

一种节能的无线传感器网络路由算法的研究*

胡克满¹, 陶 军², 刘林峰³, 胡海燕¹

(1. 宁波职业技术学院, 浙江 宁波 315800; 2. 东南大学 计算机网络和信息集成教育部重点实验室, 江苏 南京 210096; 3. 南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210003)

摘要:针对已有的无线传感器网络(WSN)路由算法在具体的实际应用中存在的问题,提出了适合实际应用的路由算法的目标,并设计了一种能量敏感的路由算法,以节省能量消耗从而达到延长整个网络生命周期的目的。该算法在已有的分簇算法基础上加入休眠机制,使未承担传输数据的节点进入休眠状态,从而达到节能目的。在 GAINZ 节点组网环境中实现了基于该路由算法的原型系统,并对该算法的性能和效率进行了测试。研究表明,在实际应用过程中该算法能有效地提高网络的生命周期。

关键词:无线传感器网络;路由算法;能量敏感;原型实现

中图分类号:TH7;TP393

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2010)07-0053-04

Research of routing algorithm in one of energy-saving wireless sensor networks

HU Ke-man¹, TAO Jun², LIU Lin-feng³, HU Hai-yan¹

(1. Ningbo Polytechnic, Ningbo 315800, China; 2. Key Laboratory of Computer Network and Information Integration of Ministry of Education, Southeast University, Nanjing 210096, China; 3. College of Computer, Nanjing University of Post and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: Aiming at the existing problems of the typical wireless sensor networks(WSN) routing algorithm, the purpose of the routing algorithm in wireless sensor networks was put forward. In the meantime, energy aware routing algorithm was designed to reduce the energy consumption so as to prolong the network lifetime. On the basis of reliable routing clusters, the node which cannot transmit data comes into the state of sleep thus energy saving can be achieved. Prototype was implemented in the network node where the function and the efficiency of the routing algorithm was tested. The results indicate that the algorithm can prolong the network lifetime.

Key words: wireless sensor networks(WSN); routing protocol; energy aware; prototype implementation

0 引 言

无线传感器网络综合了传感器技术、嵌入式计算技术、分布式信息处理技术和通信技术,从而使传感器节点能够协作地实时监测、感知、采集网络分布区域内的各种环境信息或监测对象的信息(如温度、光照等)。大量廉价、低功耗的传感器节点部署在观测区域内,每个节点可以与其通信半径内的邻居节点通信,通过自组织的方式,共同构成一个高度灵活的、低能耗的网络^[1]。

本研究分析了几种典型的无线传感器网络路由算法,在此基础上研究了无线传感器网络能量敏感路由的算法,并通过原型得到验证。

1 典型无线传感器网络路由算法分析

无线传感器网络路由算法按照现有路由算法实现方法特征,可以将其归为 4 个大类:洪泛式路由、层次路由、以数据为中心的路由和基于地理位置信息的路由。洪泛式路由是一种比较经典的路由算法。其典型的路由算法有泛洪算法(Flooding)^[2]、闲聊算法(Gossiping)。层次式路由主要典型算法有:TEEN 算法和 LEACH 算法^[3,4]。SPIN 算法和 Directed Diffusion 算法是以数据为中心的路由。基于地理位置信息的路由主要有 GPSR 算法和 GPER 算法^[5,6]。除上述几种典型路由算法外,还有 PEGASIS^[7]、TTDD^[8]等其他路由算法等。目前,已有的无线传感器网络路由协议在某些环

境下能够改进和提高某项或几项性能指标,但要求节点均参与,并在建立路由时多进行扩散式的洪泛传播,因此导致其能量和时间开销往往难以容忍,针对某些应用工作环境的实现比较复杂,部署和管理也相对困难。

2 无线传感器网络路由算法特征分析

无线传感器网络路由算法的任务是在传感器节点和汇聚节点之间建立传输路径,并在路径上可靠地传递数据。由于传感器网络是一种资源受限的网络,如果路由算法的设计复杂度过高,则会要求单个节点保存过多信息、节点间交换过多报文等,这些额外负载严重降低了路由算法的总体性能。为有效完成上述路由任务,尽管已有的路由算法大都利用了传感器网络的以下特征:能量高效性、可扩展性、鲁棒性、快速收敛性等特征。但由于传感器节点的传输能力、能量、数据处理能力和内存都十分有限,而网络内节点具有数量众多、动态性强、兴趣数据量大等特点,因此需要结合网络资源进行路由算法的优化和管理。

3 无线传感器网络路由算法设计目标

在实际的场合应用过程中,路由设计目标未必一致,甚至可能表现出矛盾性,因此难以兼顾所有设计目标,首先要针对特定应用场合对无线传感器网络路由算法设计目标进行总体分析,要有主次之分、有所侧重、有所取舍地设计无线传感器网络路由算法,以达到网络效用最大化,使所设计的路由算法主要目标最优化。经研究分析,性能较优越的路由算法应该具备如下特征:

(1) 针对能量高度受限的特点,高效地使用能量是路由算法的首要设计目标;

(2) 针对报头开销大、通信耗能、节点有合作关系、数据有相关性、节点能量有限等特点,应具备数据聚合和过滤等能力;

(3) 针对流量特征、通信耗能等特点,应采用通信量负载均衡技术;

(4) 针对节点弱移动性特点,节点移动性将不被重点考虑;

(5) 针对网络相对封闭、不提供计算等特点,只在汇聚节点考虑与其他网络互联;

(6) 针对网络节点不常编址的特点,采用基于数据或基于位置的通信机制;

(7) 针对节点易失效的特点,应采用多路径机制,增加路由的冗余度。

4 能量敏感路由算法设计

本路由算法由 4 个模块组成:分簇模块、簇头选举模块、休眠状态模块和簇间路由模块^[9-11]。路由模块与各路由阶段的对应关系如图 1 所示。

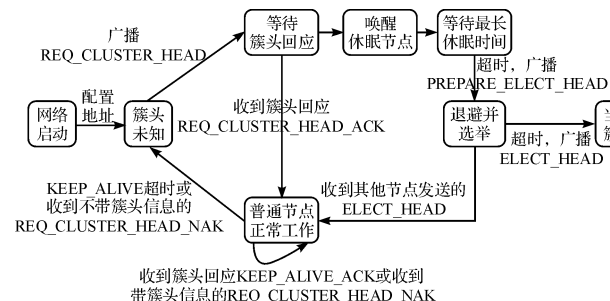


图 1 簇头选举过程的网络状态转换图

4.1 分簇模块

该模块主要完成实现基于蜂窝网络结构的二层分簇机制,并对网络连通性进行了维护。因传感器节点随机分布,在分簇过程中以按等半径的正方形将监测区域划分为若干个正方形。采用二层分簇机制,普通传感器节点作为簇头的下层节点进行工作,而簇头和汇聚节点 sink 处于上层同一管理层,所以所有的普通节点所采集的信号先传送给本簇的簇头,由簇头节点将采集的数据最终传送至汇聚节点。

4.2 簇头选举模块

该模块主要完成实现簇头的动态选举。通过对传感器节点的能量测试和等级的划分,使得剩余能量相对较高的传感器节点在选举的过程中退避时间相对较短,这样可以确保下一轮中当选簇头的传感器节点的能量较为充足,同时能够实现簇头自动轮换。

4.3 休眠模块

节点进入休眠状态。当簇头选举完毕之后,需对簇内的节点进行管理,为了能在有限的能量中尽量延长生命周期,其中一项任务就是对节点休眠状态的管理。当本簇内节点均为执行任务时,簇头发送休眠信号,节点进入休眠状态。同时,簇头定时发送状态信号,以确保及时唤醒节点,从而保证数据的正常传输。当簇头能量低于某阈值时,立即唤醒节点,进行簇头重新选举。

4.4 簇间路由模块

该模块主要完成和实现在各簇头之间形成多跳的数据转发骨干网络,并在簇头数据传输的同时进行动态的路由维护。汇聚节点发起兴趣扩散的过程,使用受限的泛洪机制实现可靠路由:簇间根据最小路径代

价和簇头的剩余能量在簇头之间建立路由表;当网络中的节点采集到应用相关的数据后,沿着建立的最小代价路径反向路由至汇聚节点,并使用 piggyback 机制更新当前的路由代价参数,并实时修改路由表。

5 能量敏感路由算法仿真与实现

5.1 簇头的选择

当网络系统刚启动时或还未选举产生簇头时或簇内因种种原因而致使簇头故障失效时,则传感器节点广播 PREPARE_ELECT_HEAD 报文并通知其他传感器节点进入等待簇头选举状态。

在选举簇头时即收到 PREPARE_ELECT_HEAD 报文时(接收到的时间误差因广播可以忽略不计),该簇内所有的传感器节点均要退避一个随机时间 t ,依据能量的高低确定退避时间长短。若在传感器节点退避期间收到其他节点发送的 ELECT_HEAD 报文,则确认发送该信号的传感器节点为该簇簇头;若在其退避时间已过仍未收到由其他传感器节点的发送过来的 ELECT_HEAD 报文,则立即向其他传感器广播 ELECT_HEAD 报文,并宣布该节点为本簇内簇头。

当传感器节点收到 ELECT_HEAD 报文以后,立刻向发送 ELECT_HEAD 报文的传感器节点发送 KEEP_ALIVE 报文,并更新本簇内当前状态的簇头信息。簇头选举过程的网络状态转换图如图 1 所示。

传感器节点退避时间的选择。随机退避时间 t 对簇头选举有至关重要的影响。应当以节点的剩余能量为准则,剩余能量大的节点具有成为簇头节点的较大概率,并且能够实现簇头的自动轮换。本研究设计的随机退避时间与节点的剩余能量有关:将节点当前的电池电压分为若干等级,属于同一压等级 i 的节点在同一时间范围内随机选择退避时间 t_i ,根据测得的实验数据,利用 Matlab 数据拟合得到函数 t_i 的取值如下:

$$t_i = T_{\text{istart}} + \omega k \quad (1)$$

$$T_{\text{istart}} = 2.53x^2 - 57.26x + 162.75 \quad (2)$$

$$t_i = 2.53x^2 - 57.26x + 162.75 + \omega k \quad (3)$$

式中 ω —(0, 1)之间的随机数; k —常数,经验值为 10。

监测电压与退避时间关系如图 2 所示,剩余能量较多的节点的退避时间较短,以较高的概率成为下一轮的簇头节点,从而保证下一轮当选的簇头拥有较高的剩余能量。

5.2 路由的建立

节点通过将侦听到的 INTEREST_PRO 报文中的代价与自身代价相比较,据此建立最优路径。节点的

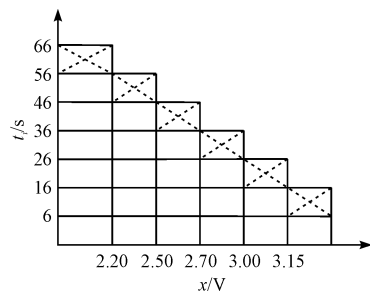


图2 监测电压与退避时间关系

退避时间应与其路由代价成正比,取决于延迟时间系数 χ ,通过合理设置 χ 的值,每个簇头节点只需一次广播就能在整个区域建立起最优代价路径。以下假设 $\chi = 10$ ms,并给出建立最优代价路由的一个示例,如图 3 所示。

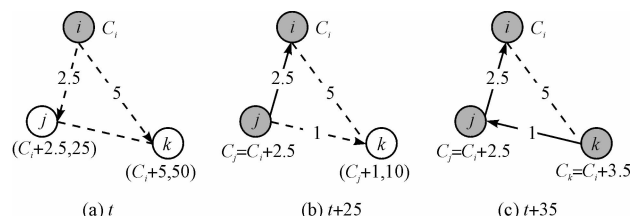


图3 路由建立示例图

(1) 图中节点 i j 和 k 均位于各自的通信范围内,已建立路由表的节点标为灰色,尚未获得路由信息的节点为白色。初始,节点 i 的代价为 C_i , j 和 k 则为 ∞ ,在 t 时刻, i 发出的 INTEREST_PRO 报文被 j 和 k 接收, j 和 k 根据该报文中节点 i 的能量与位置信息分别计算出 $\text{cost}(i, j) = 2.5$, $\text{cost}(i, k) = 5$ 。 j 将其代价 C_j 设为 $C_i + 2.5$,退避定时器设为 $\chi \times 2.5 = 25$ ms 后超时;同样, k 将代价 C_k 设为 $C_i + 5$,退避定时器设为 50 ms 后超时(如图 3(a)所示)。

(2) $t + 25$ 时刻, j 的退避定时器超时, j 将其下一跳节点记为 i 并广播含有其代价 C_j 的 INTEREST_PRO 报文。当 k 接收到该报文后计算得 $\text{cost}(j, k) = 1$,由于 $C_k = C_i + 5 > C_j + 1 = C_i + 3.5$, k 将路由代价更新为 $C_j + 1$,退避定时器设为 10 ms 后超时;当 i 收到该消息时由于 $C_j > C_i$, i 将该消息丢弃(如图 3(b)所示)。

(3) $t + 35$ 时刻, k 的退避定时器超时, k 将其下一跳节点记为 j 并广播含有其代价 C_k 的 INTEREST_PRO 报文(如图 3(c)所示)。

以下是路径建立过程的伪代码:

```
中间节点的路径建立过程
Event: 节点 i 从节点 j 收到 INTEREST_PRO 报文
if(  $C_i > C_j + \text{cost}(i, j)$  ) {
     $C_i = C_j + \text{cost}(i, j)$ ;
    i 将退避定时器重设为  $\chi \times \text{cost}(i, j)$  后超时;
}
```

Event: 节点 i 的退避定时器超时

i 将其 next_hop 记为 j , 广播携带 Packet_ID 和 C_i 的 INTEREST_PRO 报文;

i 同时进行 ROUTE_UPDATE 报文的簇内广播,

通告普通节点由本次兴趣扩散建立起来的 next_hop 和 Packet_ID;

5.3 原型实现

本原型的框架如图 4 所示。在已经提供基础 API 的前提下,本研究对原型的主要贡献包括动态簇头选举、簇间多跳路由和应用层温度监控 3 个方面,其作用在前面章节已有所介绍。另外,载波多路侦听/冲突避免技术(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA)的作用是减少数据的传输碰撞和重试发送,防止各站点无序地争用信道。监控中心主要作用是:支持汇聚节点向其他传感器节点征询状态或传感器节点向汇聚节点报告状态。这二者均是本算法实现的基础与前提。

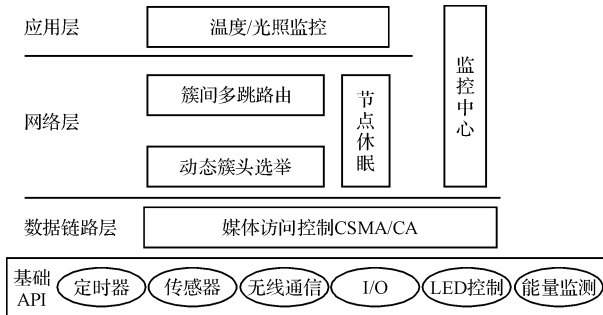
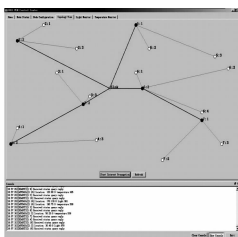
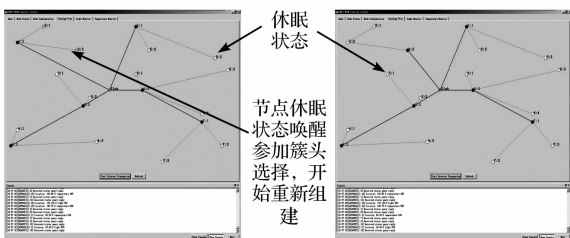


图 4 原型基础框架

首先汇聚节点发起兴趣扩散过程,中间节点逐跳地建立路由表,如图 5(a)所示,各簇头节点形成一个优化的骨干网。



(a) 正常运行状态下的路由



(b) 路由建立

(c) 路由维护(更新后的路由)

图 5 骨干网路由的建立与维护

piggyback 机制,簇头节点间可动态地维护优化的骨干网,如图 5(b)和图 5(c)所示。这样的维护减少了汇聚节点进行定期兴趣扩散的开销,节省了不必要的能量消耗,也使网络更具灵活性。

6 结束语

本研究以有效利用传感器节点的能量为目标,利用二层分簇结构,有效利用簇头的对节点的管理,且分别在簇内进行动态簇头选举并引入休眠机制和簇间的可靠路由,从两方面展开路由的研究。在实验室提供的实验基础上,实现了路由算法的原型,并对算法进行了有效的验证。

参考文献(References):

- [1] 孙利民,李建中,陈渝,等. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- [2] HEDETNIEMI S, LIESTMAN A. A survey of gossiping and broadcasting in communication networks[J]. **Networks**, 1988,18(4):319-349.
- [3] 任丰原,黄海宁,林闯. 无线传感器网络[J]. **软件学报**, 2003,14(7):1282-1291.
- [4] 王海涛,郑少仁. Ad hoc 传感网络的体系结构及其相关问题[J]. **解放军理工大学学报**, 2003,4(1):1-6.
- [5] ZAHARIADIS T. Evolution of the wireless PAN and LAN standards[J]. **Computer Standards & Interfaces**, 2004, 26(3):175-185.
- [6] C4ISR ITF Integrated Architectures Panel. C4ISR architecture framework, Version 1.0[R]. The United States: Department of Defense, 1996.
- [7] STEPHEN P W, DEFENSE ADVANCED RESEARCH PROJECT-AGENCY ARLINGTON VA. Technology for C4KISR. meeting C4KISR requirements: implementing and exploiting technology solutions[EB/OL]. [2009-08-23]. <http://www.stormingmedia.us/54/5470/A547034.html>.
- [8] AL-KARAKI J N, KAMAL A E. Routing techniques in wireless sensor networks: a survey[J]. **IEEE Wireless Communications**, 2004,11(6):6-28.
- [9] KULIK J, HEINZELMAN W R, BALAKRISHNAN H. Negotiation based protocols for disseminating information in wireless sensor networks[J]. **Wireless Networks**, 2002,8(2-3):169-185.
- [10] LINDSEY S, RAGHAVENDRA C S. PEGASIS: Power-efficient Gathering in Sensor Information Systems[C]//Proc. of the IEEE Aerospace Conf. Montana: IEEE Aerospace and Electronic Systems Society, 2002:1125-1130.
- [11] TSIATIS V, ZIMBECK S, SRIVASTAVA M. Architectural Strategies for Energy Efficient Packet forwarding in wireless sensor networks[C]//Proc. ISLPED 2001. Huntington Beach: [s. n.], 2001:25-31.

通过节点间路由信息的实时更新和路由代价的

[编辑:李辉]