

基于定向扩散的车辆传感器网络连通性研究 *

郑明才¹, 赵小超², 赵晋琴¹, 李新国¹

(1. 湖南第一师范学院 信息科学与工程系, 长沙 410205; 2. 湖南第一师范学院 小教大专部, 长沙 410002)

摘 要: 为改善车辆传感器网络的实时连通性问题,提出一种路边节点梯度值可滑动的定向扩散梯度场 DDGF-SRG,并给出了梯度场的实时动态调整规则。通过给路边节点分配固定梯度值,将规模巨大车辆传感器网络划分成若干以路边节点为核心的局部区域,以使梯度场的建立和动态更新可在各局部区域内分布式进行,提高梯度场建立和更新的实时性。通过给车辆节点分配一个可变的数据汇聚梯度值,建立车辆节点到路边节点的定向扩散梯度;通过给路边节点分配一个可变的数据汇聚梯度值,建立路边节点到低梯度层次的定向扩散梯度,并将各局部区域梯度场链接成一个全局的定向扩散梯度场。理论分析和仿真结果表明,DDGF-SRG 梯度场在进行动态调整和利用车辆传感器网络的延迟容忍运载能力后,车辆传感器网络的实时连通性得到了极大改善。

关键词: 车辆传感器网络; 定向扩散; 梯度场; 动态调整; 延迟容忍; 连通性

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2011)01-0266-04
doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.01.074

Research on connectivity for vehicular sensor networks based on directed diffusion

ZHENG Ming-cai¹, ZHAO Xiao-chao², ZHAO Jin-qin¹, LI Xin-guo¹

(1. Dept. of Information Science & Technology, Hunan First Normal University, Changsha 410205, China; 2. Dept. of Primary Education, Hunan First Normal University, Changsha 410002, China)

Abstract: Aims to the problem of connectivity in vehicular sensor networks, proposed a kind of directed diffusion gradient field with slidable roadside-node gradient(DDGF-SRG), and gave the dynamically adjusting rules for DDGF-SRG. By giving an invariable gradient value to every roadside node, divided the large scale vehicular sensor network into several local sub reigns around the relevant roadside node, to achieve the purpose of distributed setting up the directed diffusion gradient field for every sub reign and enhancing the real time operation function. By giving a variable data-aggregating gradient value to every vehicular node, formed the directed diffusion gradient from vehicular nodes to the corresponding roadside node. By giving a variable data-aggregating gradient value to every roadside node, set up the directed diffusion gradient from roadside nodes to the corresponding lower-gradient-level sub reign, and linked all the local directed diffusion gradients into one global directed diffusion gradient field, namely the DDGF-SRG. Theoretical analysis and simulation results invalidate that the real time connectivity will be improved greatly with the help of dynamical adjusting and vehicular-nodes' carrying capability for data packets in the period of delay tolerant time.

Key words: vehicular sensor networks(VSN); directed diffusion(DD); gradient field; dynamical adjusting; delay tolerance; connectivity

0 引言

随着社会上各类交通车辆大规模增加,车辆可通行路径密集、广泛分布,城市车辆密度越来越大,车辆覆盖区域越来越广,与交通车辆配套的基础设施日趋完善,且车载设备及基础设施的无线功能越来越丰富、移动信息化服务能力越来越强,交通车辆与配套设施正形成一个规模巨大的交通运输系统和移动信息服务网络。现代交通运输系统不再仅仅是人和物的运送工具,而是扩展了巨大的信息感知、处理、传送和应用等功能,形成一个具有巨大应用潜能的车辆传感器网络,如果加以充分利用,不仅有望大幅度提高交通运输领域的信息化服务水平,而且能给其他各行各业提供丰富的廉价增值移动信息服

务。由于车辆传感器网络中交通车辆的高速运动特性,使得车辆传感器网络的连通性问题尤显突出,导致高效信息传送成为制约车辆传感器网络大规模实际应用的瓶颈。在无线传感器网络(WSN)路由协议中,定向扩散(DD)路由能很好地适应网络的自组织特性,平衡信息传送的健壮性和高效性,但传统定向扩散路由由梯度场(directed diffusion gradient field, DDGF)的建立由 sink 节点统一发起,由低到高逐梯度层次顺序建立,直到距 sink 节点梯度距离最大的节点加入网络定向扩散梯度场。其存在如下缺点:a)在大规模无线传感器网络中,由于节点距 sink 节点的最大梯度距离大,梯度场逐跳建立耗费时间过长;b)网络中节点的梯度值均是相对于 sink 节点、在前一梯度层次节点的基础上累加建立起来的,如果靠近 sink 节点的节点梯度值因节点状态或位置变化需要更新,则后续节点的梯

收稿日期: 2011-06-17; 修回日期: 2011-07-25 基金项目: 湖南省科技计划资助项目(2009GK3076); 湖南省教育厅科学研究项目(08C015); 湖南省“十一五”教育规划青年课题(XJK08QXJ001); 湖南省教改项目(2011(462))

作者简介: 郑明才(1969-),男,湖南人,副教授,博士,主要研究方向为传感器网络、物联网、智能电网、智能交通、通信技术、信号处理(dysfzmc@163.com); 赵小超(1971-),女,河南许昌人,讲师,硕士研究生,主要研究方向为应用数学、计算机仿真; 赵晋琴(1965-),男,湖南邵阳人,高级工程师,主要研究方向为计算机网络、通信技术; 李新国(1965-),男,湖南邵阳人,教授,主要研究方向为计算机网络、电子信息工程。

度值可能也需要随之更新,波及的范围大;c)由于全网内相邻节点的梯度值彼此严格关联,当网络物理拓扑结构动态变化快时,定向扩散梯度场实时更新困难,可能导致网络逻辑拓扑结构与物理拓扑结构在较长时间内严重不匹配,导致网络实时连通性差。可见传统的定向扩散路由技术不能完全适用于车辆传感器网络,有必要加以改进以提高车辆传感器网络的实时连通性。

本文提出一种路边节点 (roadside node) 梯度值可滑动的定向扩散梯度场 (directed diffusion gradient field with slidable roadside-node gradient, DDGF-SRG)。在 DDGF-SRG 中,首先给车辆传感器网络中的各路边节点分别分配一个固定梯度值,然后各路边节点以其固定梯度值为起始梯度分布式建立以自身为核心的局部定向扩散梯度场,在局部定向扩散梯度场建立过程中,网络中的车辆节点和路边节点获取以就近路边节点为局部汇聚节点的数据汇聚梯度值,将各局部定向扩散梯度场链成一个全局的定向扩散梯度场,以便于数据最终能汇聚到全局汇聚节点 sink。各局部定向扩散梯度场的建立和动态更新可同时进行,以达到减小梯度场建立和动态更新时间、提高网络实时连通性的目的。

1 相关工作

传感器网络中的信息传送具有方向性^[1],文献[2]描述的定向扩散路由被认为是无线传感器网络路由技术中的一个里程碑^[3]式的技术,其性能优劣依赖于相应定向扩散梯度场的稳定性。文献[4]描述一种适于无线传感器网络任务分发和数据收集的、基于跳数的定向扩散路由,即最小跳数路由 (minimum hop routing, MHR),它依赖基于跳数的定向扩散梯度场以受限 flooding 方式实现数据的定向传送,限制完全 flooding 方式的洪泛广度和深度,以达到节能和性能优化的目的。最小跳数路由无线传感器网络的定向扩散梯度场 (directed diffusion gradient field for minimum hop routing, DDGF-MHR) 的形成由 sink 节点统一发起,逐跳顺序建立:梯度值为 0 的 sink 节点发送查询分组 (interesting packet),收到查询分组的节点的梯度值为 1,梯度值为 1 的节点转发查询分组,新收到查询分组的节点的梯度值为 2,梯度值为 2 的节点转发查询分组,新收到查询分组的节点的梯度值为 3,……直到所有能连通的节点加入定向扩散梯度场。传统最小跳数路由定向扩散梯度场的缺点是其建立过程的时间消耗和能量消耗巨大,不宜频繁进行,不适合物理拓扑结构快速变化的网络,尤其因时间消耗大而不适合车辆传感器网络。为确保定向扩散路由依赖的跳数梯度场与网络物理拓扑结构的动态一致性,文献[5]提出一种跳数梯度场的动态调整策略,能以较低代价实现网络逻辑拓扑结构与物理拓扑结构的极力一致性,但在节点快速移动的网络中效果不是很好,不能直接应用于车辆传感器网络。针对车辆传感器网络中车辆节点高速移动的特点^[6,7],文献[8]借鉴延迟容忍网络 (delay tolerant network, DTN)^[9]的存储—转发思想提出一种新的路由协议 VADD (vehicular assisted data delivery),利用车辆的移动性来帮助数据的传送,允许网络在短时间内存在一定的不连通性,以时延换取对网络短时不连通的容忍,但容忍程度有限。

2 DDGF-SRG 梯度场

DDGF-SRG 梯度场的工作状态可以分为三个阶段:路边节

点估算固定梯度值阶段、数据汇聚梯度场建立阶段和数据汇聚梯度场动态维护阶段。DDGF-SRG 形成后,网络中的车辆节点 (vehicular node) 拥有一个数据汇聚梯度值,路边节点拥有一个固定梯度值和一个数据汇聚梯度值。路边节点的固定梯度值用于指导局部定向扩散梯度场的分布式建立和动态维护,车辆节点的数据汇聚梯度值用于指导将车辆节点的数据汇聚到局部定向扩散梯度场的路边节点,路边节点的数据汇聚梯度值用于指导将路边节点的数据向低梯度层次的局部定向扩散梯度场汇聚,最终汇聚至最低梯度层次 (即 0 梯度层次) 的全局汇聚节点 sink。DDGF-SRG 依靠路边节点的固定梯度值与数据汇聚梯度值间的可滑动性 (路边节点的固定梯度值与数据汇聚梯度值可以不相同,车辆节点将数据汇聚到局部路边节点时用固定梯度值,路边节点将数据汇聚到低梯度层次节点时用数据汇聚梯度值) 将局部定向扩散梯度场顺畅链接成全局定向扩散梯度场,以使其建立和维护能以路边节点为局部汇聚节点按分布式方式进行,且数据能顺畅汇聚到全局汇聚节点 sink。

2.1 路边节点固定梯度值估算

在由 sink 节点统一发起建立的 DDGF-MHR 中,各路边节点会依次获得一个梯度值,这个梯度值是路边节点距 sink 节点的实际梯度距离。但在 DDGF-SRG 中,为减小梯度场时间,梯度场的建立由各路边节点分布式发起建立,各路边节点需要一个初始梯度值,考虑到车辆传感器网络中路边节点的位置固定且易于获取,为让初始梯度值尽量与实际梯度值一致 (不一定要相同),路边节点 (i, j) 的初始梯度值按式 (1) 估算:

$$H_R(i, j) = \lceil d_{\text{sink}}(i, j) / \bar{R} \rceil$$

(1)

其中: $\lceil \rceil$ 表示上取整函数; $d_{\text{sink}}(i, j)$ 表示节点 (i, j) 距 sink 节点的距离; $\bar{R}$ 表示节点平均有效通信半径。实际上,对路边节点 $H_R(i, j)$ 的估计准确度要求并不高, $d_{\text{sink}}(i, j)$ 和 $\bar{R}$ 可取粗略的估计值。图 1 (a) 所示为一个网络场景 (城市车辆传感器网络) 中的路边节点估算出自己的固定梯度值 $H_R(i, j)$ 后的情况。图中,用“◎”表示全局 sink 节点,“▲”表示路边节点,“●”表示车辆节点,图中带下划线的数字表示路边节点估算的固定梯度值结果。DDGF-SRG 形成前, sink 节点的数据汇聚梯度值为 0, 其他节点的数据汇聚梯度值为 ∞ , 表示节点尚未加入 DDGF-SRG 梯度场。

2.2 DDGF-SRG 数据汇聚梯度场建立

定向扩散梯度场的形成依靠查询分组传送相关信息, DDGF-SRG 的形成要求查询分组携带如图 2 所示的信息。路边节点估算出自己的固定梯度值后,以固定梯度值为转发节点梯度值发送查询分组以搜寻属于下一跳梯度层次的节点。为使数据能顺畅汇聚到 sink 节点,路边节点独立搜寻下一跳梯度层次的节点时向远离 sink 节点的方向搜寻,因此,查询分组中应携带起始路边节点距 sink 节点的距离信息,同时为使车辆节点的数据优先汇聚到就近的路边节点,查询分组中还应携带当前转发节点距起始路边节点的跳数距离,车辆节点在加入梯度场前,其距路边节点的跳数距离记为 ∞ 。

路边节点独立发送起始查询分组,通过查询分组的定向扩散吸收车辆节点和路边节点加入数据汇聚梯度场。节点获取数据汇聚梯度值、加入数据汇聚梯度场时遵循下述规则:

a) 路边节点 (i', j') 收到来自路边节点 (i, j) 的查询分组时,按式 (2) 获取数据汇聚梯度值 $H_{Rd}(i', j')$, 不转发查询分组。

内,数据汇聚梯度值等于 $H_{RD}(i,j) - 1$ 或 $H_{VD}(i,j) - 1$ 的车辆节点或固定梯度值等于 $H_{RD}(i,j) - 1$ 或 $H_{VD}(i,j) - 1$ 的路边节点,称为节点 (i,j) 的源端邻居节点。

定义 2 断链节点。没有源端邻居节点的节点不能完成数据向 sink 节点方向的汇聚,称为断链节点。

3.2 网络连通性分析

断链节点不存在数据汇聚逻辑通信链路,网络中的断链节点数可反映网络汇聚数据时的连通性情况,因此可用断链节点数来表示网络的实时连通程度。由于车辆节点的快速移动特性,车辆传感器网络中短时存在断链节点是十分普遍的现象,如果梯度场建立后不及时进行动态更新,网络中的断链节点数将极大,可能严重影响数据的实时汇聚。

DDGF-SRG 梯度场将规模巨大的车辆传感器网络以路边节点为核心划分成若干个区域,梯度场的建立和动态更新在各局部区域内分布式进行,梯度场建立和动态更新的及时性比 DDGF-MHR 梯度场好,节点数据汇聚梯度值的调整只在局部范围影响其他节点,影响范围小,因此,经动态调整后,DDGF-SRG 的实时连通性必定优于 DDGF-MHR 梯度场。

考虑到移动车辆节点本身对数据的运载能力,在延迟容忍网络中,车辆节点在某段时间内的通信覆盖范围比节点实际通信半径覆盖范围要大,即等效覆盖半径增大,网络的断链节点数会减少,连通性增加。车辆节点等效覆盖半径与其通信半径 R 、移动速度 v 、容忍延迟时间 t_{DR} 有关,可表示为式(14)。车辆节点移动速度越快,容忍的延迟时间越长,车辆节点的等效覆盖半径越大,网络连通性越好。

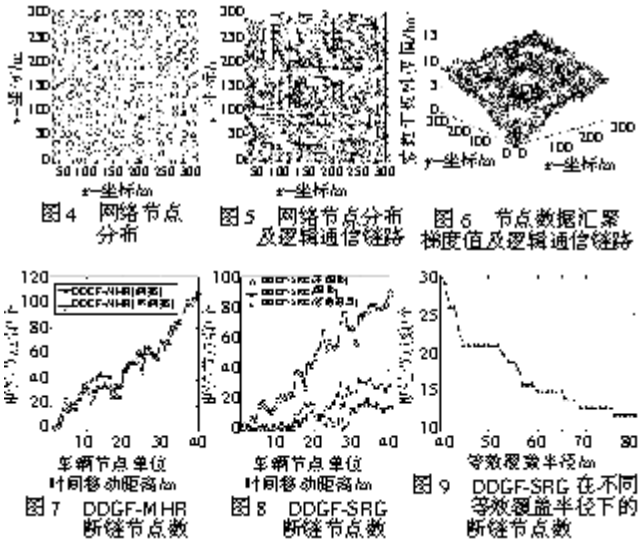
$$R_{cov} = R + v \times t_{DR}$$

(14)

4 仿真分析

仿真场景为约 300 个节点按近似均匀分布模型随机分布在 $300\text{ m} \times 300\text{ m}$ 的平面区域中,其中路边节点约为 16 个,网络节点密度 ξ 约为 $0.003\text{ 个}/\text{m}^2$,节点通信半径 R 为 40 m 。仿真目的为进一步揭示车辆传感器网络 DDGF-SRG 梯度场的连通性特征,并与 DDGF-MHR 梯度场相比较,验证其在网络实时连通性方面的优越性。

图 4~9 为仿真结果图。图 4 为网络节点分布情况,考虑到定向扩散机制的一般规律和自适应性,没有采用特殊的网络物理拓扑结构;图 5 为网络节点分布及 DDGF-SRG 梯度场建立后的逻辑通信链路情况;图 6 为 DDGF-SRG 梯度场建立后网络节点获取的数据汇聚梯度值及节点间的逻辑通信链路情况,从中可见网络按路边节点划分成若干区域,车辆节点优先链到就近的路边节点,路边节点再链向低梯度层次区域,直至链至 sink 节点。图 7 为 DDGF-MHR 梯度场在进行和不进行动态调整时的断链节点数比较情况,可见 DDGF-MHR 动态调整效果不理想,尤其是车辆节点移动速度很快时基本上没效果;图 8 为 DDGF-SRG 梯度场在动态调整前后以及利用车辆节点的延迟容忍运载能力后的断链节点数情况比较,从中可见 DDGF-SRG 梯度场进行动态调整后网络中的断链节点数显著减小,利用车辆节点的延迟容忍运载能力后,断链节点数进一步减少。图 9 为 DDGF-SRG 梯度场在不同等效覆盖半径下的断链节点数情况,可见随等效覆盖半径的增大,网络中的断链节点数呈现明显减少的趋势。



5 结束语

DDGF-SRG 梯度场通过分配给路边节点一个固定梯度值将规模巨大的车辆传感器网络划分成若干以路边节点为局部核心的区域,在局部区域内以定向扩散方式建立数据汇聚梯度场,依靠路边节点的固定梯度值与数据汇聚梯度值间的可滑动性将局部数据汇聚梯度场链接成一个定向扩散梯度场整体,梯度场的建立和动态更新可在各局部区域内分布式进行,很大程度上提高了全网的实时连通性,有利于改善车辆传感器网络的数据汇聚性能。

参考文献:

[1] ZHANG Wen-sheng, CAO Guo-hong, PORTA T L. Data dissemination with ring-based index for wireless sensor networks[J]. IEEE Trans on Mobile Computing, 2007, 6(7): 832-847.

[2] INTANAGONWIWAT C, GOVINDAN R, ESTRIN D. Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks[C]//Proc of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. New York: ACM Press, 2000: 56-67.

[3] AKYILDIZ I F, SU W, SANKARASUBRAMANIAM Y, et al. Wireless sensor Networks: a survey [J]. Computer Networks, 2002, 38(4): 393-422.

[4] HAN K H, KO Y B, KIM J H. A novel gradient approach for efficient data dissemination in wireless sensor networks [C]//Proc of VTC2004-Fall. Washington DC: IEEE Computer Society, 2004: 2979-2983.

[5] 郑明才, 张大方, 赵小超. MHR 无线传感器网络梯度场动态调整策略[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(8): 83-86.

[6] HAERRI J, FILALI F, BONNET C. Mobility models for vehicular Ad hoc networks: a survey and taxonomy [J]. IEEE Communications Surveys and Tutorials, 2009, 11(4): 19-41.

[7] 朱燕民, 李明禄, 倪明选. 车辆传感器网络研究[J]. 中兴通讯技术, 2009, 15(5): 28-32.

[8] ZHAO Jing, CAO Guo-hong. VADD: vehicle-assisted data delivery in vehicular Ad hoc networks[C]// Proc of the 25th IEEE International Conference on Computer Communications. Piscataway, NJ: IEEE Pres, 2006: 1-12.

[9] FALLK. A delay-tolerant network architecture for challenged Internets [C]//Proc of Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communication. New York: ACM Press, 2003: 27-34.