHCRP 算法的执行过程如下:

(1)节点初始化,由基站向全网络发送分层消息:包括第 0 层宽度 d_0 ,以及其他层宽度 d .

(2)节点根据自己接收到信号的强弱计算自己到基站的距离,判断所在层次.

(3)各层通过改进的阈值选举候选簇首,候选簇首一跳竞争正式簇首,节点入簇.没有加入任何簇的孤立节点通过中间节点加入最近的簇.

(4)簇间路由,第 0 层建立“主链”,其它层建立互不相交的“从链”并行通信,簇首节点只与自己相邻的两个簇首节点通信,并且除了第 0 层的簇首节点同层的簇首不联系.最后由 Leader 节点直接与基站通信.

(5)簇首轮换机制,当簇首节点能量小于簇内平均能量从簇内选出剩余能量最大的为代理簇首.由基站记录循环轮数,当进行到一定轮数 C 时,重新执行改进算法.

4 仿真结果分析

实验仿真采用 MATLAB 平台对 CHCRP 算法与 LEACH、PEGASIS 进行比较,分别从簇首分布情况、网络生存周期和数据传输时延三个方面考虑,评价改进算法的性能.在区域为 $200\text{ m} \times 200\text{ m}$ 的空间,200 个传感器节点随机分布在区域内,基站节点在区域外固定位置(150,50).候选簇首广播的竞

争消息包为 200 bit, 数据融合耗能 $E_{DA} = 5 \text{ nJ/bit}$, 具体参数如表 1 所示.

LEACH 协议中, 随机选择簇首以及簇首与基站单跳通信是导致节点快速死亡的重要原因. PEGASIS 理论上的性能是非常好的, 但是会带来较大的滞后性, 同时个别节点的失效, 会导致数据采集的整体失败. CHCRP 算法结合上述两个协议的优点不仅有效的降低了能耗, 而且保证了数据的实时性.

表 1 实验仿真参数

参数	参数值
节点初始能量 E_0	0.5 J
数据包长度	4 000 bit
广播包	200 bit
E_{elec}	50 nJ/bit
E_{DA}	5 nJ/bit
ϵ_{fs}	$10 \text{ pJ} \cdot \text{bit}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$
ϵ_{mp}	$0.013 0 \text{ pJ} \cdot \text{bit}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$

改进的协议在簇首选择中除了考虑能量因素同时引入一跳竞争机制保证簇首分布合理. 仿真实验证明 CHCRP 算法使得每层的簇首分布更加合理.

图 2 所示三种路由算法在每轮循环中节点剩余个数对比情况. 根据十次循环得到统计平均值, 第一个节点失效时 LEACH 算法运行了约 165 轮, PEGASIS 算法运行了约 251 轮, CHCRP 算法已运行了约 628 轮. 最后一个节点死亡的轮数也推迟了. 从图 3 可以看出改进算法的网络负载更加均衡, 网络生命周期比 LEACH 和 PEGASIS 分别提高了约 117%、143%.

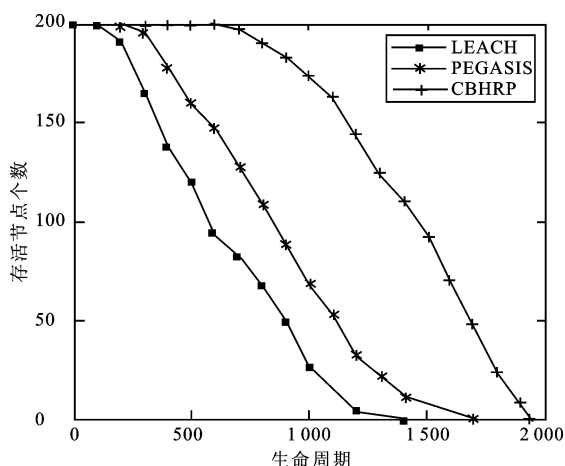


图 2 三种协议网络生命周期对比

节点传输一次数据包计做一个单位的数据延迟. 图 3 是三种路由算法的数据延迟比较. 由于文中算法在簇首间采用结合分层的链式传输能有效减少 PEGASIS 长链带来的延迟. 由于 LEACH 算法与

CHCRP 算法每轮分簇个数不确定, 所以分别统计两种算法 50 轮分簇数目的平均值来计算延迟. 从图中可以看出改进的算法实时性略低于 LEACH, 但是只是 PEGASIS 算法的 17% 左右.

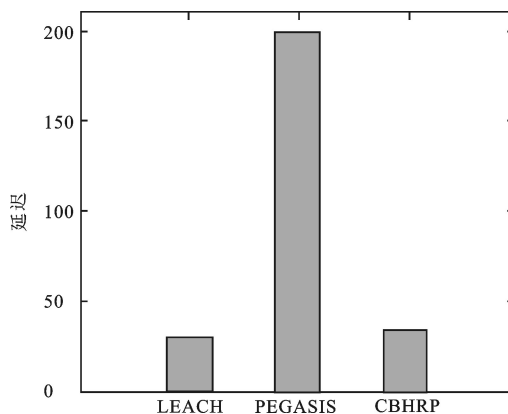


图 3 三种协议数据延迟比较

仿真证明 CHCRP 算法在簇首分布和网络生存周期、数据传输时延方面都有一定的改进. CHCRP 算法均衡了簇首节点的通信能耗, 使网络负载更加均衡从而延长网络生命周期.

5 结束语

本文吸取了 LEACH 协议和 PEGASIS 协议的优点, 并结合分层的思想设计了一种基于簇首成链的分层分簇路由协议. 通过实验仿真证明了 CHCRP 协议能有效的延长网络生命周期, 平衡节点负载并且结合分层的簇间通信减小了数据传输时延.

参考文献:

- [1] Singh S K, Singh M P, Singh D K. Routing protocols in wireless sensor networks - A survey [J]. International Journal of Computer Science & Engineering Survey (IJCSES), 2010, 1(2): 63-83.
- [2] 蒋畅江, 石为人, 唐贤伦, 等. 能量均衡的无线传感器网络非均匀分簇路由协议[J]. 软件学报, 2012, 23(5): 1222-1232.
- [3] 周冬鑫, 金文光, 容志能. 基于分层的无线传感网络多跳分簇路由算法[J]. 传感技术学报, 2011, 24(1): 73-78.
- [4] Katiyar V, Chand N, Gautam G C, et al. Improvement in LEACH protocol for large-scale wireless sensor networks[C]// Emerging Trends in Electrical and Computer Technology (ICETECT), 2011 International Conference on. China, Taiyuan, IEEE, 2011: 1070-1075.

(下转第 17 页)



(a) 2013年图像



(b) 2012年图像

图5 不同时间及尺度下的实验图像

表2 实验2 分类精度

方法	分类精度/%
M1	85.71
M2	91.42
M3	94.29
Ours	97.14

从表1的结果可以看出采用多特征融合方式的分类精度明显高于单特征的分类精度,而且从结果可以看出本文提出的特征紧耦合方法分类精度最高。

从表2的结果可以看出由于景物颜色发生变化加上图像中存在一定的尺度变化,利用颜色特征进行分类的精度明显降低,利用纹理特征的分类精度也受到较大的影响。采用多特征融合的方式相比于前面两种方法精度较高,而本文提出的基于紧耦合

的特征融合方法精度最高,具有较强的鲁棒性。

6 结束语

本文提出一种基于多特征紧耦合的航拍图像区域多级分类算法来解决航拍图像区域利用单特征或是采用多特征松耦合方式分类精度低的问题。利用Google Earth软件截取不同时间、尺度下的训练样本和测试样本进行实验,结果表明相比于单特征的分类方法以及采用松耦合特征融合的方法,本文提出的方法精度较高。

参考文献:

- [1] 赵锋,薛惠峰,王伟,等.采用多级分类器的手写数字识别技术研究[J].微电子学与计算机,2006,23(12):30-32.
- [2] Fitzgerald D, Walker R, Campbell D. A vision based forced landing site selection system for an autonomous UAV[C]//Proceedings of the 2005 International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing. Australia, Sydney, 2005: 397-402.
- [3] 贺金鑫,陈圣波,王阳,等.一种基于朴素贝叶斯分类模型的高光谱矿物精确识别方法[J].光谱学与光谱分析,2014,34(2):505-509.
- [4] Khan F S, Van D W J, Ali S, et al. Evaluating the impact of color on texture recognition[C]//Computer Analysis of Images and Patterns. UK: York, 2013: 154-162.
- [5] Smeulders A W M, Worring M, Santini S, et al. Content-based image retrieval at the end of the early years[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(12): 1349-1380.
- [6] 史变霞,张明新,乔小妮,等.基于颜色特征的图像检索方法[J].微电子学与计算机,2010,27(4):158-161.

作者简介:

马旭女(1985-),博士研究生.研究方向为视觉导航、模式识别及图像处理。

(上接第12页)

- [5] Lee H Y, Lee K O, Lee H L, et al. CBERP: Cluster based energy efficient routing protocol for wireless sensor network[C]//Proc. 12th Int. l. Conf. Networking, VLSI and Signal Processing. University of Cambridge, UK, 2010: 24-28.
- [6] Tang F, You I, Guo S, et al. A chain-cluster based routing algorithm for wireless sensor networks[J]. Journal of intelligent manufacturing, 2012, 23(4):

1305-1313.

作者简介:

王鑫男,(1976-),副教授,硕士生导师.研究方向为网络与信息安全。

王梦莹女,(1990-),硕士研究生.研究方向为无线传感器网络。

蒋华男,(1963-),教授,硕士生导师.研究方向为数据库系统、信息安全。