

WMSN 中的一种实时地理路由算法

周 昆 符意德

(南京理工大学计算机科学与技术学院 南京 210094)

摘 要 针对基于地理位置的路由协议在无线多媒体传感器网络中存在的路由空洞问题,提出了一种新的地理路由算法 RTGR。该算法通过周期性的空洞检测收集所有空洞边界节点的位置信息,并利用距离形成一个覆盖空洞的感知域。数据包到达感知域后,动态选择空洞边界上的凸包节点作为中间节点进行转发,形成有效的空洞迂回路径,避免陷入路由空洞。仿真结果表明,该算法的路由平均跳数明显减少,能够保证多媒体数据在多路由空洞环境下的实时传输。

关键词 路由空洞,地理位置路由,无线多媒体传感器网络,凸包

中图法分类号 TP393 **文献标识码** A

Real-time Geographic Routing Algorithm in Wireless Multimedia Sensor Networks

ZHOU Kun FU Yi-de

(Department of Computer Science and Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract For the routing void problem existing in wireless multimedia sensor networks when performing geographic forwarding, this paper presented a new geographic routing algorithm RTGR. This algorithm determines the holes position by periodically identifying which node is located on the border, and then boundary nodes construct a circular domain which covers the hole. After arriving at the domain, packets will select a convex hull node dynamically as intermediate node to bypass the routing holes in the shortest path. Simulation results show that average number of hops is significantly reduced and it's possible to guarantee the real-time transmission of multimedia data in a multi-routing void environment.

Keywords Routing void problem, Geographic routing, Wireless multimedia sensor networks, Convex hull

1 引言

无线多媒体传感器网络(Wireless Multimedia Sensor Networks, WMSN)是在传统的无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)基础上发展起来的新型网络,它将多媒体传感器(如 CMOS 摄像头、微型麦克风)引入到无线传感器网络中,通过无线自组织网络获取多媒体信息^[1]。无线多媒体传感器网络在视频监控、环境监测、过程控制、对象跟踪等方面具有重要的应用价值。

路由技术是无线多媒体传感器网络的关键技术之一,随着全球卫星定位系统的广泛应用以及节点定位技术的发展,网络中的节点可以方便地获得自己的位置信息。基于地理位置的路由协议以其独立路由、避免泛洪以及良好的可扩展性等优点,被广泛地应用于无线多媒体传感器网络^[2]。

传统的基于地理位置的路由协议大多采用贪婪算法,即选择邻居节点中比自己更接近目标节点的节点作为下一跳进行数据包转发,但一旦邻居节点中没有比自己更近的节点就陷入了局部最小化问题,即遇到路由空洞^[3]。如何解决路由空洞问题已成为地理位置路由研究中的一个难题。现有的地理位置路由算法集中于数据包在遭遇路由空洞之后再改变转发策略或者通过发送探测包提前获得空洞位置避免遇到空洞

来解决路由空洞问题,这两种方法将分别导致路由跳数增加、等待发送时延增长等问题,无法满足 WMSN 中音视频等多媒体数据的实时性要求。本文提出的实时地理路由算法(real-time geographic routing protocol, RTGR)无需发送探测包,数据包在转发过程中动态地获得空洞信息,通过及时调整转发策略,在遭遇路由空洞前提前绕过路由空洞。

2 相关研究

GPSR^[4]是一个经典的地理位置路由协议,它使用贪婪转发模式对数据包进行转发,贪婪转发遭遇路由空洞时转入周边转发模式,根据右手定则围绕路由空洞边界继续传输数据。由于对空洞的形状不具有感知性,算法在遇到某些路由空洞时效率比较低。文献[5]对 GPSR 协议进行改进,通过侦听邻居节点来发现周边转发模式下的捷径,减少了数据包转发次数但优化的程度有限。GEAR^[6]是另一个典型的基于地理位置的路由协议,该协议采用递归的贪婪策略,在选择下一跳时把各个邻居节点的位置信息和剩余能量信息结合起来考虑,选择综合开销最小的节点作为下一跳来转发分组。协议通过更新算法更新自身节点和邻居节点的综合代价来解决路由空洞问题。该算法容易出现路由环问题,使数据包经过几次循环才能跳出空洞。

收稿日期:2012-12-24 返修日期:2013-03-21

周 昆(1989—),男,硕士生,主要研究方向为嵌入式系统、无线网络;符意德(1964—),男,副教授,硕士生导师,CCF 高级会员,主要研究方向为智能控制与嵌入式系统、普适计算。

Fang 等人^[7]提出了 BOUND HOLE 算法用以检测和标识空洞节点,无线传感器网络周期性地对空洞进行检测,将空洞的形状和边界节点的位置信息用链表的方法存储下来,当数据包到达某一个边界节点时,便利用这些事先检测好的链表数据信息沿着边界绕过空洞。由于这些空洞信息保存在空洞边界节点上,数据包只有在到达空洞边界时才会绕过空洞,获得的路由路径也不是最优的。文献[8,9]在此基础上做出改进,即通过发送探测包提前获得空洞信息,分别构造出覆盖空洞的虚拟圆形和矩形,然后选择合适的节点作为锚点,先将数据贪婪转发给锚点,然后再向目的节点转发。由于事先知道空洞的具体位置,此类算法能够选择较优的路径绕过空洞,但是都需要通过发送探测包来发现路由空洞,因此增加了数据包的等待发送时延,且难以适用于存在多个路由空洞的情况。

本文针对现有方法的不足,在 Fang 等人^[7]的基础上提出了适用于多路由空洞环境下大数据流的无线多媒体传感器网络的 RTGR 算法,它通过动态构建空洞感知域使数据包提前绕过路由空洞,有效地减少平均转发次数,满足 WMSN 中多媒体业务的实时性要求。

3 算法描述

3.1 标识空洞边界

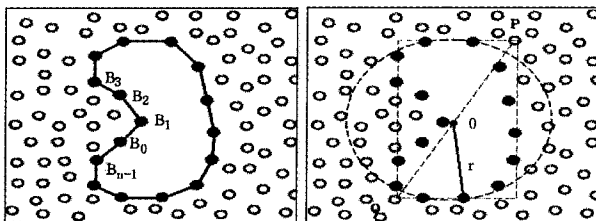
通过文献[7]中的 TENT 准则和 BOUND HOLE 算法,网络中的节点可以周期性地检测自己是否为空洞节点,然后通过右手定则形成空洞边界。最先检测到自己为空洞节点的节点,使用右手定则向自己的邻居节点发送一个空洞边界检测包 Hole Boundary Detection(HBD),以发现空洞边界节点。如图 1(a)所示,假设节点 B_0 首先检测到自己为空洞节点,然后发起一个空洞边界检测包 HBD 并将自己的节点 ID 和位置坐标写入包中,再根据右手定则将包转发给一跳邻居节点 B_1 , B_1 将自己的 ID 和位置坐标写入包后继续转发到 B_2 ,直至检测包转发一周最后回到出发点 B_0 ,具体的算法实现请参考文献[7]。此时节点 $B_0, B_1, \dots, B_{n-1}$ 即为空洞边界节点,空洞边界节点依次连接形成的不规则多边形,即为空洞区域。节点 B_0 收集到所有边界节点的位置坐标、节点个数 n 以及节点顺序后,计算出坐标最大、最小的两个点 P, Q ,取线段 PQ 的中点记为 O ,计算出中心到边界节点中最长的距离 r ,计算公式如下:

$$P\{(x_p, y_p) | x_p = \max\{x_0, x_1, \dots, x_{n-1}\}, y_p = \max\{y_0, y_1, \dots, y_{n-1}\}\}$$

$$Q\{(x_q, y_q) | x_q = \min\{x_0, x_1, \dots, x_{n-1}\}, y_q = \min\{y_0, y_1, \dots, y_{n-1}\}\}$$

$$r = \max\{OB_i\}, i=0, 1, \dots, n-1$$

这样以 O 点为圆心、 r 为半径的圆即为覆盖空洞的最小圆形,称 O 点为空洞中心。



(a) 发送空洞边界检测包

(b) 确定最小覆盖圆

图 1 标识空洞边界图

3.2 生成凸包

为了使数据包能够在到达空洞边界之前改变路由策略提前绕过空洞区域,节点 B_0 在获得有关空洞信息后,生成一个空洞发现报文并通过局部广播方式将空洞信息通知给周围其他节点。如果将包括所有边界节点的位置坐标在内的所有空洞信息都广播出去,势必增加报文长度,占用长时间的网络带宽,消耗过多能量。因此需要提取出对路由选择最有利的信息加以广播。

本文通过对边界节点进行筛选,尽可能通过减少节点个数来减小报文长度并保留空洞的基本形态特征。因此采用求凸包的方法,求出包含所有边界节点的最小凸多边形。如图 2 所示, $A_0, A_1, \dots, A_9$ 为凸包顶点,位于凸包顶点上的节点称为凸包节点。采用分治法可以使得算法的时间效率为 $O(n \log n)$, n 为边界节点的个数。空洞发现报文中只需要包含凸包节点的位置信息,而不是所有边界节点的位置信息。当空洞区域过大、凸包节点个数增多时,可以进一步筛选凸包节点。

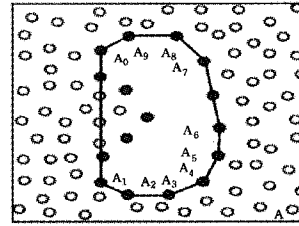


图 2 生成凸包图

3.3 形成感知域

节点 B_0 计算出所有凸包节点后生成一个空洞发现报文并广播给周围其他节点。发现报文中包括报文 ID、发起节点 B_0 的 ID、空洞中心 O 的坐标、半径 r 、参数 b 、凸包节点个数 m 以及所有凸包节点的位置坐标。广播区域限定在距空洞中心 $b * r$ 范围的圆形区域内。收到空洞发现报文的节点后,首先计算自己到该空洞中心 O 的距离 d ,若 $d \leq b * r$ 则将自己标识为感知节点,并将报文内容保存或者更新到自己的感知列表中,然后继续转发该报文。若 $d > b * r$ 则不再转发。节点在收到相同的发现报文后直接丢弃。如图 3 所示,空洞边界的周围建立了一个圆形区域,区域内所有节点都知道空洞中心的位置以及边界上凸包节点的位置,称该区域为感知域, $b * r$ 为感知半径,区域内所有节点为感知节点。数据包转发到感知节点后,能够根据感知列表中的信息进行路由选择,建立一条最优路径绕过路由空洞。

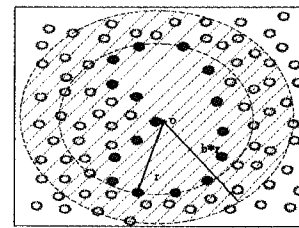


图 3 形成感知域($b=1.4$)

由于网络中可能存在多个空洞区域且部分节点同时处于多个空洞感知域中,节点的感知列表中保存着多条感知记录,每条记录对应一个空洞区域信息。只要感知列表非空,节点始终为感知节点。当网络因节点移动、能量耗尽等原因使拓扑结构发生变化时,空洞区域的个数、形态、大小都可能发生

变化。为了及时地将这种变化反应至路由层,发起节点每隔3~5个心跳时间 T_h 运行一次BOUND HOLE算法检测空洞边界,然后重新生成凸包,若凸包集合发生变化,则生成新的空洞发现报文,否则发送更新消息(refresh message)。为此我们在发现空洞报文中添加时间戳字段 T_r ,如果感知节点在收到发现空洞报文后的 T_r 时间内未收到发起节点发出的更新消息,则删除感知列表中的相应记录,否则更新记录的时间。

3.4 路由选择

当感知域形成以后,整个网络被划分为两类区域,一类是不存在路由空洞的普通区域,一类是包含路由空洞的感知区域。在这两个区域内采用了不同的数据包转发策略。在普通区域内,节点采用贪婪算法将数据包转发给距目的节点最近的邻居节点,因为此区域内不存在路由空洞,所以贪婪算法总能够成功返回,不会陷入局部最小化问题。当数据包转发到感知节点时进入感知域,继续向目的节点进行贪婪转发可能遭遇空洞,为此采用如下策略转发:

(1)假定节点 F 为感知节点,判断当前节点 F 与目标节点 D 的连线 FD 与感知列表中的凸包是否相交,即判断线段 FD 与凸多边形是否有交点。若没有交点,则一直使用贪婪方式向目标节点转发。

(2)若 FD 与凸包相交,则选择圆心角 $\angle FOD$ 较小的一侧,过 F 点做凸包的切线,切点记为 A (A 为凸包节点),选择该节点为中间节点,采用贪婪算法将数据包向中间节点转发。

(3)中间节点 A 收到数据包后继续判断线段 AD 是否与凸包有交点(顶点 A 除外),若没有交点,则按贪婪算法将数据包向目的节点转发。若有交点,则将下一个相邻的凸包节点作为中间节点,继续向中间节点转发。

(4)当数据包离开感知域后,采用贪婪算法向目的节点转发。

(5)对于位于凸包内部的源节点 S ,因无法过 S 点做凸包切线,可以选择离自己最近的凸包节点作为中间节点,向中间节点贪婪转发,也可以沿边界节点转发。

图4给出了路由选择的示意图,实线箭头代表数据包向目标节点贪婪转发,虚线箭头表示向中间节点贪婪转发。

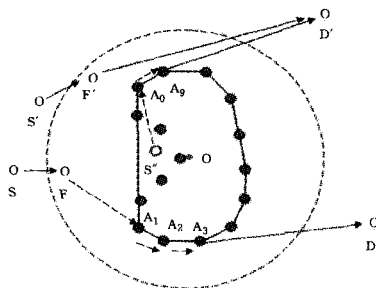


图4 路由选择

4 仿真实验及分析

本文使用NS-2作为仿真实验平台对实时地理路由算法(RTGR)进行仿真验证,并与GPSR算法进行性能对比分析,重点评价了节点在转发数据包到目的节点的过程中的平均跳数、平均能量消耗和分组投递率3个性能指标。仿真场景设置为500m×500m的矩形区域,节点在区域内随机部署,通信半径为40m,节点的能量消耗与收发的数据包大小成正比。

在RTGR的仿真实验中,选择 b 为1.0~2.0,多个源节

点向同一目标节点发送CBR报文,然后分别对分组的平均跳数、节点平均能量消耗进行统计,仿真结果如图5所示。从仿真结果可知,不同的 b 值对应不同的算法性能;随着 b 值的增大,感知域不断地向空洞外围扩张,数据包在转发过程中能够更早地感知空洞位置,做出合理的路由选择从而降低数据包的平均跳数;当 b 值增大到1.4以后,平均跳数趋于稳定;随着感知域的扩大,感知节点数增加,节点广播空洞发现报文数增多,能量消耗也逐渐增大。

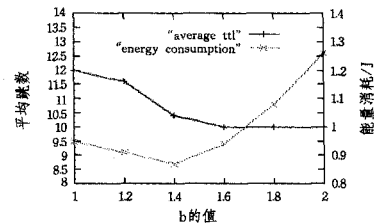


图5 b 的值与平均跳数、平均能量消耗的关系图

在与GPSR算法的对比实验中,取 b 为1.4,仿真结果如图6—图8所示。在有空洞的静态场景下,RTGR算法采用扩大感知的方式,将提取到的路由空洞的主要特征告知周围节点,使数据传输能够高效地绕过空洞,获得了比GPSR更为优化的路径。从图6中可以看出,RTGR算法的平均跳数性能明显优于GPSR算法,由于提前绕过空洞,避免了数据到达边界后路径产生迂回,有效地减少了数据包转发的平均跳数,从而减少了端到端时延。RTGR算法需要周期性检测空洞并广播空洞发现报文,因此节点的平均能量消耗较多。在应用中可以根据节点部署密度合理地选取 b 的值,以有效地控制节点能量消耗,获得与GPSR算法相近的节能性能。图8示出平均分组投递率随节点个数的变化而变化的情况。节点较稀疏时,产生路由空洞的可能性较大,且空洞面积较大,GPSR算法的“走远路,绕圈子”现象严重,分组投递率降低,而RTGR算法优势明显。当节点部署比较密集时,产生的路由空洞较少,且空洞面积较小,分组投递率比较接近。

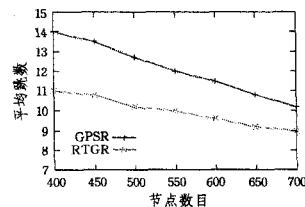


图6 平均跳数比较

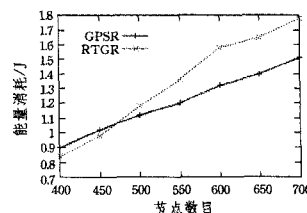


图7 平均能量消耗比较

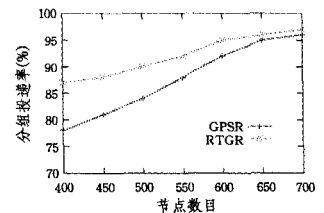


图8 分组投递率比较

结束语 针对WMSN中的路由空洞问题,本文提出了一种实时地理路由算法(RTGR),该算法通过周期性地检测和标识路由空洞边界节点,获得路由空洞的位置信息,然后通过求解包含所有空洞边界节点的最小凸包,获得空洞的主要位置特征,最后将这些主要特征广播给周围节点,形成一个圆形的感知域。数据包到达感知域后,能够动态地选择凸包节

点作为中间节点,在中间节点的引导下绕过空洞,由于数据包沿凸包绕过空洞,路径最短。实验结果表明,RTGR 算法相对于 GPSR 算法在平均跳数和分组投递率方面有更好的性能,适用于对网络实时性要求较高、节点能量相对充足的 WM-SN。RTGR 算法使用局部广播方式通告空洞信息,增加了节点的能量消耗,在下一步研究中,将就如何有效降低能量消耗进行研究,以进一步提高算法性能。

参考文献

- [1] 孙利民,李建中,陈渝. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社,2005:20-24
- [2] 张耀,贾振红. 求解路由空洞问题的 GEAR 改进算法[J]. 计算机工程,2008,34(12):94-96
- [3] 田乐,谢东亮,任彪,等. 无线传感器网络贪婪转发策略中的路由空洞问题[J]. 电子与信息学报,2007,29(12):2996-3000
- [4] Karp B, Kung H T. GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks[C]//Proc of 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. Boston:

ACM press,2000:243-254

- [5] Ma Xiao-li, Sun Min-te, Zhao Gang, et al. Improving geographical routing for wireless networks with an efficient path pruning algorithm[J]. IEEE Transactions on Vehicle Technology,2008,57(4):2474-2488
- [6] Yan Yu, Govindan R, Estrin D. Geographical and energy-aware routing: A recursive data dissemination protocol for Wireless Sensor Networks[R]. UCLA-CSD TR-01-0023. UCLA Computer Science Department,2001
- [7] Fang Qing, Gao Jie, Guibas L. Locating and bypassing routing holes in sensor networks[C]//Proc of the 23rd Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Hong Kong:IEEE press,2004:2458-2468
- [8] Yu Fu-cai, Soo-chang P, Ye Tian, et al. Efficient hole detour scheme for geographic routing in Wireless Sensor Networks[C]//Proc of the 68th Annual IEEE Vehicular Technology Conference. Orlando:IEEE press,2008:153-157
- [9] 彭玉旭,郭月,胡立辉. WMSN 中的一种有效地理路由空洞迂回算法[J]. 计算机工程与应用,2012,48(12):58-62

(上接第 31 页)

写的次数。同时实验结果显示缓冲单元的容积越大,性能提升越明显。具体来说,性能提升幅度在不同测试程序上差异很大。对于读写操作分布极不均匀的程序,例如 Raytracing 和 Kmeans,能够达到接近 2 倍的性能提升。对于读写相对不均匀的程序来说,例如 Hotspot 和 Laplace,性能的提升只有 20%到 30%。AES 和 Neuralnet 这两个程序只产生很少的内存访问并且程序性能受访存延时影响很小,因此,虽然在访存次数上降低的幅度很大,但是总体性能变化不明显。BFS 程序性能提升幅度最大,由于该程序只访问到数百个内存行,当 buffer 尺寸为 1024kB 时,几乎所有的数据都能存放在专用的 buffer 中,因此有非常明显的性能改善。

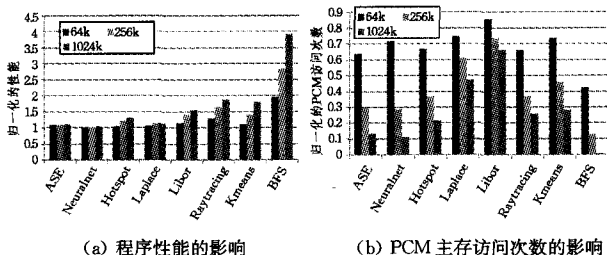


图 4 不同尺寸的缓冲单元对于性能的影响

实验显示,当 buffer 的容积为 256kB 时,程序的平均性能提升为 46%,基本上接近于 DRAM 作为主存时的性能。当 buffer 的尺寸大于 256kB 时,程序性能可以获得进一步的提升,但是会带来更大的硬件开销;当 buffer 的尺寸小于 256kB 时,性能的改善不是特别理想。当前主流的 GPU 架构中,二级 cache 的设计尺寸至少在 1MB 以上,该专用的 buffer 属于辅助的存储空间,因此尺寸为 256kB 的缓冲单元能够取得性能和硬件开销之间的良好折中。

结束语 本文定量分析了使用相变存储器(PCM)作为 GPU 主存储器带来的优势和挑战。仿真结果显示,直接使用 PCM 作为主存会带来性能上的损失。通过分析 GPU 程序的访存特性可知,提出的专用的缓冲单元的设计能够极大地改善 PCM 作为主存的性能,同时保持 PCM 在存储密度和静态

功耗方面的优势。本文的仿真结果对于未来进一步设计和优化基于 PCM 的 GPU 存储系统提供了重要的研究基础和方向。

参考文献

- [1] Hennessy J L, Patterson D A. Computer Architecture A Quantitative Approach [M]. San Mateo: Morgan Kaufmann, 2011
- [2] Freitas R, Wilcke W. Storage-class memory: The next storage system technology [J]. IBM Journal of Research and Development, 2008, 52(4/5): 439-447
- [3] 刘金磊,李琼. 新型非易失相变存储器 PCM 应用研究[J]. 计算机研究与发展, 2012, 49(S1): 90-93
- [4] Lee B C, Ipek E, Mutlu O, et al. Architecting Phase Change Memory as a Scalable DRAM Architecture[J]. Proc. of International Symposium on Computer Architecture, 2009, 37(3): 2-13
- [5] Qureshi M K, Srinivasan V, Rivers J A. Scalable High Performance Main Memory System Using Phase Change Memory Technology [J]. Proc. of International Symposium on Computer Architecture, 2009, 37(3): 24-33
- [6] Kim D, Lee S, Chung J, et al. Hybrid DRAM/PRAM-based Main Memory for Single-Chip CPU/GPU [C]//Proc. of Design Automation Conference. 2012: 888-896
- [7] 郝秀蕊,安虹,李小明,等. 流处理器的相变存储器主存性能优化[J]. 计算机工程, 2011, 37(24): 251-256
- [8] Raoux R, Burr G W, Breitwisch M J, et al. Phase Change Random Access Memory A Scalable Technology [J]. IBM Journal of Research and Development, 2008, 52(4/5): 465-479
- [9] Dong X Y, Jouppi N P, Xie Y. PCRAMsim System Level Performance Energy and Area Modeling for Phase Change RAM [C]//Proc. of the International Conference on Computer Aided Design. 2009: 269-275
- [10] Bakhoda A, Yuan G L, Fung W L, et al. Analyzing CUDA Workloads Using a Dedicated GPU Simulator [C]//Proc. of International Symposium on Performance Analysis of Systems and Software. 2009: 163-171