

一种基于 GAF 的无线传感器网络分簇算法

李冰, 李捷

(河南大学 计算机与信息工程学院, 河南 开封 475004)

摘要:分簇技术主要目标是延长整个传感器网络的生存时间。好的分簇技术可以提高无线传感器网络的可扩展性。就“热区”内的负载平衡问题,以及频繁的簇头轮换和簇重组问题,对基于 GAF 算法的完全簇头选择算法进行改进,结合双簇头模型和单簇头模型的优点,提出了一种无线传感器网络簇头非均匀分布算法,有效地平衡“热区”内节点的能耗,延长了无线传感器网络的生命期。

关键词:无线传感器网络;GAF 算法;分簇;负载平衡

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2008)12-0113-03

GAF - Based Clustering Algorithm of Wireless Sensor Network

LI Bing, LI Jie

(College of Computer & Information Engineering, Henan University, Kaifeng 475004, China)

Abstract: The main objective of the clustering technology is extending the survival time of the sensor network. Good clustering can improve extensibility of wireless sensor network. In order to solve the problem of load balance, and take turns the cluster-heads and re-organization of the cluster which is in the “hot spots” high frequency. Improves on the GAF-based full protocol, combines virtues of the two cluster-heads model and the one cluster-heads model, and proposes a cluster head uneven distributing algorithm of wireless sensor network. The new algorithm balances the energy of the nodes in the “hot spots” effectively, and extends the lifespan of the wireless sensor networks.

Key words: wireless sensor networks; GAF algorithm; clustering; load balance

0 引言

由于无线传感器网络存在着严重的能量约束问题,在该种网络协议及传输机制的研究中,尽量减少节点耗能、延长网络生存时间成为一个主要目标。分簇机制是将网络划分成可以相互通信的,并覆盖网络中所有节点的多个簇,周期性地为每个簇选择簇头节点,这样可以均衡网络中的节点能量消耗。分簇算法是一个重要的研究方面。一个好的分簇算法能够形成优良的网络拓扑结构,提高路由协议及 MAC 协议的效率,为数据融合、时间同步和目标定位等提供基础^[1]。

研究表明,对于大规模的无线传感器网络,层次型分簇路由算法比平面路由算法具有更好的适应性和节能性^[2]。但是这就不可避免地导致“热区”问题,即邻

近 sink 节点的簇头由于转发大量的数据,使其能量消耗过快,造成网络分割现象,降低网络存活时间。在网络中,大部分包碰撞、网络拥塞、包丢失都发生在距离基站节点几跳的范围之内,仅仅依靠分布式拥塞控制、层次式网络设计、数据融合等并不能彻底改善基站附近节点的瓶颈环境^[3]。所以对 sink 节点附近的节点进行负载平衡,不但可以对包碰撞、网络拥塞、包丢失的发生有所缓解,还可以平衡节点的能量消耗,延长传感器网络的生命期。

近年来,研究人员提出了多种传感器网络的分簇算法来缓解“热区”问题,其中文献[4]提出了一种基于非均匀分簇(Energy-Efficient Uneven Clustering, EEUC)算法,靠近 sink 节点的簇的规模小于远离汇聚点的簇,因此靠近 sink 节点的簇头可以为簇间的数据转发预留能量,这在一定程度上平衡了簇头的能量消耗。但由于靠近 sink 节点的簇的成员数目较小,从而增加了簇的数量,不利于簇头进行数据融合,会增加数据的流量。在文献[5]中提出了把剩余能量最大的两个簇员作为新的簇头和新的候选簇头算法,即双簇头算法,这种算法簇头耗能较快,因为算法结束时,簇头

收稿日期:2008-03-27

基金项目:国家高科技 863 项目(2007AA01Z404, 2007AA01Z478)

作者简介:李冰(1980-),女,河南开封人,硕士研究生,研究方向为无线传感器网络、移动代理;李捷,博士,副教授,研究方向为网络管理、无线传感器网络。

和候选簇头都要向本簇所有成员发出通告消息,能耗两倍于单簇头。但这种算法达到了负载均衡的目的。

有研究证明^[6]双簇头模型比单簇头模型更能延长网络的生存期,有更好的稳定性和安全性。由于网络边缘区域的簇头节点不转发或只转发少量的数据,“热区”内的簇头需要新一轮的选举时,“热区”外的簇头很可能还没有达到阈值。所以在“热区”内使用双簇头算法不但可以提高网络的稳定性和安全性,还能更好地平衡节点的能耗。

为了方便地把“热区”定量的划分出来,在文中使用 GAF(geographical adaptive fidelity)算法^[7]将传感器网络划分成若干个簇。GAF 算法是以节点地理位置为依据的分簇算法。该算法把监测区域划分成虚拟单元格,将节点按照位置信息划入相应的单元格;每个单元格为一个簇,每个簇中只有簇头节点保持活动,其他节点进入睡眠状态。

基于以上的考虑,提出了一种基于 GAF 的无线传感器网络分簇算法——簇头非均匀分布(Cluster Head Uneven Distributing, CHUD)算法,此算法将在“热区”内的簇执行双簇头算法,来实现负载均衡。这样“热区”内的簇就不必进行频繁的簇头轮换和簇重组,以延长网络的生存时间;在“热区”以外的簇执行单簇头算法,簇头工作时,其它节点处于休眠状态,以节约能耗。

1 网络拓扑

首先,需要利用 GAF 算法将整个无线传感器网络划分成若干个正方形虚拟单元格。各节点再根据以下定理判断自己是否在“热区”内。

定理:假定 sink 节点 O 的坐标为 $(0,0)$,“热区”为 $H(m,n)$,若任意传感节点 $p(x,y)$ 是相对 sink 节点 O 的坐标,sink 节点与传感节点有相同的通信半径 R ,当且仅当下式同时成立,称传感节点 $p(x,y)$ 在“热区”内。

$$m \geq \lceil x / \frac{R}{\sqrt{5}} \rceil, n \geq \lceil y / \frac{R}{\sqrt{5}} \rceil;$$

其中“/”为除法运算符,“ $\lceil \cdot \rceil$ ”为向上取整运算符。

证明:为了方便讨论,作出以下假设:

(1) 所有传感器网络中的节点随机分布在以 sink 节点为原点的二维坐标系上,节点都知道自己的地理位置,即自己的坐标,并且所有节点的各项性能参数相同。

(2) 网络具有稳定的拓扑结构,即传感器节点部署之后不再移动。

(3) sink 节点的能量是无限的,网络中其它所有节点的能量是有限的。

(4) 节点有状态切换功能,当节点空闲时可以进入休眠状态以节省能量。

假设网络区域划分的正方形虚拟单元格边长为 r (见图 1),为了保证相邻两个单元格中任意两个节点能够直接通信,需要满足关系^[7]:

$$r^2 + (2r)^2 = R^2 \Rightarrow r \leq \frac{R}{\sqrt{5}}$$

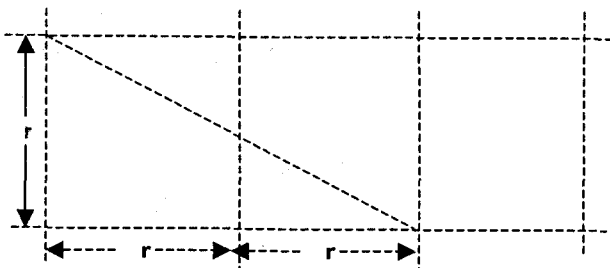


图 1 GAF 算法中的虚拟单元格划分

从而易证以上定理。将邻近 sink 节点一跳范围称为“一跳热区”。由于网络中所有的数据都要经过“一跳热区”转发给 sink 节点,所以该区域能量消耗速度最快,如果“一跳热区”内的传感节点能量耗尽,网络中的数据就无法发送给 sink 节点,那么网络的生命期就此结束。因此在网络初始运行时, m,n 的值一般不会太大,当邻近“热区”的节点能耗达到一定程度时,可以根据实际情况将 m,n 适当增大,以延长网络的生命期。

2 CHUD 算法描述

基于 P. Santi 等人提出的一种 GAF 改进算法^[8],在 GAF 算法的基础上提出了一种完全簇头选择算法,该算法要求每个节点都知道自己的 ID 及属于哪个单元格,并且同一单元格内的节点保持时间同步。对此算法稍做改进,在算法运行的过程中,不但选出剩余能量最大的节点,同时选出剩余能量次大的节点,剩余能量最大的节点做为簇头节点,然后判定簇是否在 $H(m,n)$ 内,如果在,则将剩余能量次大的节点做为候选簇头节点,所谓候选簇头节点就是当簇头节点剩余能量达到阈值时,该节点被唤醒并接任簇头节点的工作。

在算法开始时,节点按照编号依次发送和接收通告消息 $M(P_1, P_2, E_{\max}, E_{\max}')$,其中, E_{\max} 为簇内节点中最大的剩余能量值, E_{\max}' 为剩余能量次大值, P_1, P_2 为相应的 ID。

假设其中一个簇内节点集为 N ,任意一个节点的编号为 P_n ,能量为 E_p , T_r 为初始时刻, T_i 为每个节点每次通告消息需要的时间,具体簇头选举过程如下:

Step1 初始化

T_r 时刻 $\forall P \in N$, 设置每个节点每次通告消息的时间为 T_s 。

Step2 在 $T_r + (P-1) \times T_s$ 时刻, $\forall P \in N$ 执行以下步骤:

- ① 如果 $P_n = P$, 转到 ②; 否则转到 Step3;
- ② 接收通告消息 $M(P_1, P_2, E_{\max}, E_{\max}')$; 如果 $E_p > E_{\max}$, 转到 ③; 如果 $E_{\max}' < E_p < E_{\max}$, 转到 ④;
- ③ 将 $M(P_1, P_2, E_{\max}, E_{\max}')$ 替换成 $M(P_n, P_2, E_p, E_{\max}')$;
- ④ 将 $M(P_1, P_2, E_{\max}, E_{\max}')$ 替换成 $M(P_1, P_n, E_{\max}, E_p)$;
- ⑤ 如果 $P_n = n$; 转到 Step3;

Step3 如果 M 第一个数据域的坐标 (x, y) 同时满足: $m \geq \lceil x/\sqrt{R} \rceil, n \geq \lceil y/\sqrt{R} \rceil$, 向全簇发送通告消息 M , M 第一个数据域为簇头, 第二个数据域为候选簇头; 否则第一个数据域为簇头; 如果 $P_n \neq n$, 在 $T_r + P \times T_s$ 时刻发送 M 。

在 $T_r + n \times T_s$ 时刻, 在“热区” $H(m, n)$ 内的单元格中所有节点打开通信模块, 接收第 n 个节点发送的通告消息 M , 这样, 所有的节点均得知簇头节点和候选簇头节点的 ID 和剩余能量值, 除簇头节点外, 其它节点再次关闭通信模块进入睡眠状态, 当簇头节点不能继续工作时, 唤醒候选簇头节点接替簇头节点的工作。

在“热区” $H(m, n)$ 外簇头节点选举结束后, 对候选簇头节点不再进行标识, 即除簇头节点外, 其它节点关闭通信模块进入睡眠状态, 因为“一跳热区”内的簇头能耗速度极快, 在此区域内需要开始下一轮簇头选举算法时, 其它区域内的簇头还没有达到阈值。

3 实验结果

在仿真实验中, 400 个无线传感器网络节点随机分布在 200×200 的正方形区域内, 基站的位置坐标是 $O(0, 0)$, 在不影响结果的情况下, sink 节点可以为网络中任意位置的节点。节点的初始能量都为 $0.5J$, 节点每发送 1bit 数据耗能 50nJ , 节点每融合 1bit 数据耗能 5nJ , 数据包大小为 4000bits 。在仿真过程中, 为了方便分析 CHUD 算法的能量效率, 假设采用理想的 MAC 协议, 无线链路中丢包率为零。

由于簇头的能耗占整个网络能耗的主要部分, 在实验过程中, 记录每运行一次簇头轮换算法, 网络中所有簇头消耗的能量之和。随机抽取 10 轮, 结果如图 2 所示。与经典的 LEACH 协议相比, CHUD 算法大大降低了簇头的能耗; 与 EEUC 算法相比, 不但簇头的能耗有所减少, 而且每轮簇头的能耗比较平稳, 说明

CHUD 算法实现了一定程度的负载平衡。

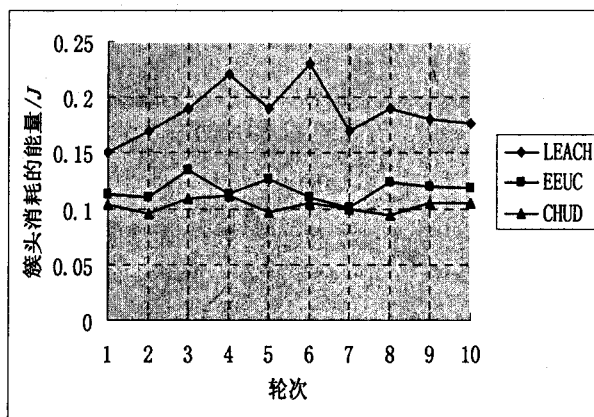


图 2 簇头消耗的能量之和

无线传感器网络的生命期与网络中节点的生存个数息息相关, 在图 3 中, 看到随着仿真时间的延长, CHUD 算法网络中节点的生存个数远远大于 LEACH 算法和 EEUC 算法, 但是在图 2 中 CHUD 算法簇头的能耗仅略低于 EEUC 算法, 原因在于任一种簇头轮换算法每运行一次, 都要消耗网络中大量的能量, 而 CHUD 算法运行簇头轮换算法的频率低于其它两种算法, 从而节约了大量的能量。

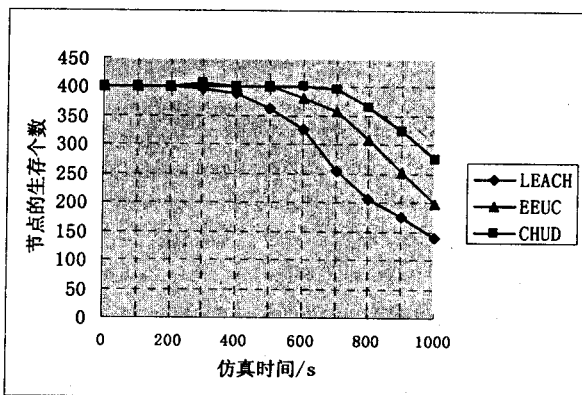


图 3 生存节点数随时间的变化趋势

在 CHUD 算法中, 任一时刻网络中工作的节点都是簇头节点, 其它节点处于休眠状态, 而且簇头选举的频率很低, 使整个网络的能耗大大降低, 从而延长网络的生命期。本算法中每一轮选举中簇头能量消耗平稳, 也证明了该算法的是稳定的, 提高了网络的稳定性。

4 结束语

在大规模无线传感器网络中, 利用分布式拥塞控制、层次式网络设计、数据融合等技术, 虽然大大减少了“热区”内节点的数据流量, 但此区域内的数据流量仍然是网络中最大的, 所以要通过负载平衡来延长此

(下转第 119 页)

整体来看略大于其余方法,这表明基于此种方法的融合图像所含的信息相对多些;而从互信息、结构保持信息和边缘保持信息来看,文中方法的融合结果比其它方法都具有优势,这表明融合图像从两幅源图像获取的信息的相关性最强,所含源图像的特征信息和边缘信息最多、最清晰。整体来看,基于文中的 NSCT 的融合效果相对较优,和源图像具有最多的交互信息,而且含有最多的结构信息和边缘信息,亮度和灰度分布适中,获得了较好的融合效果。这是因为 NSCT 的多分辨性、局部性、多方向性、各向异性和良好的平移不变性,能对图像中的围线信息有更好的表示,保留源图像特征信息的能力更强,且具有更好的边缘保持能力。

表 1 遥感图像融合结果比较

分解 层数	融合 方法	标准测试指标					
		MV	STD	IE	WFQI	EFQI	MI
3 层分 解融合	CT 源图	9.87830	37.2660	1.1871	—	—	—
	MRI 源图	54.2430	57.1180	3.9205	—	—	—
	WT	61.1580	71.2347	4.7619	0.7561	0.6885	2.9178
	NSWT	57.70936	3.2786	4.5682	0.8466	0.8033	4.0450
	Cont-T	62.1458	66.4447	4.7019	0.7773	0.7191	3.4948
	NSCT	59.7093	65.2941	4.7734	0.8662	0.8224	4.0579

4 结束语

文中基于 CT/MRI 医学图像的特征,提出了一种基于非下采样 Contourlet 变换的自适应医学融合新算法。在融合的过程中充分考虑到医学图像中细节和结构信息的重要性,基于融合指标最优,引入免疫克隆选择优化策略自适应获取渐进最优融合参数。实验结果

表明,基于文中算法的医学图像融合,可以获得较优的融合效果,图像的清晰度和对比度都有所提高,融合图像含有源图像中较多的特征信息和边缘信息。

参考文献:

- [1] Nunez J, Otazu X, Fors O, et al. Multiresolution Based Image Fusion with Additive Wavelets Decomposition [J]. IEEE Trans. on Geosci Remote Sensing, 1999, 37(3): 1204 - 1211.
- [2] 张洁, 蒋宁, 浦立新. 基于小波变换的医学图像融合技术[J]. 电子科技大学学报, 2005, 34(6): 839 - 842.
- [3] 周朋, 奚日辉, 宋玲玲, 等. 基于小波变换的医学图像融合技术的实现[J]. 中国图像图形学报, 2006, 11(11): 1270 - 1273.
- [4] Do M N, Vetterli M. The Contourlet Transform: An Efficient Directional Multiresolution Image Representation [J]. IEEE Trans. Image Process, 2005, 14(12): 2091 - 2106.
- [5] Miao Q G, Wang B S. A Novel Image Fusion Method Using Contourlet Transform [C]//In: Proc of international conference on communications, circuits and systems. [s.l.]: [s.n.], 2006: 548 - 552.
- [6] Arthur L da C, Zhou J P, Do M N. The Nonsubsampled Contourlet Transform: Theory, Design and Application [J]. IEEE Trans on Image Process, 2006, 15(10): 3089 - 3101.
- [7] Yang X H, Jiao L C, Qi Y T, et al. Multifocus Image Fusion Based on Multiwavelet and Immune Clonal Selection [C]//Advances in Natural Computation. Berlin: Springer, 2006: 805 - 815.
- [8] Piella G. New Quality Measures for Image Fusion [EB/OL]. 2004. <http://www.fusion2004.foi.se/papers/IF04-0542.pdf>, 2004.

(上接第 115 页)

区域的生命期。文中提出的簇头非均匀分布算法,利用休眠机制和降低簇头选举的频率,大大减少了无线传感器网络的能耗。并且首次将“热区”定量地划分出来,分析了无线传感器网络及其“热区”的特点,在“热区”内利用双簇头算法提高网络的稳定性和安全性,更体现了双簇头算法对“热区”内的节点进行负载均衡的优越性。

参考文献:

- [1] 陈静, 张晓敏. 无线传感器网络簇头优化分簇算法及其性能仿真[J]. 计算机应用, 2006, 26(12): 2787 - 2788.
- [2] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks [C]//Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences. Maui, HI: [s.n.], 2000.

- [3] 张重庆, 李明禄, 伍民友. 数据收集传感器网络的负载均衡网络构建方法[J]. 软件学报, 2007, 18(10): 1111 - 1112.
- [4] 李成法, 陈贵海, 叶懋, 等. 一种基于非均匀分簇的无线传感器网络路由协议[J]. 计算机学报, 2007, 30(1): 27 - 36.
- [5] 熊焰, 吕天行, 苗付友, 等. 无线传感器网络中一种能量有效的簇头选举算法[J]. 计算机工程, 2006, 32(24): 104 - 106.
- [6] 胡海江, 张凤登. 一种新的无线传感器网络分簇模型[J]. 传感技术学报, 2006, 19(2): 477 - 480.
- [7] Xu Y, Heidemann J, Estrin D. Geography-informed energy conservation for ad hoc routing [C]//In: Proc 7th Annual Int'l conf on Mobile Computing and Networking (MobiCOM). Rome, Italy: [s.n.], 2001: 70 - 84.
- [8] Santi P. Silence is golden with high probability: Maintaining a connected backbone in wireless sensor networks [C]//In: 1st European Workshop on Wireless Sensor Networks. Berlin: [s.n.], 2004.