

一种传感器网络跨层能量优先成簇算法

刘联欢, 白光伟

(南京工业大学 电子与信息工程学院, 江苏 南京 210009)

摘要: 文中提出 CLEEC 跨层能量优先成簇算法, 基于节点剩余能量来选举簇头节点, 使网络能量均匀消耗, 延长网络的生存时间. 模拟实验结果显示, 与现有的典型成簇方案相比, 新的成簇算法在传感器网络下提供了更长的网络生存时间和更大的网络吞吐量.

关键词: 无线传感器网络; 成簇算法; 能量优先

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)05-0122-03

A Cross-Layer Energy Efficient Clustering Algorithm for Sensor Networks

LIU Lian-huan, BAI Guang-wei

(Department of Computer Science and Technology, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China)

Abstract: This paper studies the performance of clustering algorithm in saving energy for wireless sensor networks. A new Cross-Layer Energy Efficient Clustering (CLEEC) algorithm and energy-efficient clustering scheme for wireless sensor networks is proposed and evaluated. The main idea is that the high initial and residual energy nodes will have more chances to be the cluster-heads than the low energy nodes. Our simulational results show that the clustering scheme provides longer lifetime and higher throughput than the existing typical clustering protocols in WSN environments.

Key words: wireless sensor network; clustering algorithm; energy-efficient

1 引言

无线传感器网络 (Wireless Sensor Network, WSN) 是由大量传感器节点以自组织方式构成的无线通信网络, 其目的是协作地感知、采集和处理感知对象的信息, 并发布给观察者. 随着电子技术的发展, 体积小、价格低的无线传感器网络应用前景越来越广阔. WSN 中任意两个节点间的信息传送都基于网络路由, 路由协议的任务就是要为每个节点选择合理的邻居节点进行通信, 保证在全局网络连通的条件下降低节点的传输功率^[1], 延长网络生命周期.

由于能量受限是约束网络生命周期最主要的因素, 因此研究者对如何尽可能地减小节点发射功率

进行了研究并提出了一系列的路由算法和机制, 以达到节省能量的目的. 典型的算法 LEACH^[2], 是把传感器节点分簇, 并引入“轮”的概念, 每一轮按照选举公式选举一个簇头节点, 簇成员节点入簇后发送分组给簇头, 簇头将接收到的分组融合后形成新的分组传给汇聚节点. 下一轮再从簇内选举一个节点作为新的簇头, 以此类推. 簇头选举的随机性确保簇头与汇聚节点之间数据传输的高能耗成本均匀地分摊到所有传感器节点, 而且簇头会把采集到的数据进行融合, 通过减小传送分组的大小降低了发送能量, 延长了网络生命周期. 但该算法也有不足, 选举簇头节点的开销很大; 簇头节点选定后必须通过广播形式来通知簇内节点, 节点必须根据各个簇头广播的信号强度选择加入哪个簇; 增加了网络路由开

收稿日期: 2010-07-02; **修回日期:** 2010-08-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(60673185)

销,无法避免多个簇头节点直接发送分组到汇聚节点.针对 LEACH 中的不足,M. J. Handy 等人提出的 DCHS (deterministic cluster-head selection)^[3]将能量因素考虑进来,可以使能量消耗较低的节点优先当选簇头,避免了网络的死亡节点过早出现.而将结合节点位置覆盖密度来选举簇头^[4],由于综合考虑了节点能量和阈值及覆盖密度大小对簇头选取的影响,使算法更公平合理.该节点选取算法能在 LEACH 基础上有效提高网络生命周期 20%~30%左右.而基于分布式能量优先的 DEEC^[5]算法使用节点的剩余能量水平来决定簇头节点的选举,使簇头的选举适应能量的变化,但该算法的簇头选举代价过高.文中基于特定的链式拓扑结构提出了跨层能量优先的成簇算法(Cross-Layer Energy Efficient Clustering, CLEEC),充分利用链状传递节约能量和分簇传递减少延迟达到能量均匀消耗以延长网络生命周期.

2 场景模型

假设传感器节点分布在 50 m×50 m 的二维空间中.100 个节点按纵坐标 5m 的范围划分为 10 个带状区域,每个带状区域中包含 10 个节点,如图 1.汇聚节点固定在离最近节点距离大于 20 m 的(0, 70)处.

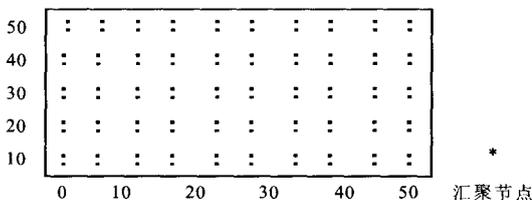


图 1 传感器节点分布模型

该模型具有以下假设:

- ① 汇聚节点处在距离所有普通节点较远的一个固定位置;
- ② 所有节点可以直接和汇聚节点进行通信;
- ③ 所有的普通传感器节点都是同构的并且具有相同的初始能量;
- ④ 信号传送是对称的,即节点 i 发送消息到节点 j 与节点 j 发送消息到节点 i 的能耗相等.
- ⑤ 传送分组的能量消耗取决于于发送点和接收点的距离以及需传送的分组大小;
- ⑥ 接收分组的能量消耗取决于于发送点和接收点的距离以及需传送的分组大小.

模型的目的是将所有传感器节点采集到的数据以分组的形式发送给较远的汇聚节点.文中采取

LEACH 算法的一阶信号模型.首先估计网络的生存时间.设 R 表示总网络生存时间的总轮数, E_{total} 表示网络的初始总能量.假设在理想情况下,网络在每一轮所消耗的能量 E_{round} 是一样的,以使所有的节点在几乎相同的时间死亡.于是由下式得到网络生存时间的估计值: $R = E_{round} / E_{total}$

在传输 l 比特消息经过距离为 d 的过程中,无线电路消耗的能量 E_{tx} 可以由下式决定^[7]:

$$E_{tx}^{(l,d)} = lE_{elec} + l\epsilon_{amp} d^2$$

其中, E_{elec} 表示运行传输电路或者接收电路时每比特数据所消耗的能量, ϵ_{amp} 为放大器消耗的能量.对于链式单跳拓扑结构,节点只需和它最近的邻居进行通信.每一轮开始时选择一个头节点,然后采取令牌传递的方式让每个拿到令牌的节点依次发送分组给邻居节点,邻居节点接收到数据后再融合自己采集的数据传送给它的下一跳邻居节点,以此类推直到数据传递到头节点为止,最后头节点发送分组到汇聚节点.与 LEACH 相比,CLEEC 减少了每一轮簇重构的开销,每个节点传送分组的距离大大减小,且每个节点通过数据融合减小了传送分组的大小,每轮只有一个节点负责向汇聚节点传送分组.

3 CLEEC 跨层能量优先的成簇算法

CLEEC 跨层能量优先的成簇算法基本思想:

- ① 在每轮初期,每一个传感器节点计算得到自己概率 P_i ;
- ② 节点 i 以 P_i 的概率当选为簇头节点 CH ,非 CH 节点概率则为 $1 - P_i$;
- ③ 作为 CH 簇头节点 i 在一轮传输中使用的能量 E_{CH}^i ;
- ④ 作为非 CH 节点 i 在一次传输中使用的能量 E_{nm-CH}^i .

整个网络每轮消耗的能量可计算为:

$$P_i E_{CH}^i + (1 - P_i) E_{nm-CH}^i = \frac{E_0}{R}$$

其中 R 是网络生命周期一共的轮数.于是有:

$$P_i = \frac{\frac{E_0}{R} - E_{nm-CH}}{(E_{CH} - E_{nm-CH})}$$

由上式可以看到,拥有高初始能量的传感器节点具有更高的概率成为簇头,这就使得高能量的节点可以消耗更多的能量来保证网络中所有的节点能耗趋于均衡.节点根据跨层能量优先来确定节点簇头当选概率,并从理论上计算此概率值,采用分布式

成簇算法,节点自主决定当选簇头的概率,不需集中控制.这种分布式算法非常适用于无线传感器网络.

算法目标就是尽力将能量消耗均摊在各个节点之间,减少因能量消耗过快而过早出现死亡的节点,从而延长网络生命周期.

假设总数为 n 个节点分布在 $N \times N$ (单位:m) 的二维空间中,按纵坐标将该二维空间分成若干个带状区域,设每个带状区域的高度为 h (单位:m),则总共分为 N/h 条带状区域.设每条带状区域中分布有 k 个节点,这 k 个节点形成链状拓扑,可以通过调节每个节点的发射功率使其只能和最近的邻居节点通信^[4].算法分为两个阶段,链状拓扑传递和分簇拓扑传递.

第一阶段,链状拓扑传递阶段.首先把带状区域的每条链上的节点标号 $1, 2, 3, \dots, k$.在第 i 轮选择第 i 个节点作为该链的头节点以此往复循环.链端节点将采集到的数据发送其邻居节点,然后该邻居节点把接收到的数据和自己采集的数据融合后发送给下一跳邻居节点,以此类推,直到分组传递到头节点.每一轮中某个时刻选择哪个节点发送分组可以用令牌传递来决定.如图2,在第三轮时,C3被选为头节点,C1首先拿到令牌发送分组到C2,然后传递令牌到C2,C2拿到令牌后融合C2和自己的数据,然后发送分组到C3,C3再把令牌传送到C5,C5随后发送分组到C4,C4融合C5和自己数据后发送分组到C3,C3再融合C2,C4以及自己采集的数据形成新的待发送的分组.

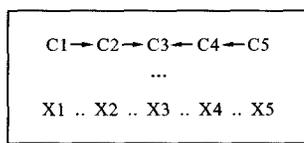


图2 链上节点传送分组示意图

第二阶段,分簇拓扑传递阶段.当每条链上的头节点完成了数据的融合后,每条链的头节点形成一个新的簇.假设是第 i 轮,则选取每条链上的第 i 个节点即该轮的所有头节点形成一个新的簇,选择其中一个节点作为簇头.然后簇成员节点在自己分配到的TDMA时槽内直接发送分组到簇头,簇头完成数据融合后直接将分组发送到汇聚结点.

在第二轮第一阶段完成后,A3,B3,C3...X3形成一个新的簇,按CLEEC算法选择其中一个节点作为簇头节点.设B3被选为该轮的簇头节点,其余节点向B2发送分组,簇头最后将汇总后的数据直接发送给汇聚节点.如图3所示.

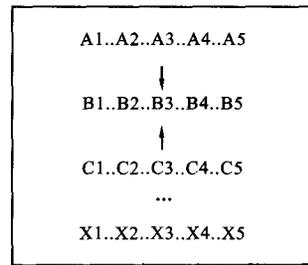


图3 分簇后节点传送分组示意图

4 算法性能分析与评价

文中使用NS2仿真来评估CLEEC算法的性能.设100个节点分布在一个10行 \times 10列、大小为50m \times 50m的矩形区域中,同时假设传递一个大小为2Kbit分组的时间为一个单位延迟,每轮仿真开始时,簇成员节点都要向簇头节点传送2Kbit的分组.

实验结果显示,CLEEC跨层能量优先成簇算法在延长传感器网络的生命周期有显著的优势.由前面的研究可知,改进后DEEC优于LEACH和DCHS,所以用改进后的DEEC为基准来比较.图4描述了网络在运行这四种算法时,节点在各轮生存节点的数量变化情况.

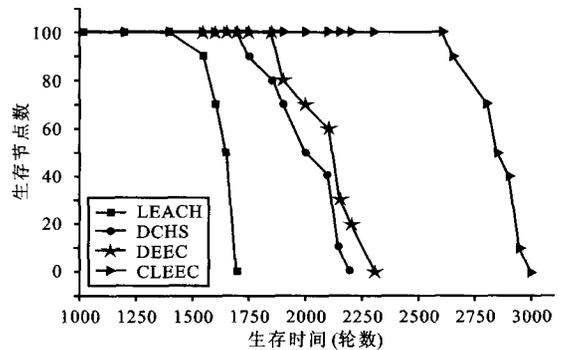


图4 四种算法性能比较

可以看出,发生首个节点失效的轮数和网络有30%的节点生存时的轮数,即比较两种情况下网络的稳定性和生命周期.在图4中CLEEC相对与DEEC来说把网络的稳定周期延长了42%以上,同时把网络的生命周期延长了30%以上.这是由于CLEEC利用链状传递和分簇传递相结合达到能量均匀消耗,避免了过早发生“死亡节点”.

5 结束语

文中提出了一个跨层能量优先的成簇算法,利用链状传递节约能量和分簇传递减少延迟达到能量

(下转第129页)

电路工作时的平均电流为 35.7mA.

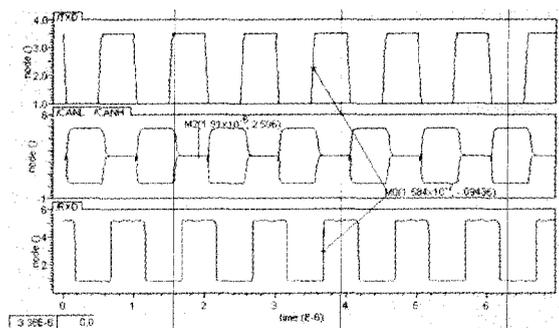


图9 电路整体仿真结果

3 结束语

文中设计了一款应用于CAN总线的收发器芯片电路.主要介绍了其中的接收电路、过压和负压保护电路的设计,以及电路的总体仿真结果.电路采用 $0.5\mu\text{m}$ 40V BCD工艺,仿真结果表明该电路具有较好的过压保护功能.在接收模块中,采用了一带电平提升电路的迟滞比较器,在总线负载为 $R=60\Omega$ 、 $C=200\text{pF}$ 下完整地实现了信号传输功能.该收发器可很好的应用于CAN总线通讯中.

参考文献:

- [1] 邹宽明,现场总线技术应用选编(上)[M].北京:北京航空航天大学出版社,2003.
- [2] Gert N. Helles(丹麦),CAN总线及其集成解决方案[J].技术与市场,2003,(5):29-31.
- [3] Phillip E Allen, CMOS Analog Circuit Design[M].冯军译.北京:电子工业出版社,2005:379-386.
- [4] Behzad Razavi. Design of Analog CMOS Integrated Circuits[M].陈贵灿,译.西安:西安交通大学出版社,2005.
- [5] 陈惠新,模拟集成电路中的保护电路分析[J].微电子技术,1999,27(5):32-37.
- [6] 周庆生,吴晓波.一种新型欠压锁定电路的设计[J].微电子学与计算机,2006,23(11):199-201.
- [7] 刘冬生,邹雪城.多节锂电池过电压保护芯片的设计[J].微电子学与计算机,2006,23(2):79-82.

作者简介:

唐兴刚 男,(1981-),硕士,工程师.研究方向为模拟集成电路设计.

贺克军 男,(1981-),硕士,工程师.研究方向为混合电路设计.

王丽 女,(1982-),本科,工程师.研究方向为混合信号测试.

(上接第124页)

均匀消耗以延长无线传感器网络生命周期的目的.实验结果显示,该算法较一些重要的路由算法(如LEACH,DEEC)在均衡节点能量负载、提高网络生存周期方面都有良好的改善.该算法还有进一步改进的空间,如在CLEEC算法第一阶段也可以根据剩余节点能量选举簇头节点来提高节点能量负载均衡,还可以考虑通过路径的权重评价函数^[8]进行簇头节点的选择.

参考文献:

- [1] 赵彤,郭田德.无线传感器网络能耗均匀路由模型和算法[J].软件学报,2009,20(11):1588-1600.
- [2] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks[C]// Proceedings of the 33rd International Conference on System Sciences (HICSS '00). Washington, DC, USA: IEEE, 2000:3005-3014.
- [3] Handy M J, Haase M, Timmermann D. Low energy adaptive clustering hierarchy with deterministic cluster-head selection[C]// Proceedings of 4th International Workshop Mobile and Wireless Communications Network. [s. l.]: IEEE, 2002:368-372.

[4] 苗紫晖,于海勋.无线传感器网络中LEACH算法的改进研究[J].微电子学与计算机,2009,26(12):142-145.

[5] Qing L, Zhu QX, Wang MW. A distributed energy-efficient clustering algorithm for heterogeneous wireless sensor networks[J]. Journal of Software, 2006,17(3):481-489.

[6] Lindsey S, Raghavendra C S. PEGASIS: Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems[C]// Proceedings of the IEEE Aerospace Conference, Big Sky, Montana: IEEE, 2002:1125-1130.

[7] Yoon SunHee, Cyrus Shahabi. Exploiting spatial correlation towards an energy efficient clustered aggregation technique (CAG)[C]// IEEE International Conference on Communications (ICC), Seoul, Korea: IEEE, 2005,(5):16-20.

[8] 张玉花,赵笑声,朱恩峰.一种基于路径的新型自适应路由算法[J].微电子学与计算机,2010,27(1):116-119.

作者简介:

刘联欢 男,(1962-),研究方向为网络与数据库.

白光伟 男,(1961-),博士后,教授.研究方向为计算机网络.