

一种稳健的城市场景车载 Ad hoc 路由策略

陈军 徐笛 李式巨 沈雷
(浙江大学信息与通信工程研究所 杭州 310027)

摘要: 该文通过分析已有的适合城市场景的 Ad hoc 车载路由策略, 发现其中的不足, 提出一种新的稳健高效的路由策略, 包括在交通岔口引入固定节点, 采用二次选择路由方向, 以及一系列有针对性的恢复机制。仿真结果表明, 新的路由协议在城市场景中有较好的性能。

关键词: 车载 Ad Hoc; 路由策略; 城市场景

中图分类号: TN915.04

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2007)11-2555-05

A Robust and Efficient Routing Strategy for Vehicular Ad hoc Networks in City Scenarios

Chen Jun Xu Di Li Shi-ju Shen Lei

(Institute of Information and Communication Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: In this paper, a new robust and efficient routing strategy for vehicular Ad hoc networks is proposed through analyzing existing routing strategies in city scenarios. A fixed node is set up on the junction, a twice-choice method for choosing routing directions and some repair strategies for city scenarios are presented. Simulation results show that the routing performance is improved by using the new algorithm.

Key words: Vehicular Ad hoc; Routing strategy; City scenarios

1 引言

近年来, 车载通信成为国外研究的热点。实现汽车间的无线通信可以给人类的生活带来极大的便利。例如, 在公路上行驶时, 人们可以通过通信系统来了解路段的情况, 根据是否发生事故或堵车及时调整路线。同时交通系统也可以根据所收集到的车流量和路况信息及时地调整红绿灯时间, 使交通系统达到最高效率。从上述看出, 引入车辆间无线通信可以极大地提高行车安全以及改善交通流量状况。目前的研究表明, Ad hoc网络比传统的蜂窝网络在车间通信中具有更大的优势, 例如在低延时、网络稳健性以及网络拓扑结构多变性方面, Ad hoc网络都有优势。汽车工业强国德国已经完成了基于Ad hoc网络的车载通信系统Fleet Net项目^[1], 并启动了后续的NOW(Network On Wheels)^[2]。

本文基于分析已有的适合城市场景的车载 Ad hoc 路由, 提出一种新的协议。本文主要安排如下: 第2节主要介绍已有的协议, 分析其中存在的问题; 第3节介绍一种新的路由方法; 第4节对新的路由进行性能仿真; 最后是结束语。

2 基于位置的路由协议

Ad hoc路由协议大致分为三类: 表驱动路由协议如DSDV, 按需路由协议如DSV, 以及基于位置的路由如LAR, GPSR。由于车载通信的特殊性, 可以方便地使用GPS定位系统, 这就给基于位置的路由实施带来极大的便利。过去的

研究表明, 在高速动态的车载通信环境中使用基于位置的路由相对于其他路由方式具有一定的优势^[3]。但是在城市场景中, 移动节点(即车辆)沿固定路径(道路)的运动, 道路两边建筑物阻碍无线信号的传播, 将严重影响已有的基于位置的路由协议的性能, 这在文献[4,5]中已有介绍。由于城市场景的特殊性, 需要一种针对其特点的路由策略, 实现更好的性能。

GPSR(Greedy Perimeter Stateless Routing)^[6]是一种将贪婪转发与周边转发相结合的路由算法。所有的数据分组初始化为贪婪转发模式。接收到贪婪转发模式分组的节点, 搜索其邻居表, 如果有邻居节点到信宿的距离小于本节点到信宿的距离, 则模式不变, 并转发到贪婪策略选择的邻居节点; 否则, 改变分组为周边转发模式。在周边转发模式中, 需要将路由拓扑构造造成平坦图, 同时转发策略采用右手规则。在发送数据包之前, 需要通过位置服务获取相应的目的节点的位置, 并且每一个节点需要在一定的周期内只向相邻的节点(数据传送一跳范围内)发送自己的位置信息。由于GPSR协议中使用了平坦图以及周边转发模式, 在城市场景中, 平坦图将会导致网络拓扑被割断而周边转发模式会引起路由问题。此外, 由于贪婪转发的使用也会在一定场景下导致路由路径发生冗余, 见图1(a)。节点 u 要将数据发送到 d , $1a$ 和 $2a$ 都在其1跳范围内, 而 $2b$ 在1跳范围外, 根据贪婪转发原则选择 $1a$ 而不是 $2a$, 之后 $1a$ 又选择转发到 $1b$, 这时达到了所谓的局部最优, $1b$ 发现其邻居节点中没有比其距离目的节

点更近, 并且其自身不是目的节点, 转发模式切换到周边转发。这里如果节点 u 开始能直接将数据包发送给 $2a$ 就省去了后续的冗余路由。

将GSR(Geographic Source Routing)^[5]应用于城市场景主要使用以下方法。在通过位置服务获取目的节点的位置信息之后, 需要额外利用电子地图的信息计算从本节点到目的节点的最佳路由, 路由计算的算法选择Dijkstra最短路径算法。信息在节点间的传递仍使用贪婪转发。另外为了增大路由策略的灵活性, 中间节点在数据包到达后可以利用Dijkstra最短路径算法重新计算最佳路由。由于GSR协议借助电子地图, 在源节点就对整个路由路径进行了规划。但是这样就限制了路由的灵活性, 如果中间出现节点不连通整个路由必须重新发起。此外, 发送的数据包中必须携带源节点计算所得的路由路径信息, 加大了传送的数据包长度以及增大了无线带宽的消耗, 同时也加大了网络的负载。

GPCR(Greedy Perimeter Coordinator Routing)^[7]是一种从GPSR发展过来的适用于城市环境车间路由通信的协议。首先还是通过位置服务获取目的节点的位置, 接下来通过受限的贪婪转发进行路由。这里的“受限”是指当转发节点发现转发方向存在节点处于交通岔口时, 便直接将数据包转发送给该节点, 而不是执行贪婪转发, 反之则还是进行贪婪转发。同GPSR协议中一样, GPCR也使用到了贪婪转发, 这样就会导致如图 1(b)的问题发生。节点 u 发送数据到 d , 因为 $2a$ 处于交通三岔口, 所以 u 选择将数据发送到 $2a$, 而不是使用贪婪转发到离 d 点最近的节点。 $2a$ 的传送范围内包含 $1b$ 和 $2b$, 由于 $1b$ 距离 d 点较 $2b$ 近, 根据贪婪转发 $2a$ 将 $1b$ 选择为下一跳。这样 $1b$ 又形成了局部最优。根据GPCR的恢复机制, $1b$ 会选择继续往 $2a-1b$ 的延长线方向继续传送。此外由于处于交通岔口的节点依赖于不断运动的节点, 出现没有节点在交通岔口的情况势必是不能避免的, 那么这就会增大对处于交通岔口的节点选择的的风险。

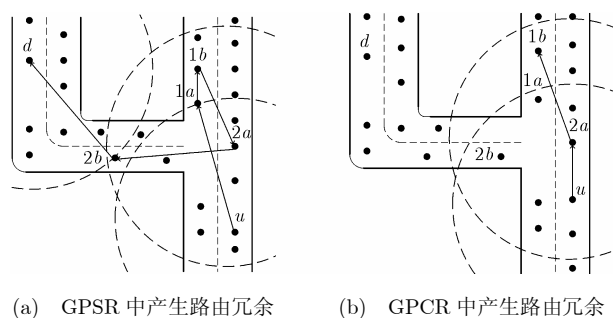


图 1

3 一种改进的路由协议

针对上述协议中的问题, 本文基于已有的协议, 提出了一种改进的车载路由协议。

首先, 在城市场景中, 处于交通岔口的节点具有重要作用, 在这里进行路由决策可以解决图 1(a)GPSR 的冗余路由问题, 应该避免出现运动节点不在岔口的情况。新协议在每一个交通岔口中安置一个与车载通信节点完全对等的固定节点, 如图 2 所示, 该节点的位置事先存储在节点中。每个节点将自己的位置信息在一跳范围内对所有的邻居节点广播, 从而实现位置信息的交互。相对于 GPSR, 在信息的协议头中需要额外的加入 1bit 用来标志固定节点。当普通的车载节点发送自己的位置信息时置该标志位为 0, 当处于岔口的固定节点发送位置信息时置该标志位为 1。这样当一个节点收到标志位为 1 的邻居节点位置信息时就可以判断出该邻居节点为处于岔口中的固定节点, 当为 0 时就作为普通节点来处理。通过引入岔口固定节点, 同时配合修正后的位置信息交互, 使得处于岔口节点的侦测问题迎刃而解, 避免了复杂计算, 大大增加了可靠性。

其次, 由于周边建筑物的存在, 通信路径被限制在道路范围内, 在交通岔口需要选择路由方向, 使之能沿最短的路径到达目的节点。在实际场景中可能出现如图 3 的情况。节点 a 和节点 b 都处于固定节点的有效通信范围内, 且 a 点较 b 点距离目的节点 d 更近, 如果仅比较邻居节点中相距目的节点的距离, u 将会选择 a 点作为下一跳, 这样虽然达到了局部最优, 但是却选择了错误的路由路径, 如果恢复机制不当, 将无法到达目的节点。如果先确定两条支路上固定节点 u 信号传输所能达到的最远点, 比较这两点与目的节点的距离, 选择近者为下一跳路由方向, 继续在该方向上寻找最近的实际节点, 那么 b 点就会成为下一跳。

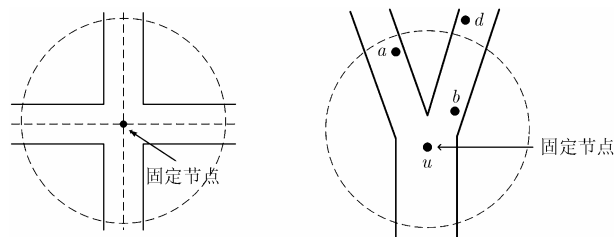


图 2 处于交通岔口的固定节点

图 3 固定节点的路由决策

完整的策略叙述如下: 处于岔口的固定节点除了需要记录自己的位置信息, 同时也需要记录该固定节点在所有分岔支路上有效传播范围内所能达到最远点的位置信息。当处于岔口的节点接收到数据包后, 路由策略是, 首先查看自己的邻居表中是否有目的节点, 如果存在目的节点则直接发送, 反之固定节点通过比较支路上有效传播范围内所能达到最远点与目的节点的距离(这里节点转发过来的支路不进行计算), 选择最近方向上的距离目的节点最近的实际节点转发。需要注意的是, 这里做了两次选择, 前一次是选择转发的方向, 后一次是选择在该方向上的实际节点。这不同于以往协

议中简单的采用贪婪转发,而是首先根据已有信息确定最优转发支路,接下来在最优支路上确定最优节点。

二次选择的结果是下一跳节点可能并不是转发节点的邻居节点中距离目的节点最近的,但可以确保固定节点选择的转发方向是要优于其它选择,从而有效地缩短路由跳数,提高路由效率,而图 1(b)的问题也因此得到解决。这里还需要注意的是,固定节点在进行最优支路的判断时,是不考虑数据包转发过来的支路的,这样可以避免陷入局部最优的节点与岔口固定节点之间形成路由环。

总的路由过程如下:如图 4 所示,源节点为 u , 目的节点为 d 。源节点 u 通过位置服务获取目的节点 d 的位置信息后,发现自己的邻居节点中没有存在处于岔口的固定节点,就按照贪婪转发选择距离目的节点最近的邻居节点 b 作为下一跳。当 b 转发数据包时,发现自己的邻居节点 $2a$ 为固定节点,于是不论邻居节点 $1a$ 相对于 $2a$ 距离目的节点更近, b 还是选择 $2a$ 作为自己的下一跳节点。固定节点 $2a$ 进行最优支路的判断,分岔支路上有效传播范围内所能达到最远点分别为 x, y, z , 其中 x 点距离目的节点 d 最近,从而选择该方向上的距离目的节点最近的实际节点 c 转发。随后的路由决策过程与前述类似,最后到达目的节点 d 。

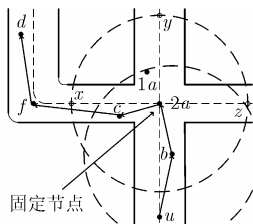


图 4 新协议的路由决策机制

由于城市场景的复杂性,节点又处于高速移动状态。在协议中一些有针对性的恢复机制被引入,用于改善和提高路由性能。

(1) 固定节点缓存的使用 由于整个网络的节点不断移动,如果固定节点在确定转发方向后,发现该方向上不存在一个节点,此时网络拓扑发生了局部中断。这时固定节点就会选择次优方向的节点进行转发,同时将数据包进行缓存,设置合理的 T_{out1} 。如果在该时间范围内,固定节点收到最优方向上的节点位置信息,就直接将该数据包进行再次转发,如果过了该时间,则自动丢弃该数据包。当然前面所选的次优方向必须比固定节点相较于目的节点近,否则的话,就直接将数据包缓存不进行转发,同时设置 T_{out2} , 其中 $T_{out2} > T_{out1}$ 。缓存的使用可以避免在网络暂时性中断的情况下启动路由重发,从而减轻网络负载。

(2) 针对局部最优的处理机制 实际应用中,局部最优是不能避免的。例如源节点开始就处于局部最优位置等,如图 5 所示。通过下述绕路恢复机制恢复到正常的路由状态,

新的路由协议可以应对意外的局部最优。即:源节点在自己的邻居节点中选择离自己最远的节点发送,而后就始终沿着第一次转发的延长线方向进行受限的贪婪转发,直到遇到处于岔口的固定节点,这样就可以恢复到上述的路由过程。当然如果数据包经过发送后陷入局部最优,那就直接沿着前转发节点和本节点的延长线方向进行转发,当到达处于岔口的固定节点后,就可以恢复到正常的路由,从而提高数据包的传达率。

(3) 受限的局部洪泛路由 由于路由协议是应用于高速移动的车载系统内,所以节点始终处于不断的移动中。因此当数据包由源节点发送到目的节点时,可能会存在目的节点已经离开源节点通过位置服务所获得的位置的情况。如图 6 所示,目的节点为 D , 这里可能存在两种情况,一是转发节点 a 的邻居位置信息中储存有 D 的信息,但是发送信息后始终没有收到目的节点的确认;二是 a 点的邻居位置信息中没有 D 点的信息,但是收到的 D 点的位置坐标在 a 的无线通信范围内。实际中 D 点从原来的位置移动到新的位置,而新的位置又刚好在 a 的通信范围以外,这样就导致了数据包无法送达目的节点,于是需要重新发起一轮路由,网络开销就会增大。如果 a 点发现上述情况后(这里 a 点是原本路由中的最后一跳发起者),根据 D 点的移动速度 v , 以及无线发送的最大有效通信距离来决定进行洪泛的最大跳数 n , 但是一般情况下 n 不应该大于 3, 因为网络传输的时延引起车辆移动的距离在一般情况下都是很小的数量级。通过这样的受限小范围洪泛,可以使得数据包发送到即使位置已经改变的目的节点。

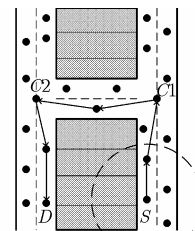


图 5 针对局部最优的处理机制

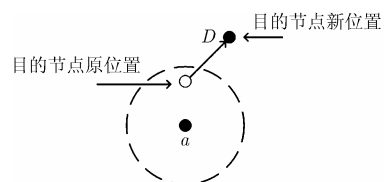


图 6 移动导致目的节点离开最后一跳范围

4 性能仿真

在实际仿真中,我们使用 NS2^[8]。设置合适的仿真场景

和节点运动模型是仿真能够真实反映一个Ad hoc网络协议性能的关键。在NS2 中已有的运动模型(random waypoint model, random direction model)多为节点随机运动在无任何障碍的平面内,不符合现实的运动场景尤其是城市场景,不能反映路由协议的真实性能。因此本文采用障碍物运动模型项目(Obstacle Mobility Model Project,OMMP)^[9]提供的节点运动模型。该项目在场景中引入障碍物模型,限制节点的运动和无线信号的传输;通过生成Voronoi图建立运动路径;节点随机分布在路径中并沿路径运动到目的地^[10]。

设置场景大小为 2km×2km,建立场景模型如图 7 所示。图中阴影部分为建筑物,带端点黑线为城市道路,节点将沿道路随机的从一个端点运动到目的端点。在用户指定的范围内,随机选择节点运动速度和到达目的地后的停留时间^[9]。MAC层采用IEEE802.11,传输速率为 2Mb/s,节点间的最大有效通信距离为 250m,节点的最大移动速度为 25m/s,最大停留时间 10s,采用位置服务HLS(Hierarchical Location Service)^[11]。节点个数 100 个,随机选择 30 对节点,启动 30 个cbr数据流,每个流发送率为 1kbps。仿真持续时间 600s。图 8 为仿真结束后,通过动画显示工具nam看到的某时刻运行场景图。其中,小方块表示的是节点的初始端点或目的端点,与小方 7 对应;小圆圈表示运动节点。

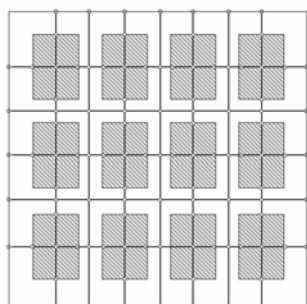


图 7 模拟城市场景

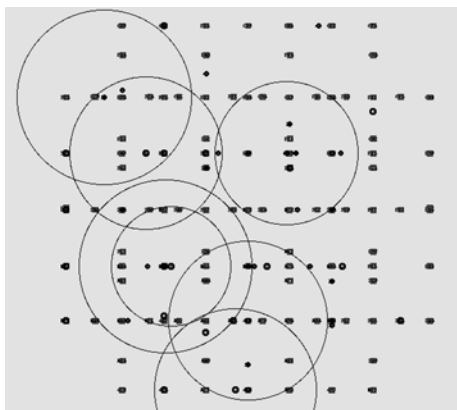


图 8 用 nam 看仿真过程

我们对仿真结果进行分析,采用路由协议度量:数据包

传递率(delivery rate)和路由跳数(number of hops)。所有的结果都是 10 次测试的平均。

图 9 中,横坐标表示节点间的通信距离,纵坐标表示数据包传递率。从图中可以清楚地看到新协议相对于GPSR协议的优势,从 500–3000m的通信距离中,新协议的数据传递率始终高于GPSR。在本文建立的城市场景中,由于采用了障碍物运动模型(obstacle mobility model)和信号传播模型(signal propagation model)^[10],GPSR的数据传递率随着通信距离的增大急剧下降。这是由于在城市场景中,GPSR协议采用的平坦图将会导致网络拓扑被割断,导致恢复策略“周边转发模式”失败;新算法针对城市场景的特点,在岔口引入了固定节点,采用二次选择路由方向,以及一系列有针对性的恢复机制,有效提高了数据包传递率。图 10 表明新算法的平均路由跳数要少于GPSR,这是由于新算法的数据包传递率高于GPSR,增加的路由跳数为GPSR不能成功传递的部分。新算法数据包传递率的提高是以增加路由跳数为代价的。

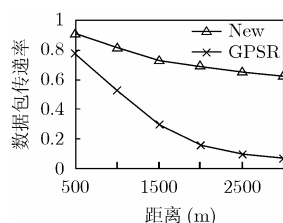


图 9 平均数据包传递率

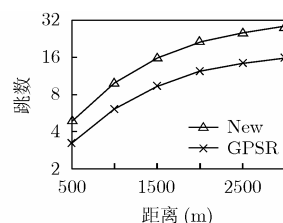


图 10 平均路由跳数

5 结束语

基于 Ad hoc 网络的车载通信能有效提高城市交通效率和安全性,在实现道路信息化、驾驶智能化方面有广阔发展前景。针对复杂的城市场景下的车载 Ad hoc 路由,本文通过分析现有路由机制中存在的问题,引入岔口固定节点、二次选择算法以及针对性的恢复机制,提出了一种稳健高效的路由策略。仿真结果表明,新的路由协议在城市场景中有较好的性能,本文采用的新方法有一定的实用价值。在城市道路的岔口引入固定节点是新算法的一个重要特点,除了可以避免复杂计算,还可以进一步发展多种功能,例如在固定节点决策路由时考虑每条支路上是否有足够的节点来支撑网络的连通性,一种可行的方案是通过引入一种主动的试探机制来探测网络;可以让固定节点成为网关,通过它接入互联网,从而使乘客可以无线上网;可以让固定节点成为位置服务器,搜集车辆位置信息,减少位置信息数据包的发送,从而节省带宽。

参考文献

- [1] Daimler Chrysler A G, *et al.* Universities of Hannover and Mannheim, *et al.* FleetNet—Internet on the road. <http://www.et2.tu-harburg.de/fleetnet>

- [2] University of Mannheim. The Network on Wheels project. <http://www.informatik.uni-mannheim.de/pi4/projects/now/>
- [3] Füßler H, Mauve M, Hartenstein H, Vollmer D, and Kasemann M. A comparison of routing strategies for vehicular ad-hoc networks. Technical Report TR-02-003, University of Mannheim, March 2002.
- [4] Karp B N. Challenges in Geographic Routing: Sparse Network, Obstacles, and Traffic Provisioning. Presentation at the DIMACS Workshop on Pervasive Networking, Piscataway, NJ, May 2001.
- [5] Lochert C, Hartenstein H, Tian J, Füßler H, Hermann D, and Mauve M. A routing strategy for vehicular Ad-hoc networks in city environments. In Proc. Of IEEE IV'03, Columbus, OH, 2003: 156–161.
- [6] Karp B and Kung H T. GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks. MobiCom 2000, Boston, Massachusetts, USA , August 2000: 243–254.
- [7] Lochert C, Mauve M, Füßler H, and Hartenstein H. Geographic routing in city scenarios. MobiCom 2004, Philadelphia, PA, USA , Sep 26-Oct 1, 2004: 69–72.
- [8] Ehlert S, Heidemann J, and Ramachandran I, *et al.* The Network Simulator-ns2. http://nslam.isi.edu/nslam/index.php/Main_Page.
- [9] Mobility Management and Networking (MOMENT) Lab, the Networking and Multimedia Systems (NMSL) Lab and the Geometric Computing Lab (GCL). Obstacle Mobility Model Project. <http://moment.cs.ucsb.edu/mobility/index.html>.
- [10] Jardosh A, Belding-Royer E M, Almeroth K C, and Suri S. Real-world environment models for mobile network evaluation. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2005, 23 (3): 622–632.
- [11] Kiess W, Füßler H, Widmer J, and Mauve M. Hierarchical location service for mobile Ad-hoc networks. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, October 2004, Volume 8, Issue 4: 47–58.
- 陈 军: 男, 1983年生, 硕士生, 研究方向为城市场景中车载Ad hoc网络路由算法、嵌入式多媒体通信.
- 徐 笛: 男, 1983年生, 硕士生, 研究方向为Ad hoc网络路由算法.
- 李式巨: 男, 1947年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为数字无线通信与对抗、信息交换与宽带通信网.
- 沈 雷: 男, 1979年生, 博士生, 研究方向为扩频全数字接收机、扩频非协作通信、独立分量信号盲分离.