

路基设备辅助下的高速公路车辆信息方向性传输协议^{*}

韩江洪^{1,3}, 杨帆¹, 刘征宇^{2,3}, 石雷^{1,3}, 张利^{2,3}

(1.合肥工业大学计算机与信息学院 合肥 230009; 2.合肥工业大学机械与汽车工程学院 合肥 230009;
3.安全关键工业测控技术教育部工程研究中心 合肥 230009)

摘要:针对现有 VANET 网络广播传输协议信道利用率低、易造成信道拥塞等问题,提出在路基设备辅助下的改进协议。利用路基设备进行车辆分簇,将簇内车辆编号加入发送数据帧头,每个车辆节点有选择地进行数据分组接收与发送。仿真结果表明,改进协议可以有效地改善传输过程中的信道使用情况,有效信息传输率可提高 20%。

关键词: VANET; 广播协议; 路基辅助; 顺序接收

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2013.01.009

Direction Transmission Protocol of the Highway Traffic Information Assisted by Roadside-Infrastructure

Han Jianghong^{1,3}, Yang Fan¹, Liu Zhengyu^{2,3}, Shi Lei^{1,3}, Zhang Li^{2,3}

(1. School of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;
2. School of Mechanical and Automotive Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;
3. Engineering Research Center of Safety Critical Industrial Measurement and Control Technology, Ministry of Education, Hefei 230009, China)

Abstract: Existing VANET network broadcast transmission protocols have low channel utilization, and easily lead to channel congestion and other issues, so improved protocol assisted by roadside- infrastructure was proposed. It used roadside-infrastructure to cluster the vehicle. In the clustering, every sending data frame added the vehicle number to its head and each vehicle node received and transmitted the packets selectively. The results show that the improved protocol is able to improve the transmission channel usage effectively, and the effective information transfer rate is able to be increased by 20%.

Key words: VANET, broadcast protocol, base-station assisted, receive in turn

1 引言

针对高速公路车辆行驶速度快、事故多发的特征,及时进行车辆间信息传递,提高信息发布的有效性,是降低事故率、有效进行车间信息交互的主要手段^[1]。通过车与

车、车与路基设备的信息传递,增强车辆自组网在高速公路方面的应用,包括改道信息传播系统、碰撞警告和避免系统、自适应巡航控制系统等。在现有的车间通信方式中,广播是运用最广的通信方式,设计有效和可靠的广播协议已成为未来车间通信的重点^[2-4]。

^{*} 教育部博士点基金资助项目(No.20100111110004),国家电子信息产业发展基金资助项目,安徽高校省级自然科学基金项目(No.KJ2011ZD01, No.KJ2011A220),温州市科技计划项目(No.G20100089)

最简单的广播协议就是泛洪,采用该方式可以保证信息发送到所有节点,但随着网络节点数量的增加,性能会快速下降,传播一条信息所用的开销呈指数级增长,这将引起严重的碰撞和冲突,甚至广播风暴。目前,针对泛洪的不足,已有许多研究者提出了一系列的改进协议,如自适应实时分布式车辆临时网络协议 (an adaptive real-time distributed MAC protocol for vehicular Ad Hoc network, A-ADHOC)^[5],通过可变的自适应帧长,实现对竞争节点的定量传输,与传统协议相比,可以提升网络的顽健性,减少传输时间,但同时也增加了分组丢失率,未实现对已接收信息进行反馈,效率较低;基于 IEEE 802.11e 的全局影响虚拟车队协议 (over all impact of malicious node in virtual queue protocol,IMVQ)^[6],通过优先级划分实现对数据分组的排序,但对于全局信息反馈,时延较长、信息量较大;基于广播调度最小时延改进协议 (improved protocol for broadcast scheduling of minimal latency,BSML)^[7],为了使时延最小,通过实时产生的广播时间表尽量使每个节点只需传送一次信息,虽然仿真效果较好,但由于其路由相对稳定,模型复杂,算法不是多项式时间的,因此不适用于网络拓扑改变较快的高速公路行驶车辆。

虽然以上所提到的协议在减少传输时间、分组投递率和传输时延方面都有了相应的改进,但都只是对单一指标性能的改进,并且是以牺牲其他指标性能为代价的。由 Subir Biswas 等人提出具有方向性的 I-BIA (intelligent broadcast with implicit acknowledgment) 协议^[8],属于智能的广播协议,通过对接收到的周期性广播信息进行主动分析,根据判断结果来减少回传信息数量和广播数据量,具有主动性和先验性,而且多个指标性能(如分组投递率、平均传输时延等)都有均衡的改进。在车辆较多时,由于需要事先建立车间网络进行分组管理,仍然会因为信息量过大而造成信息碰撞,而且在 I-IBA 协议中,非发送信息车辆在等待接收后方原事件广播时会等待一个随机时延,这样有可能导致整个网络传输时延的增加。

2 I-BIA 协议

在 I-BIA 协议中,分为事件车辆和非事件车辆两种情况。考察在同向行驶的高速公路上,一组节点的运行状况,将事件车辆节点记为 $ID(X)$,事件信息记为 EM,非事件车辆记为 $ID(Y)$,其工作流程如下:

(1) $ID(X)$ 周期性广播 $ID(X).EM$;

(2) $ID(X)$ 收到从后方传来的 $ID(X).EM$,停止(1);

(3) $ID(Y)$ 收到 EM,若来自后方,忽略;否则转向(4);

(4) $ID(Y)$ 收到前方的 EM,如果是重复接收,则忽略;否则转向(5);

(5) $ID(Y)$ 根据 EM 执行相应操作,同时等待一个随机时延,过后如果收到来自后方车辆发送的同一 EM,则 $ID(Y)$ 停止转发该 EM,不再执行任何操作;否则转向(6);

(6) $ID(Y)$ 周期性广播该 EM,直到收到后方发送的该 EM, $ID(Y)$ 停止转发。

I-BIA 协议利用接收到的信息作为信息转发的判断依据,对不符合条件的信息进行丢弃,避免不必要的信息对信道的占用,降低了信息碰撞,适当地提高了有效信息率。尽管如此,I-BIA 协议在对车辆管理和信息传输转发方面仍存在不足。首先,I-BIA 协议只是进行事件车辆的信息广播,未对网络内车辆进行有效的管理,在车辆较多时会因为大量的无序广播致使信息量剧增;其次,在信息量增加的同时,分组丢失数量也会增加,从而会产生大量重复的数据,造成严重的信息碰撞,甚至引起广播风暴;最后,在转发过程中,等待的随机时延有可能会增大整个网络的传输时延。

3 CRRB 协议

基于 I-BIA 协议的信息传输会在整个网络中扩散,从而带来数据传输量过大的问题,因此考虑将整个车辆网络划分为若干个区域,缩小信息的传输范围,降低数据量。此处将路边基站作为划分区域的标志,实现对整体网络的划分;同时对已划分区域内的车辆进行顺序编号,进一步实现数据传输量的有效控制。在上述需求的基础上,提出一种结合基站顺序接收信息的广播(combined roadside-infrastructure regional-order-receiving broadcast,CRRB)协议。如图 1 所示,该协议利用路侧设备对网络车辆进行分簇管理,划分控制范围,并为区间内车辆统一分配序号,方便信息传输管理。根据车辆的统一序号有选择地进行信息重发与接收,减少信道中冗余信息的传输。

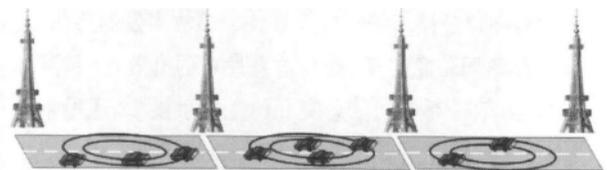


图 1 CRRB 网络结构示意图

CRRB 协议大概步骤如下:

- 利用基站划分区域,在基站已划分区域内顺序分配序号;
- 区域内车辆对接收到的信息进行筛选并处理;
- 在有车辆离开时,相应改变原来区域内的车辆序号。

3.1 相关定义以及基站区域划分

定义 1 将运动范围内所有的基站定义为一个全集 V, B 表示 V 中的基站,有 $V=\{B_1, B_2, \dots, B_k\}, k \leq |V|; n_i$ 表示行驶车辆中第 i 个节点,以相邻的两个基站之间的共同覆盖区域范围为 n_i 分配序号的区间,其中任意两个 $B_i, B_j \in V, 1 \leq i, j \leq k$,有 B_{ij} 表示两相邻基站的覆盖重叠区域, $R(B_i)$ 表示基站 B_i 覆盖的半径区域, n_i 满足以下两个条件。

条件一: n_i 属于相邻两个基站的覆盖半径重叠区域,即 $n \in R(B_i), n \in R(B_j), j-i=1$ 。

条件二: 由条件一中的 B_i 向 n_i 顺序分配行驶序号, $n_i \in B_{ij}$ 。

3.1.1 基站区域划分依据

由定义 1, 两相邻基站共同覆盖的范围作为划分区域, 划分区域会出现无法同时覆盖的范围, 如图 2 所示。

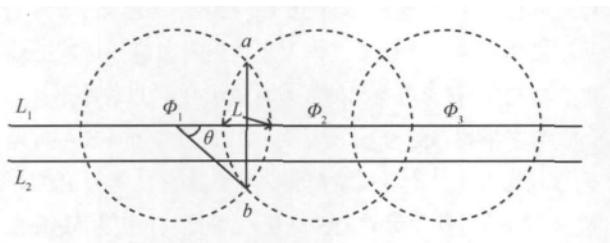


图 2 区域结构示意图

Φ_1, Φ_2, Φ_3 分别表示基站所在位置, 其为以 R 为半径的圆, Φ_1 与 Φ_2 交于 a, b 两点; Φ_1 与 Φ_2 重合处宽为 $L(0 \leq L \leq R)$, 圆心角为 θ 。 L_1, L_2 分别为基站覆盖范围公路的边界, 宽为 D, L_1 过圆心。设两圆重合范围的面积为 S , 则覆盖公路面积为 $\frac{1}{2}S$:

$$S = \frac{1}{2}\theta R^2 - \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} R \sin \theta \quad (1)$$

令 $0 < D \leq \frac{1}{2}ab$, 则区域未覆盖面积为:

$$S' = (R-L) \times D + \int_{\sqrt{R^2-D^2}}^R (D - \sqrt{R^2-x^2}) dx \quad (2)$$

将式(2)去积分符号得:

$$S' = (R-L) \times D + D \times (R - \sqrt{R^2-D^2}) - \frac{1}{2} R^2 \times$$

$$\left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{\sqrt{R^2-D^2}}{R} + \frac{1}{2} \sin \left(2 \cdot \arcsin \frac{\sqrt{R^2-D^2}}{R} \right) \right) \quad (3)$$

当 $D \ll R$ 时, 有:

$$S' = (R-L) \times D \quad (4)$$

利用现有的通信技术结合实际情况, 考虑基站覆盖范围。

(1) GSM 添加基站放大器在开阔区域的覆盖范围

根据自由空间电磁传播理论, 自由空间中电波传播损耗只与工作频率 f 和传播距离 d 有关, 当 f 或 d 增大一倍时, 电波传播损耗将分别增加 6 dB。

$$Lfs(\text{dB}) = 32.44 + 20 \log d(\text{km}) + 20 \log f(\text{MHz}) \quad (5)$$

其中, Lfs 为自由空间电波传播损耗。

(2) 由改进 Hata 城市传播模型计算 3G 条件下的基站覆盖半径

Hata 模型如式(1)表述:

$$L = 46.3 + 33.9 \log f - 13.82 \log(Hb) + (44.9 - 6.55 \log(Hb)) \cdot \log d + Cm \quad (6)$$

其中, L 为最大路径损耗(dB), f 为载波频率(Hz), Hb 为天线高度(m), d 为到基站的距离(m)。

根据式(2)得出在 3G 系统中, 其传播模型如下:

$$L = 40(1 - 0.004Hb) \log d - 18 \log(Hb) + 21 \log f + 80 \quad (7)$$

其中, 各参数的意义同式(2)。在 WCDMA 中, 当 $f=2000$ MHz 时, 则式(6)、式(7)简化后如下。

Hata 城市传播模型为:

$$L = 161.17 - 13.82 \log(Hb) - (44.9 - 6.55 \log(Hb)) \log d \quad (8)$$

3G 传播模型:

$$L = 149.32 - 18 \log(Hb) - 40(1 - 0.004Hb) \log d \quad (9)$$

3.1.2 基站区域划分初始化

在 CRRB 协议帧头数据添加基站区域划分标志字段, 如在 a 基站与 b 基站之间, 为车辆分配序号为 X , 此时车辆标识为 $ID(ab_X)$ 。由于在后面协议具体叙述中都处在 ab 区域, 所以车辆 X 的标识简化为 $ID(X)$ 。

由定义 1, 车辆由 a 基站进入 ab 区域。穿过 a 基站时, 由 a 基站为车辆逐一顺序分配序号 ID , 由小到大。当车辆离开 b 基站, 进入 bc 区域时, 丢弃 ab 区域 ID , 由 b 基站重新进行 ID 分配, 并向 ab 区域内的车辆广播车辆离开的信息, 此时 ab 区域内的车辆 ID 进行相应的改变。故基站的作用有以下 3 点:

- 作为车辆进入 ID 顺序分配区域的标志, 以此为界限开始使用改进策略进行信息交互;

- 为进入区域的车辆分配本区域 ID, ID 是以 ab 开头的顺序序号;
- 当有车辆驶离时,告知本区域的其他车辆。

3.2 区域内信息筛选处理及区域间车辆序号改变规则

为每个车辆节点设定信息计数器 N , 对已存储信息的数量进行统计。在进入划定区域后,初始化 $N, N=0$ 。车辆间进行信息传递时,会带有该区域的分配 ID, 接收到信息后会对 N 进行加 1 操作, 并与本车 ID 进行对比, 对比情况有以下 3 种。

情况 1: 大于本车 ID, 忽略, 丢弃该信息, 清理缓存 ($N=N-1$)。

情况 2: 等于本车 ID, 对比收到的 ID 信息与本车的 GPS (按车辆行驶方向) 信息, 如果在本车方向之前接收该信息, 本车 ID 自动加 1, 对该数据分组进行处理, 处理结束后清除该信息 ($N=N-1$); 如果在本车方向之后, 本车的 ID 自动减 1, 并丢弃该信息, 清理缓存 ($N=N-1$)。

情况 3: 小于本车 ID, 又分为以下两种情况。

- 对于与本车 ID 相差 1 (本车 ID 大) 的车辆信息, 直接接收, 对该数据分组进行处理, 处理结束后清除该信息 ($N=N-1$)。
- 与本车 ID 相差为 2 或者大于 2 (本车 ID 大) 的车辆信息, 对收到的信息进行存储, 同时对 N 进行加 1 操作。若在过程中收到与 ID 相差 1 的车辆信息, 直接提取处理, 然后清空缓存 ($N=0$); 如果缓存已满仍未收到只比本车 ID 小 1 的车辆信息, 这时, 在已收到的信息里进行 ID 对比, 找出与本车 ID 相差最小的 ID 信息, 接收处理该信息, 并清空存储空间 ($N=0$), 同时对本车 ID 进行修改, 改为最小 ID 加 1。

3.3 CRRB 协议实现

根据上述描述, 对已有策略步骤重述如下: 在已知路段的 V 中划分区域, 每个区域如定义 1 的要求, 并为 n_i 节点顺序分配序号; 由 n_i 节点的序号对接收信息进行处理转发; 当有 n_i 节点离开 B_{ij} 时, B_{ij} 中剩余 n_i 节点改变序号。

CRRB 协议具体流程如图 3 所示, 其中:

(1) $ID(X)$ 代表当前接收车辆, 分配序号为 X , $ID(Y)$ 代表发送信息车辆, Y 为序号, 当同时接收多辆车辆发送信息时, 区分发送车辆为 Y_i 。

(2) $Compare_GPS()$ 是比较 $ID(X)$ 和 $ID(Y)$ 位置信息的函数, 以车辆的行驶方向为准, $ID(X).GPS$ 的方向指向 $ID(Y)$, 说明 $ID(X)$ 位于 $ID(Y)$ 后方; $ID(Y).GPS$ 的方向指向 $ID(X)$,

说明 $ID(X)$ 位于 $ID(Y)$ 前方。

(3) $ID(Y)=ID(\min\{X-Y_i\})$ 是指在所有接收到的信息中选取与当前车辆序号相差最小的车辆信息, 作为接收信息并进行处理。

4 系统仿真

通过定量指标来判断车载网络通信协议的性能好坏。定量参数主要包括分组投递率、端到端平均传输时延等, 其中的分组数据是指用户数据分组, 不包括路由控制消息。

现有高速公路车道标准宽度: 标准车道宽 (3.75 m)、紧急停车带 (2.5 m)、中央隔离带 (1 m), 按 8 车道计算, 道路宽度为: $3.75 \times 8 + 2.5 \times 2 + 1 = 36$ m。

由式 (5), 在基站功率 200 W、传播损耗为 112 dB 的条件下, 计算可得, 覆盖半径约为 $d=10.56$ km。由式 (9), 在不考虑穿透损耗, 天线高度取 25 m 条件下, 得出 3G 覆盖半径约为 3.2 km; 在穿透损耗大致取 20 dB、天线高度取 25 m 条件下, 得出 3G 覆盖半径约为 1.6 km。综合考虑采用 GSM 网络作为设置基站的传输网络, 在所有车辆同向行驶的情况下, 高速公路每 10 km 设置一个基站, 每两个基站之间划为一个区域, 作为车辆进入和离开区域的标志。由式 (4) 知未覆盖到的区域近似于 0, 可以忽略不计。

本文采用 NS2 仿真工具对 CRRB 策略和 I-BIA 策略进行对比仿真。仿真网络配置为节点数量设置为 100, 车速为 32 m/s, 使用针对 ITS 的 IEEE 802.11p 作为 MAC 层协议, 传输数据帧长度为 64 byte, 接收存储数据最小为 50 条, 道路使用单向车道, 数据分组速率为 4 个分组/s, 仿真时间 400 s。

(1) 分组投递率

由图 4 中两种协议的对比曲线可以知道, 改进协议的分组投递率较高于 I-BIA 协议。当传输数据量逐渐加大, 两个协议的分组投递率都相应有所下降, 但改进协议避免了在节点数量较多时信息的大量传输, 降低了冗余信息的转发率, 故而其数据分组投递率对应有所提高。

(2) 端到端平均传输时延

图 5 对两协议进行了对比, 从图中不难看出, 随着节点传输的增多, 二者的端到端平均传输时延在增大, 但与 I-BIA 协议相比, 改进协议没有随机时延等待, 在端到端平均传输时延性能方面有所改善。由于改进协议的顺序接收传输, 链路相对通畅, 使得端到端平均传输时延相对较低。

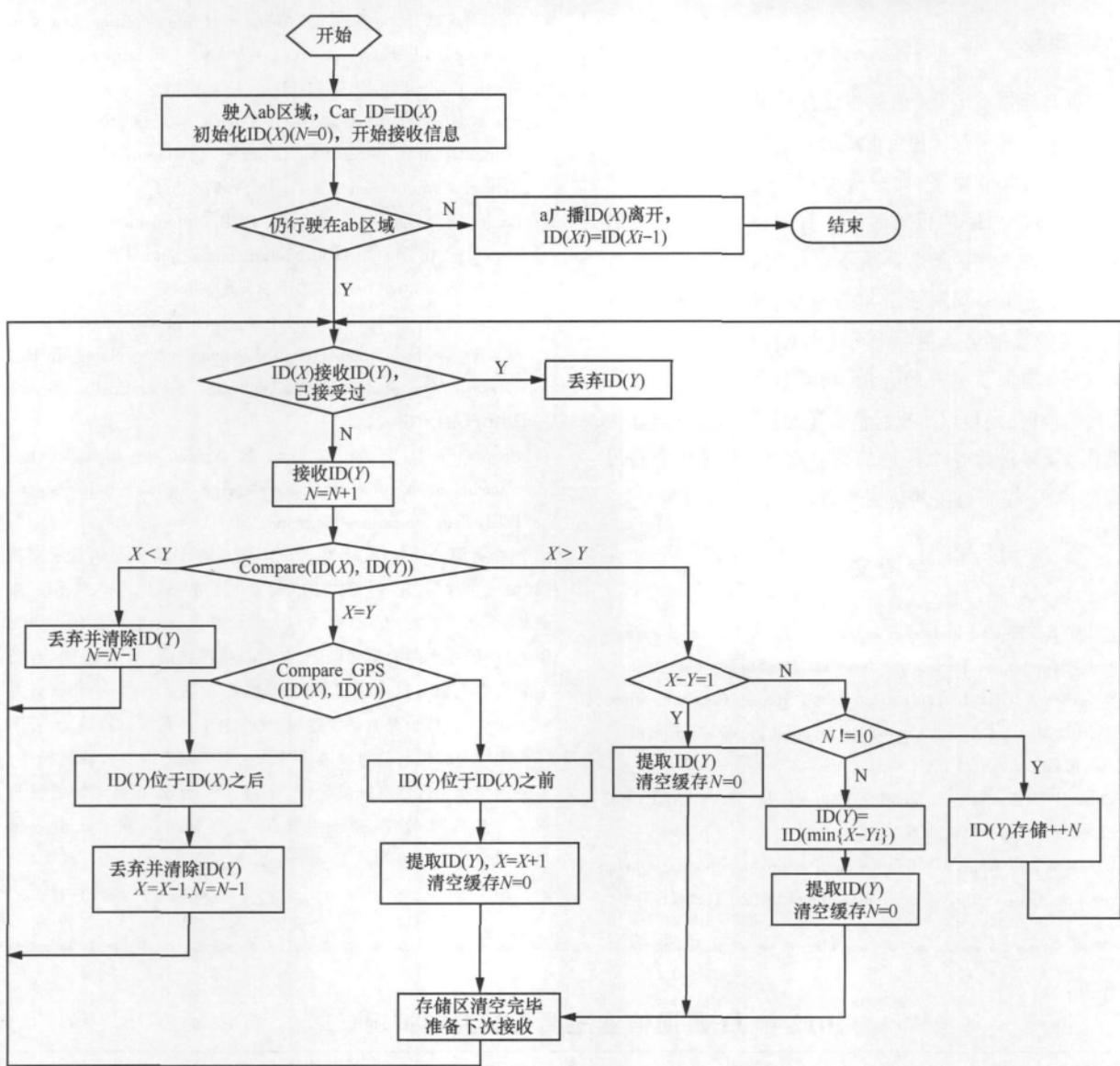


图3 CRRB协议流程

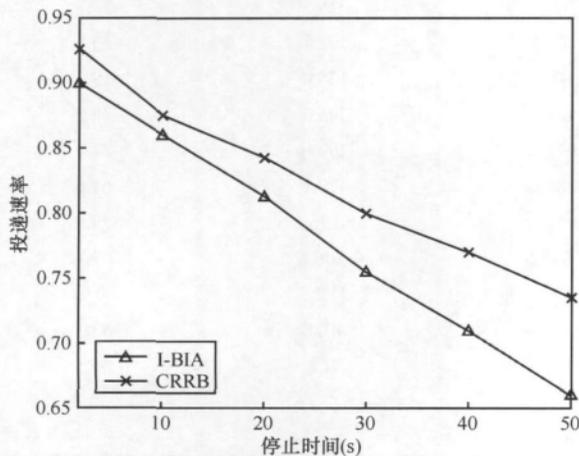


图4 I-BIA与CRRB分组投递速率对比

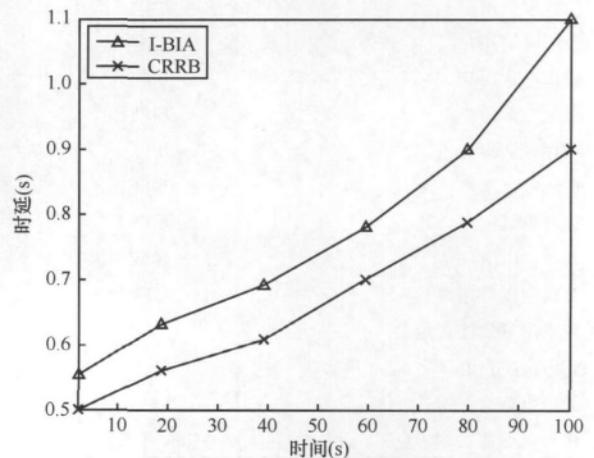


图5 I-BIA与CRRB平均传输时延对比

5 结束语

车载自组网的 I-BIA 通信协议在车辆数量较多时,反复进行不必要的信息传递会形成大量信息的碰撞,引起广播风暴,造成信道拥塞,而且等待反馈过程中的随机时延会增加整个网络的传输时延。针对以上不足,提出 CRRB 策略。二者在 NS2 环境下进行仿真实验。实验结果表明:改进策略提高了分组投递率,并相应降低了端到端平均传输时延。但与原有 I-BIA 协议相比,添加了路基设备;增加了额外的开销,路基设备在完成协议需求工作的同时,还可以承担起整个高速公路路段的信息传输工作,及时进行各个区域的信息交互,实现整个路段的信息共享,提高道路的使用和驾驶员的行驶质量。

参考文献

- 1 ASTM E2213-03.Standard Specification for Telecommunications and Information Exchange Between Road-side and Vehicle Systems—5 GHz Band Dedicated Short Range Communications (DSRC) Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications.ASTM Int'l, July 2003
 - 2 Chao H C,Zeadally S. Mobility Protocols for ITS/VANET.USA: Elsevier Science BV,2009
 - 3 Barros M T,Gomes R C M.Routing architecture for vehicular Ad Hoc networks.IEEE Latin America Transactions, 2012, 10(1):1411~1419
 - 4 Tian Daxin,Leung V C M.Analysis of broadcasting delays in vehicular Ad Hoc networks. Wireless Communications and Mobile Computing,2011, 11(11) : 1433~1445
 - 5 Sou Sok-Ian,Tonguz Ozan K. A-ADHOC: an adaptive real-time distributed MAC protocol for vehicular Ad Hoc networks. Mobile Networks&Applications, 2011, 16(5): 576~585
 - 6 Rahim A,Khan Z S,Muhaya F B. Information sharing in vehicular Ad Hoc network. International Journal of Computers Communications&Control, 2010,5(5):892~899
 - 7 Shang W P, Wan P J, Hu X D. Improved algorithm for broadcast scheduling of minimal latency in wireless Ad Hoc networks.Acta Mathematicae Applicatae Sinica-English Series, 2010, 26(1): 13~22
 - 8 Biswas S, Tatchikou R, Dion F. Vehicle-to-vehicle wireless communication protocols for enhancing highway traffic safety. IEEE Communications Magazine, 2011(1)
- [作者简介] 韩江洪,男,合肥工业大学计算机与信息学院教授、博士生导师,主要研究方向为计算机网络与通信、嵌入式系统、离散事件系统。杨帆,女,合肥工业大学计算机与信息学院硕士研究生,主要研究方向为车载电子、车载自组网通信。刘征宇,男,合肥工业大学机械与汽车工程学院副教授、硕士生导师,主要研究方向为计算机控制、混杂系统建模、汽车电子。石雷,男,博士,合肥工业大学计算机与信息学院讲师,主要研究方向为计算机网络、多分组接收无线网络跨层优化。张利,女,合肥工业大学机械与汽车工程学院教授、硕士生导师,主要研究方向为机电一体化技术、车载网络与通信、协同设计。
- (收稿日期:2012-11-05)



· 简讯 ·

2012 年 11 月通信业主要指标完成情况(二)

指标名称	单位	本月末达到	比上年末净增	本月净增
固定电话用户合计	万户	27 937.5	-572.3	-96.5
无线市话用户	万户	1 266.8	-518.5	-35.7
公用电话用户	万部	2 360.6	-107.7	-15.5
城市电话用户	万户	18 946.6	-175.0	-19.3
住宅电话用户	万户	11 066.6	-345.0	-38.5
农村电话用户	万户	8 991.1	-397.0	-77.1
住宅电话用户	万户	7 382.0	-479.1	-61.6
移动电话用户合计	万户	110 421.5	11 796.1	879.9
其中:3G 用户	万户	22 048.6	9 206.2	807.1
互联网拨号用户	万户	571.7	21.1	-0.9
互联网宽带接入用户	万户	17 402.9	2 402.7	153.3
其中:xDSL 用户	万户	11 941.9	474.2	-55.5
固定电话普及率	部/百人	21.0		
移动电话普及率	部/百人	80.6		

(来源:工业和信息化部运行监测协调局)