

# 城市车载自组织网络中带有冲突估计的节点转发策略

胡长俊<sup>1</sup> 袁树杰<sup>2</sup>

(安徽理工大学电气与信息工程学院 淮南 232001)<sup>1</sup> (安徽理工大学能源与安全学院 淮南 232001)<sup>2</sup>

**摘要** 针对目前城市环境中车载自组织网络车辆节点分布不均衡引起的消息传递冲突率高、传递效率低、路由可靠性差等问题,在IF(Irresponsible Forwarding)算法的基础上提出一种带有冲突估计的节点转发策略(NFCE算法)。收到消息的车辆节点首先确定自身的转发冲突概率,在不超过一定阈值的条件下,再根据节点的密度、通信半径大小以及到源节点的距离来确定自己的转发概率,最终概率大的节点优先转发消息。仿真结果表明,相比于其他算法,NFCE算法降低了节点传递冲突率,其路由有更高的效率和可靠性,特别在车辆密度较大时NFCE算法有明显的优势,更适合应用在城市环境中。

**关键词** 车载自组织网络,节点转发,冲突估计,节点密度

**中图分类号** TP393 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2017.10.022

## Node Forwarding Strategy with Collision Estimation in Urban Vehicular Ad Hoc Networks

HU Chang-jun<sup>1</sup> YUAN Shu-jie<sup>2</sup>

(School of Electrical and Information Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)<sup>1</sup>

(School of Mining and Safety Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)<sup>2</sup>

**Abstract** Aiming at the problem of high collision rate in message transmission, low transmitting efficiency and unreliable routing caused by the uneven distribution of vehicles in urban vehicular ad hoc networks, a node forwarding strategy with collision estimation (NFCE) was proposed based on irresponsible forwarding (IF) algorithm. Firstly, the vehicular node receiving message from others determines the probability of collision in forwarding message. If the probability is below a certain threshold, then the node determines its own forwarding probability on the basis of the node density around it, its communication radius and its distance from the source node. Finally the node with higher forwarding probability has more priority to forward the message. Simulation results show that, compared with other typical algorithms, the NFCE algorithm reduces the rate of transmission collisions, its routing has higher efficiency and reliability than others especially in large vehicle density of urban environments, so NFCE is more suitable for application in urban environment.

**Keywords** Vehicular Ad hoc networks, Node forwarding, Collision estimation, Node density

## 1 引言

在过去的几年里,车载自组织网络作为智能交通系统的重要组成部分,受到了广泛关注。路由是车载网络的重点研究内容之一,其研究目标是提高车载网络的数据传输成功率,减少传输时延和降低网络负载等。车载网络与传统的移动自组织网络有很大区别,一方面体现在车载节点一般不考虑能量因素,能通过车辆移动获得能量;另一方面是车载节点的移动速度一般比自组织网络的节点更快,这意味着车载网络的拓扑和通信链路变化更快,因此传统的传感器网络和移动自组织网络的路由协议都不适用于车载网络。

针对车载网络的以上特性,目前研究者已经提出了以下

几类典型的路由协议:基于拓扑的路由<sup>[1-2]</sup>、基于位置的路由<sup>[3-5]</sup>、基于车辆密度的路由<sup>[6-9]</sup>、基于地图的路由<sup>[10]</sup>、基于轨迹的路由<sup>[11-12]</sup>、基于机会通信的路由<sup>[13-14]</sup>。其中,与本文直接相关的有GeoDTN+NAV算法<sup>[5]</sup>,其融合了3种转发模式:贪心转发、边界转发和机会转发。该算法根据车载网络连通的状态选择相应的转发方式,当连通状况较好时采用贪心转发方式;当陷入局部最优时采用边界转发;当连通状况较差时采用机会转发,即采用存储-携带-转发的方式。该算法适用于节点分布不均衡的网络中,能在保证传递率的同时减少数据传输时延,但在节点密度较大时没有考虑通信冲突的情况。文献[8]提出了一种不负责任的转发策略IF(Irresponsible Forwarding),即每个收到消息的车辆节点对上一跳节点通信

到稿日期:2016-09-22 返修日期:2016-12-18 本文受国家自然科学基金青年基金项目(61300001,51404008,61401003),安徽省矿用电子工程技术研究中心开放基金项目(2013KF04)资助。

胡长俊(1973—),男,博士生,讲师,主要研究方向为井下监测、车联网技术,E-mail:601254090@qq.com;袁树杰(1963—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为安全科学技术理论,E-mail:yuansj@aust.edu.cn(通信作者)。

范围内的其他节点进行转发估计,如果发现有其他节点更适合转发消息,则自动放弃转发。IF算法减少了重复消息的数量并降低了节点冲突的可能性,但未考虑节点冲突,并假设所有节点的通信半径相同,大大限制了其在实际场景中的应用。

以上提出的路由算法中绝大多数都没有针对车载节点路由过程中的通信冲突进行有效处理。而在城市环境下,由于车辆密度大且分布不均衡,节点通信冲突更为频繁,从而造成消息传递效率低、路由可靠性差,如何解决这个问题是重要的研究课题。本文在IF算法的基础上提出了一种带有冲突估计的节点转发策略(NFCE算法),其基本思想是:每个接收到消息的车辆节点利用周围节点的密度、通信半径以及到上一跳节点的距离分别计算冲突概率和相应的冲突阈值,进而决定是否转发消息,尽量使冲突概率小、通信距离远的车辆转发消息,以提高消息传递的成功率和可靠性。

### 2 IF算法的分析与改进

在IF算法中,接收到消息车辆的转发概率为:

$$p = \exp\left(-\frac{\rho(R-d)}{c}\right) \tag{1}$$

其中, $R$ 为车载节点的通信半径; $d$ 为接收消息与发送消息车辆之间的距离; $\rho$ 为车辆分布密度(车辆之间距离的平均值为 $1/\rho$ ); $c(c \geq 1)$ 为调整因子,可以调整不同节点密度 $\rho$ 的情况下转发车辆的数目,其值可以根据当前街道的车辆状况通过多次仿真实验获得。IF算法假设所有节点的通信半径相同,实际上由于信号发射功率大小不同以及多径衰落的影响,节点的通信半径往往有很大差别。另外,有效的路由策略不仅要考虑当前转发节点的位置,还要考虑其后继节点的状况,如图1所示,车载节点 $V_1$ 和 $V_2$ 都在源节点 $V_s$ 的通信范围内,由于 $d_2 > d_1$ ,按照IF算法会选择 $V_2$ 作为 $V_s$ 的转发节点,但从图1可明显看出虽然车辆 $V_2$ 距离源节点 $V_s$ 更远,但节点 $V_1$ 的通信距离 $R_1 > R_2$ ,可以把消息送到比 $V_2$ 更远的区域,因此 $V_1$ 更适合作为转发节点。

基于以上考虑,将式(1)中的转发概率修改为:

$$p = \exp\left(-\frac{\rho(R_s-d)}{c} \cdot \frac{R_s}{R_i}\right) \tag{2}$$

其中, $R_s$ 为源节点(接收到消息节点的上一跳节点)的通信半径, $R_i$ 为源节点通信范围内第 $i$ 个节点的通信半径。假设图1中, $R_s = 150\text{m}$ , $d_1 = 100\text{m}$ , $d_2 = 120\text{m}$ , $c$ 取2,节点密度 $\rho$ 取0.05,设车辆通信半径相同,都为150m,则按照IF算法的公式可得: $P_{v1} = 0.28$ , $P_{v2} = 0.47$ , $P_{v1} < P_{v2}$ ,因此IF会选择 $V_2$ 作为转发消息的车辆。

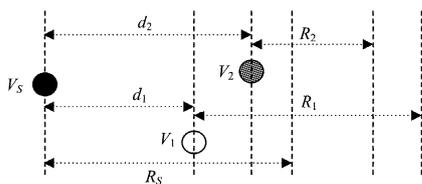


图1 转发车辆的比较分析

现假设 $R_1 = 100\text{m}$ , $R_2 = 50\text{m}$ ,则由式(2)可得: $P_{v1} = 0.15$ , $P_{v2} = 0.11$ ,即改进后选择 $V_1$ 作为转发车辆。

式(1)和式(2)选择不同的车辆作为转发节点,而式(2)能充分考虑到2跳节点的情况,选择的下一跳节点 $V_1$ 转发的消息能够覆盖更多车辆和更远的距离,可以在一定程度上减少消息到达终点的时间,因此改进后式(2)选择的节点更有利于提高路由效率。

### 3 冲突估计分析

当车载节点密度增加时,节点通信冲突的概率也随之增加。冲突是指在通信范围内有2个或2个以上的节点同时发送消息而导致消息发送失败的情况,其对路由效率有很大影响。

假设当前节点通信范围内的节点数为 $n$ ,每个节点的发送概率为 $p$ (为简化讨论,先不考虑节点 $p$ 的差别),则 $n$ 个节点中有1个以上的节点同时发送消息的概率(记为 $P_{busy}$ )为:

$$P_{busy} = 1 - (1-p)^{n-1} \tag{3}$$

以式(3)为基础,由条件概率定义可得某时刻只有1个节点使用无线信道发送消息的概率 $P_{one}$ 为:

$$P_{one} = \frac{p(1-p)^{(n-1)}}{P_{busy}} \tag{4}$$

再由式(3)和式(4)可得1个以上节点同时传递导致冲突的概率(记为 $P_{collision}$ )为:

$$P_{collision} = P_{busy} \cdot (1-P_{one})$$

将式(3)、式(4)代入上式,整理得:

$$P_{collision} = 1 - (1+p)(1-p)^{(n-1)} \tag{5}$$

$P_{collision}$ 即为当前通信范围内接收到消息的节点转发消息发生冲突的概率,其中 $p$ 为节点转发概率。由式(2)和式(5)知,冲突概率 $P_{collision}$ 和节点密度 $\rho$ 、通信距离 $d$ 以及节点自身的通信半径 $R$ 有关。

图2给出了在节点密度 $\rho$ 一定时,当下一跳节点的通信半径 $R_i$ 分别为 $[100\text{m}, 400\text{m}]$ 时,节点的冲突概率 $P_{collision}$ 和距离 $d_i$ 之间的关系,其中 $\rho$ 取0.02, $c$ 取5。由图2可知, $P_{collision}$ 随着 $d_i$ 的增加而增大;当 $d_i$ 一定时,通信半径 $R_i$ 越大, $P_{collision}$ 越大,而式(2)要求选择通信半径大的节点转发,故两者之间存在一定矛盾。为了选择更合适的转发节点,必须在 $P_{collision}$ 和 $R_i$ 之间取得平衡,因此本文特设置一个冲突概率门限 $TH_{collision}$ ,自身冲突概率 $P_{collision}$ 大于 $TH_{collision}$ 的车载节点把转发机会留给冲突概率较小的节点,后者再根据式(2)选择转发节点。

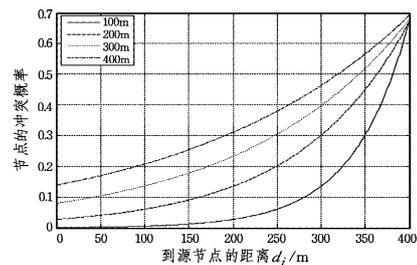


图2  $P_{collision}$ 与 $d_i, R_i$ 的关系

由于节点的 $P_{collision}$ 随着节点通信半径 $R_i$ 的增加而增大,而式(2)说明 $R_i$ 较大的节点有利于路由,为了让 $R_i$ 较大的节

点也有一定的转发机会,必须相应地提高其  $TH_{collision}$  值,即使不同通信半径的节点有不同的冲突概率门限。因此,本文将车载节点  $i$  的概率冲突门限  $TH_{collision}$  定义为:

$$TH_{collision} = 1 - A \exp(-\rho R_i) \quad (6)$$

其中,  $A$  为  $(0, 1)$  范围内的调整因子,用于调整相应的  $TH_{collision}$  值使其尽量符合车载网络的实际需要,  $A$  值可以在网络运行时根据路由的实际状况确定。 $\rho$  和  $R_i$  的含义与式(2)相同。每个节点转发消息的冲突概率  $P_{collision}$  和冲突门限  $TH_{collision}$  在理论上是由通信半径内的所有节点的通信半径  $R_i$  和转发概率  $p_i$  决定的,这里简化为由节点自身  $R$  和  $p$  计算获得。

#### 4 NFCE 路由过程

车辆周期性地发送 HELLO 消息,并通过收到的回应消息 HELLO\_APPLY(包含车辆位置信息)得到周围车辆数目(因为消息向前传递,这里只统计车辆前方的节点),进而得到周围节点密度  $\rho$ 。假设节点可以通过车辆消息中的位置信息变化来判断车辆的行驶方向,则接收消息的车辆能够通过接收信号强度(RSSI)计算出到发送消息的车辆的距离。当源车辆周围没有其他车载节点时,采取存储-携带-转发方式,直到遇到合适的转发节点继续转发。节点缓存收到的消息,以便判断后来的消息是否为副本。为了保证消息的有效性和时效性,规定节点只转发传递方向与自己移动方向一致的消息,超过生存期的消息被自动丢弃。消息的结构信息如表 1 所列。

表 1 消息的结构信息

参数	含义
ID	每个消息的标识
POSITION	车辆位置信息
LIFE_TIME	消息生存期
DATA	消息内容

为保证转发概率  $p$  较高的节点能够优先转发消息,特设定转发节点的等待延时  $T_{wait}$  为:

$$T_{wait} = T_{min} + (T_{max} - T_{min})(1 - p) \quad (7)$$

其中,  $T_{min}$  和  $T_{max}$  分别是节点等待的最短时间和最长时,可以通过仿真实验获得其经验值,作为实际应用的参考。式(7)中转发概率  $p$  越大,等待的时间越短,从而可以进一步降低节点通信冲突的概率,让更适合的节点转发消息。

节点需要发送消息时,将自己的位置信息、通信半径、消息生存期等内容放入消息内一起广播出去。收到广播消息的车载节点(非目的节点)的处理过程如下:

步骤 1 如果周围节点密度  $\rho$  为 0,则继续携带消息,直到  $\rho > 0$  时转步骤 2。

步骤 2 如果消息生存期为 0,或消息为重复消息,或消息传递方向与节点自身行驶方向不同,则直接丢弃,结束;否则转步骤 3。

步骤 3 节点分别用式(2)、式(5)、式(6)计算转发概率  $p$ 、转发消息冲突概率  $P_{collision}$  和冲突门限  $TH_{collision}$ ,如果  $P_{collision}$  大于  $TH_{collision}$ ,则放弃转发,结束;否则转步骤 4。

步骤 4 节点按照式(7)计算延时  $T_{wait}$ ,并启动相应时间长度的计时器。

步骤 5 如果在计时器时间  $T_{wait}$  内收到其他节点转发的同一消息,则放弃转发并停止计时器,结束;否则转步骤 6。

步骤 6 将消息生存期减 1,并转发消息。

#### 5 仿真分析

以 ONE1.4 作为仿真平台,假设每个车辆都配有 GPS 设备,可以实时确定自己的位置。车辆节点 MAC 层采用 IEEE802.11 的 CSMA/CA 协议。仿真中采用的参数如表 2 所列。

表 2 仿真参数表

参数	取值
网络规模	5000m×5000m
仿真时间	6000s
车辆移动模型	MapRouteMovement
车辆通信半径 $R$	100~400m
车辆密度 $\rho$	10~60veh/km
车辆移动速度	15m/s
消息长度	1kB
消息生成速度	5packets/s

经过多次仿真分析发现,当式(6)中  $A=0.5$ ,式(7)中  $T_{min}=0.1s$ ,  $T_{max}=0.5s$  时,网络性能较好,相应的取值也应用在后文的仿真中。在相同网络环境下对本文提出的 NFCE 算法与 IF 算法以及 GeoDTN+NAV 算法进行仿真,分别在冲突概率、网络的吞吐率、消息成功传递率等方面进行比较,仿真中发出消息的源节点数目占总节点数的 50%。

图 3 给出了 3 种算法在冲突概率方面的对比,此处的冲突概率定义为仿真过程中节点传递消息发生冲突的次数和节点传递的总次数的比率。由图 3 可以看出,与预期相同,3 种算法的冲突概率都随着节点数的增加而增加。由于 NFCE 算法采用了冲突概率门限制制以及在消息转发时采用延时策略,冲突概率明显小于其他两种算法;当节点密度较大时,本文算法的优势更加明显,冲突概率基本稳定在 0.6 以下。

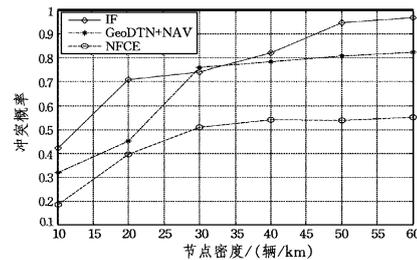


图 3 3 种算法的冲突概率与节点密度的关系

网络的吞吐率指到达目的车辆的消息总数占网络中消息总数的百分比(网络中的消息数包括传输的消息数、节点缓存区内未处理的消息数以及冲突的消息数),是衡量车载网络的路由效率和可靠性的重要参数。图 4 比较了 3 种算法运行时网络的吞吐率变化。由图 4 可知,随着节点密度增加,吞吐率下降,即总消息数的增加速度超过了目的节点收到消息的增加速度。GeoDTN+NAV 采用了 3 种传输模式有机结合的方式,保证了一定的数据传递可靠性,其吞吐率优于 IF 算法。而 NFCE 算法通过冲突概率分析限制了转发消息的数目,减小了传递冲突的可能性,选择的下一跳节点考虑了 2 跳节点范围的情况,更有利于选择更有效的路由,减小重复消息出现的几率,其吞吐量高于其他两种算法。

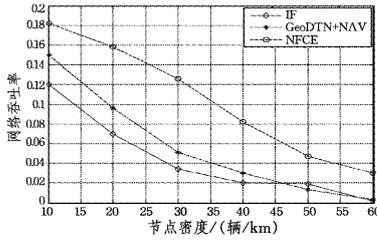


图4 3种算法的网络吞吐量与节点密度的关系

消息的成功传递率指目的车辆接收到消息的次数占整个网络中源车辆发出消息总数的百分比,用以衡量路由可靠性。图5比较了3种算法运行时消息的成功传递率。需要说明的是,在节点数较少时,GeoDTN+NAV算法和NFCE算法均采用了携带转发的方式,保证了消息传递的成功率,仿真中节点密度为10辆/km时,消息传递率最高接近90%,而IF算法在节点数较少时形成的有效通信链路数目有限,传递成功率比其他两种算法都低。随着节点密度的不断增加,NFCE的优势逐渐明显,基本上维持在60%以上,其余两种算法在节点密度超过50辆/km后的消息的成功传递率已经低于40%。

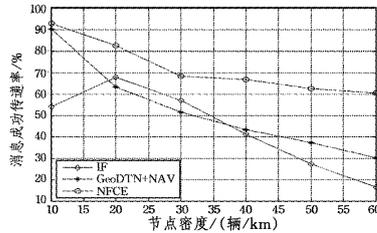


图5 3种算法的消息的成功传递率与节点密度的关系

**结束语** 本文提出的NFCE算法在IF算法的基础上修改了节点的转发概率,并加入了冲突估计,可以在尽可能降低节点通信冲突概率的前提下提高路由效率和可靠性。通过仿真表明,与IF算法和GeoDTN+NAV算法相比,NFCE算法明显降低了节点通信的冲突概率,在节点密度较大时优势更明显,同时有较高的网络吞吐量。实验结果肯定了NFCE算法形成路由的高效率和可靠性,其适用于城市环境中的车载自组织网络。今后将进一步通过实验来检验NFCE算法的有效性,确定公式中相应参数的最佳值,并在分析冲突概率和转发节点的选择中考虑更多实际因素,如信号的干扰和衰减、障碍物的影响等。

参考文献

[1] JACQUET P, MUHLETHALER P, CLAUSEN T, et al. Optimized link state routing protocol for ad hoc networks[C]//IEEE International Multi Topic Conference (IEEE INMIC 2001). 2001;62-68.

[2] JOHNSON D B, MALTZ D A, BROCH J, et al. DSR: The dynamic source routing protocol for multi-hop wireless ad hoc networks [M]//Ad Hoc Networking. Addison-wesley Longman Publishing Co. Inc. . 2001;139-172.

[3] KARP B, KUNG H T. GPRS;greedy perimeter stateless routing for wireless networks[C]//Proceedings of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBI-COM'00). 2000;243-254.

[4] SCHNAUFER S, EFFELSBERG W. Position-based unicast routing for city scenarios[C]//Proceedings of the 9th International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Net-

works (WoW-MoM'08). 2008;1-8.

[5] CHENG P C, LEE K C, GERLA M, et al. GeoDTN+Nav; Geographic DTN Routing with NavigatorPrediction for Urban Vehicular Environments [J]. Mobile Networks & Applications, 2010,15(1):61-82.

[6] MOUZNA J, UPPOOR S, BOUSSEDJRA M, et al. Density aware routing using road hierarchy for vehicular networks [C]//Proceedings of IEEE/INFORMS International Conference on Service Operations, Logistics and Informatics (SOLr09). 2009;443-448.

[7] JERBI M, SENOUCI S M, MERAIHI R, et al. An improved vehicular ad hoc routing protocol for city environments[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC'07). 2007;3972-3979.

[8] PANICHPAPIBOON S, FERRARI G. Irresponsible Forwarding [C]//Proc. of 8th International Conference on ITS Telecommunications. Phuket, 2008;311-316.

[9] SONG C, LIU M, GONG H G, et al. Distributed Real-Time Information Based Routing Protocol in Vehicular Ad-Hoc Networks[J]. Journal of Software, 2011,22(3):466-480. (in Chinese) 宋超,刘明,龚海刚,等.基于分布式实时信息的车载网络路由协议[J].软件学报,2011,22(3):466-480.

[10] LOCHERT C, MAUVE M, FUSSIER H, et al. Geographic routing in city scenarios[J]. SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev. ,2005,9(1):69-72.

[11] LEONTIADIS I, MASCOLO C. GeOpps: Geographical Opportunistic Routing for Vehicular Networks [C]//Proceedings of IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM'07). 2007;1-6.

[12] LEONTIADIS I, COSTA P, MASCOLO C. Extending Access Point Connectivity through Opportunistic Routing in Vehicular Networks [C]//IEEE International Conference on Computer Communication-s(INFOCOM10). 2010;486-490.

[13] BISWAS S, MORRIS R. ExOR;opportunistic multi-hop routing for wireless networks[C]//Proceedings of the Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications Review. 2005;133-144.

[14] JIANG H T, ZHANG H, LI Q M. Research on routing protocol of vehicular delay-tolerant networks[J]. Journal on Communications, 2013,34(3):76-84. (in Chinese) 姜海涛,张宏,李千目.车载时延容忍网络路由协议研究[J].通信学报,2013,34(3):76-84.

[15] GERLA M, WU C C, PAU G, et al. Content distribution in VANETs[J]. Vehicular Communications, 2014,1(1):3-12.

[16] DUA A, KUMAR N, BAWA S. A systematic review on routing protocols for Vehicular Ad Hoc Networks[J]. Vehicular Communications, 2014,1(1):33-52.

[17] RASMEET S, NEERAJ S, JODEL J. Clustering in vehicular ad hoc networks;Taxonomy, challenges and solutions[J]. Vehicular Communications, 2014,1(3):134-152.

[18] CHEN J H. Research on Several Key Technologies of In-vehicle network[D]. Changchun;Jilin University, 2013. (in Chinese) 陈筠翰.车载网络的若干关键技术研究[D].长春:吉林大学, 2013.

[19] PENG Y L, YIN H, YU P. Layered urban VANETs routing protocol on bus mobile assistant[J]. Journal of Software, 2014, 25(s1):75-84. (in Chinese) 彭雅丽,尹红,喻鹏.公交移动协助城市车载网络分层路由协议[J].软件学报,2014,25(s1):75-84.