

车载网络中基于功率调整的公平性策略

于卫波, 牛大伟, 米志超, 董超

(解放军理工大学通信工程学院 南京 210007)

【摘要】 将IEEE802.11DCF用于双向路车载网络通信将极大地提高车载网络的可实现性, 但会面临严重的公平性问题, 现有的公平性解决策略无法很好的适用于双向路车载网络, 通过仿真分析了双向通信流间距离与公平性的关系, 并在不修改802.11协议的基础上, 提出了基于功率调整的双向路车载网络公平性解决方法。仿真结果表明, 在业务流短时相遇时, 采用功率调整的方法进行通信, 可以解决两个流竞争公平性问题。

关键词 公平性; IEEE 802.11 DCF; 功率控制; 双向路; 车载网络

中图分类号 TP393

文献标识码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2011.05.014

Research on Fairness in Vehicle Networks Based on Power Adjusting

YU Wei-bo, NIU Da-wei, MI Zhi-chao, and DONG Chao

(Institute of Communication Engineering, PLA University of Science and Technology Nanjing 210007)

Abstract Expanding application of IEEE 802.11 distributed coordination function (DCF) protocol to vehicle networks(VANETs) will greatly quicken the development of Vehicle networks. However, 802.11 DCF endures severe fairness problem in some scenarios, which would limit it's performance in vehicle networks. Most existing fairness solutions aim at long term fairness issue but not the short term fairness problem which is more popular in vehicle network. In this paper we discuss how the distance between two pairs communicating vehicles affect the short term fairness. By simultaion we validate that the two-way road communication exhibite fairness problem only under two situations. Based on this result, a power adjusting scheme is proposed. The simulation results show that the fairness problem is solved by our power adjusting strategy.

Key words fairness; IEEE 802.11 DCF; power control; two-way road; VANET

无线通信技术的快速发展, 最大程度地满足了人们在任何时间、任何地点通信的需求, 而各种需求的出现也推动了无线通信技术的进步。目前在行驶车辆上通信的需求日益增加, 驾驶人员希望通过车载网络获取所在路段的交通信息、事故警报、路况信息, 同时也希望实现车辆间的数据共享、游戏互联、网络接入等功能。车载网络由于其面向的用户众多而具有广阔的应用前景。车载网络分为V2V(vehicle-to-vehicle)网络和V2I(vehicle-to-infrastructure)网络, 其中V2V网络具有不需要基础设施, 开设简单的特点, 在目前公共基础设施欠缺的情况下, 可以率先开展相应的业务, V2V网络在目前的研究更具有实际意义。

WIFI技术作为目前主流的无线接入技术, 已经走入人们生活的方方面面, 文献[1-2]中尝试将其用于车载网络, 分析了802.11^[3]在无线车载网络中应用

的可行性, 并得到了肯定的结果。文献[4]提出利用802.11协议构建车载通信网络的方案(VANETs)。可以预见, 将成熟的802.11技术应用于新兴的车载网络领域必将推动车载网络的快速发展。

1 相关工作与研究动机

采用802.11 DCF协议的无线设备通过竞争的方式获取对公共信道的访问机会, 由于单个无线设备只能有限地获取网络上其他设备的通信信息, 802.11协议面临着严重的公平性问题^[5-6], 研究者在相关领域进行了大量的研究工作, 其中早期的多数研究都是基于无线传输设备的物理载波侦听范围与数据的传输距离相等的假设, 试图通过调整拥塞窗口大小进而改变不同节点退避时间的方法解决公平性问题, 这与实际设备的工作情况严重不符, 大大限制了该类协议的应用范围^[5,7]。文献[6]在物

收稿日期: 2009-12-02; 修回日期: 2011-05-12

基金项目: 国家自然科学基金(60672080); 国家863项目(2008AA01Z216)

作者简介: 于卫波(1975-), 男, 博士, 主要从事无线通信网络方面的研究。

理载波侦听范围大于信息传输范围的基础上, 提出了基于链路层流公平性的解决策略, 分析了现有的公平性解决策略, 认为导致这些策略不能很好工作的原因是现有的策略没有在竞争流之间提供一定的同步机制。因此, 当不公平性问题出现时, 公平性策略不仅要增加弱势节点的发送机会, 而且要降低强势节点的发送机会(采用为每个流建立一个限定输入速率队列的策略, 当该队列长度超过门限时, 认为该流被拥塞, 触发该节点在短时间内发送大量的分组, 引发竞争节点的冲突概率增加, 从而让出信道给被拥塞节点使用, 但是由于导致拥塞的原因并没有消除, 在过一段时间后该节点重新被阻塞, 再一次进入上述同步过程)。文献[6]中通过动态的拥塞-解除拥塞-再拥塞的过程来实现各个数据发送者之间的公平。文献[8,11]基于实际物理信道环境提出了基于功率的控制方式, 通过动态调整竞争流的公平性地位来达到动态公平性的方法。文献[10]对基于CSMA/CA的MANET网络的吞吐量与公平性进行了研究, 但其各节点掌握全网拓扑的假设在现实中实用性不强。上述各方法都以基于周期性动态调整的方式实现无线设备间的长期公平性, 即在一个比较长的时间段内, 各个节点或者流之间实现了统计意义上的公平。而在V2V网络的双向车道会车^[9]过程中, 由于相向行驶的两对车辆的速度很高, 如图1所示, 流(a,b)与流(c,d)产生干扰的时间很短(一般在20 s左右), 此时短期公平性问题是网络面临的一个突出问题, 如何解决短期公平性问题, 是目前双向路数据流竞争公平性所需着重研究的问题。

文献[9]描述了双向车道所面临的公平性问题, 图1为双向车道两对正在通信的车辆会车, 由于相互间信号的干扰会出现不公平问题。文献[9]提出了通过调整数据包大小的方式改善公平性, 但是文献研究与仿真场景主要集中于图1a所示两个通信流为相向流的情况, 即其中一个流的数据流向为a到b, 另一个流的数据流向为d到c。而文献[8]的研究表明更严重的公平性问题出现在图1b所示的两个同向流相遇的情况下, 此时将出现1/0公平性问题。本文后续的仿真证明了文献[8]的减小发送数据分组长度的方法并不能解决该场景下的公平性问题。

本文针对双向路上的数据流竞争的公平性问题, 参考文献[8,11]中的功率控制思想, 提出基于功率控制的双向路数据竞争公平性解决方法, 从根本上解决了该通信模式下的公平性问题。

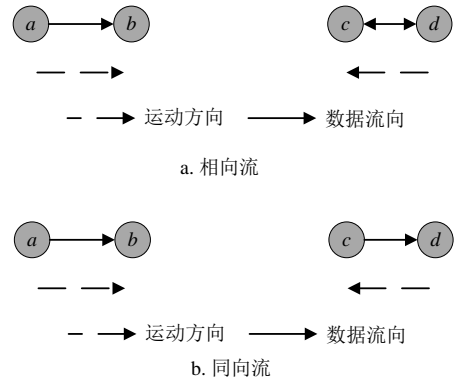


图1 双向车数据通信示意图

2 双向车道公平性问题

利用文献[6]所采用的方法分析图1所示场景面临的公平性问题。在两个数据流的收发双方信号不发生干扰的情况下, 两个通信流相互独立, 不会出现公平性问题。随着车辆的继续行驶, b车和c车进入相互的信号干扰范围时, 可能出现公平性问题。但是当两车会车并逐渐远离后, a车和d车间的信号不再相互干扰时, 公平性问题将不再出现。

通过仿真分析两个干扰流之间的距离与流间的公平性关系。本文仿真参考文献[6]设置并考虑流间距离不等的情况, 作出如下定义: 约定各个节点的发送功率和接收门限相同, 节点间的传输距离为 C_d , 载波侦听距离为 I_d , ab间的链路长度为 $l(a,b)$ 和cd间的链路长度为 $l(c,d)$, 为了更具有普遍性, 取消了文献[6]中 $l(a,b)=l(c,d)$ 的限制, $l(a,b)$ 、 $l(c,d)$ 分别保持不变。定义两个流间距离 D 为两个流所涉及的4个节点间相距最远的两个节点之间的距离。按照两个流之间的相互干扰情况, 两个流的相互位置关系需要经历以下几个阶段:

- 1) $D > l(a,b) + l(c,d) + I_d$ 时, 两个流间不存在干扰影响, 不存在公平性问题。
- 2) $l(a,b) + l(c,d) + C_d < D < l(a,b) + l(c,d) + I_d$ 时, 两个流间信号相互干扰, 但是相互无法听到彼此的RTS和CTS分组。
- 3) $C_d < D < l(a,b) + l(c,d) + C_d$ 时, 两个流间的信号相互干扰, 可以正确接收另一个流的部分数据。
- 4) $\min(l(a,b), l(c,d)) < D < C_d$ 时, 两个流间的信号相互干扰, 可以正确接收另一个流的全部未冲突数据。

阶段4)后, 可以认为两个流的位置交换, 重新按序进入阶段4)、阶段3)、阶段2)和阶段1)。

两个流将随着阶段的不同表现出不同的公平性现象。下面通过仿真来分析不同阶段的公平性情况。

利用quanlnet 3.7进行仿真，仿真参数如表1所示。

表1 仿真参数设置

参数	参数值/m	参数	参数值
$l(a,b)$	100	通信速率·Mb/s ⁻¹	2
$l(c,d)$	150	路由协议	静态路由
C_d	250	分组长度/byte	1 000/100
I_d	550	车速 m/s	30

假设两个流都有足够多的分组发送。分别进行数据传输方向同向(图1b)和相向(图1a)两个场景的仿真，为了避免由于偶然因素影响仿真结果，每个仿真采用不同随机数种子进行100次，然后取均值。同时，为了评价业务流分组长度对公平性的影响，分别取较长分组长度(1 000 byte)和较短分组长度(100 byte)两种情况进行仿真，比较各个流的吞吐量随 d 的变化情况。仿真结果分别如图2、图3所示。

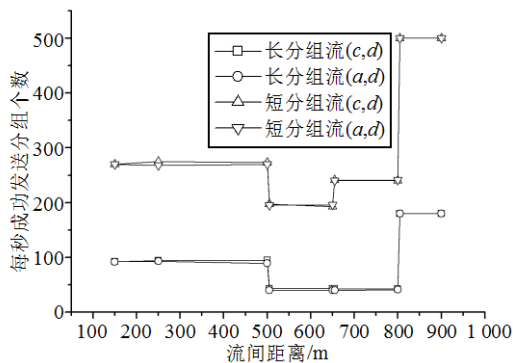


图2 相向流公平性比较

首先比较图中不同分组长度的两个流，可以发现，无论是在相向流环境还是同向流环境中，两个流的公平性关系都没有因流所发送的分组长度不同而变化。分析802.11 DCF协议可以知道，分组的冲突概率、回退情况都不会因分组的长度而改变，也不会对公平性带来本质的影响，文献[9]中的仿真结果出现的原因是由于仿真的随机性因素，当分组短时，单位时间内发送的分组数多，在统计上就更加地接近真值的原因。

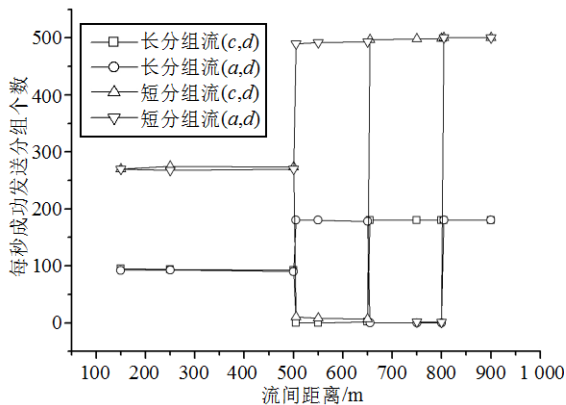


图3 同向流公平性比较

从图2中可以看出，当两个相遇流的数据流向为相向情况时，无论处于哪一个阶段，两个数据流的发送都不会出现不公平性问题。而图3中，当两个相遇流同向时，在阶段1)、阶段3)和阶段4)都不存在不公平性问题，称阶段2)为不公平性阶段。根据图3所示，不公平阶段又分为两个部分。

阶段2-1:

$$l(a,b)+l(c,d)+C_d=500 \text{ m} < D < 650 \text{ m} = l(c,d)+I_d$$

阶段2-2:

$$l(c,d)+I_d = 650 \text{ m} < D(b,c) < 800 \text{ m}$$

在阶段2)-1)中， $l(a,b)$ 占有绝对优势，阶段2)-2)中 $l(c,d)$ 占有绝对优势，这也是文献[8]中所提及的1/0公平性问题。分析阶段2)中两个流间相互的干扰情况，可以看到，由于此时 D 大于信号的发送距离，两个流之间的节点无法监听到对方发送的分组，文献[9]中所采用在RTS中携带信息通知对方调整数据长度的手段，在该阶段将无法收到效果。该文献的仿真中也证实了在两个流的相互距离处于阶段2)情况下，流之间的公平性问题并没有解决。

3 双向车道公平性解决策略

从仿真中可了解，在非阶段2)情况下无论是同向流还是相向流都不会出现公平性问题，将阶段1)~阶段4)分为两种情况，其中阶段1)中两个流相互独立，互不干扰，两个流都将达到100%的信道利用率。而阶段2)~阶段4)中两个流竞争共享信道，但不存在公平性问题，每个流占用接近50%的信道利用率。由上述分析可知，最好的公平解决策略是将阶段2)的情况调整为阶段1)，以在解决公平性问题的基础上，获得最大的信道利用率。阶段2)作为唯一会出现公平性问题的场景，减小 D 则进入阶段3)，增加 D 则进入阶段1)。但由于 D 为空间距离，车辆在行驶时只能连续通过该部分距离，而802.11网卡的传输距离和干扰距离是两个功率相关的值，在网卡接收功率和侦听门限固定的情况下，可以通过调整网卡的发送功率来改变 D 与 C_d 和 I_d 的关系。降低发送功率将导致进入阶段1)，增加发送功率将导致进入阶段3)和阶段4)。

如图1所示，两个流从相遇到离开，需要经历从阶段1)到阶段4)，再从阶段4)到阶段1)的过程，其中阶段1)到阶段4)是一个 d 值不断减小的过程，而从阶段4)到阶段1)则是 D 值逐渐增加的过程。当 D 值不断减小时不能采用降低功率进入阶段1)的策略，否则

为了保持两个流的位置关系处于阶段1), 需要随着 D 的减小持续减小发送功率, 引起 C_d 降低过多, 出现 $C_d < \min(l(a,b), l(c,d))$, 导致通信中断。而在 D 值增加的情况下, 由于 D 的最大值没有上限, 不能采用增加功率的方法将两个流的位置关系保持在后3个阶段。因此为了解决双向车道通信的公平性问题, 在两个流逼近时采用增大发送功率到 P_{\max} 的策略, 在两个流分离时采用减小发送功率到 P_{\min} 的策略。下面讨论功率的调整方法。

3.1 功率调整方法

仿真表明相向流不存在公平性问题, 以下讨论均基于同向流。假定调整前发送功率 P_{orig} , 对应的传输距离为 $C_{d \text{ orig}}$, 干扰距离为 $I_{d \text{ orig}}$; P_{\max} 对应的传输距离为 $C_{d \text{ max}}$; P_{\min} 对应的干扰距离为 $I_{d \text{ min}}$ 。第一次功率调整时的距离临界点为:

$$D = l(a,b) + l(c,d) + I_{d \text{ orig}} \quad (1)$$

功率调整为 P_{\max} 后变为:

$$D = l(a,b) + l(c,d) + C_{d \text{ max}} \quad (2)$$

由式(1)和式(2)可得:

$$C_{d \text{ max}} = I_{d \text{ orig}} \quad (3)$$

第二次调整功率时的距离临界点为:

$$D = l(a,b) + l(c,d) + C_{d \text{ max}} \quad (4)$$

功率调整为 P_{\min} 后变为:

$$D = l(a,b) + l(c,d) + I_{d \text{ min}} \quad (5)$$

由式(3)~式(5)可得:

$$C_{d \text{ max}} = I_{d \text{ orig}} = I_{d \text{ min}} \quad (6)$$

由式(6)可知 $P_{\min} = P_{\text{orig}}$, 由此在车载通信设备中分别设置两个功率值 P_{\max} 和 P_{\min} 。其中 P_{\min} 为网卡的缺省发送功率。下面计算 P_{\max} 和 P_{\min} 之间的关系。

对于平原车载网络传播通常采用Two-ray模型^[12-13], 其功率随距离衰减的关系为:

$$P_r = P_t G_t G_r \frac{h_b^2 h_m^2}{c_d^4} \quad (7)$$

式中, P_t 为发送功率; P_r 为接收功率; G_t 和 G_r 分别为发送增益和接收增益; h_b 和 h_m 分别为发送天线和接收天线高度; c_d 为收发节点间距离。本文希望通过调整 P_t 来实现增大传输距离的前提下, 接收功率不变。因此有:

$$P_{\min} = P_r \frac{(C_{d \text{ orig}})^4}{G_t G_r h_b^2 h_m^2} \quad (8)$$

$$P_{\max} = P_r \frac{(C_{d \text{ max}})^4}{G_t G_r h_b^2 h_m^2} = P_r \frac{(I_{d \text{ orig}})^4}{G_t G_r h_b^2 h_m^2} \quad (9)$$

3.2 功率调整工作过程

每个车载网卡设置 P_{\min} 和 P_{\max} 两个功率值, 在两个流独立通信情况下, 采用 P_{\min} 作为发送功率, 当某个发送节点发现本节点接收到大量分组(成功完成RTS-CTS-DATA-ACK交互), 而本节点分组几乎无法获得发送机会时(发送RTS后无法收到CTS应答), 确定本节点受到了1/0干扰, 此时节点调整本节点发送功率为 P_{\max} 。

下面以图1b为例, 说明功率调整工作步骤:

1) 节点 a 首先发现本节点进入阻塞状态, 调整本节点发送功率为 P_{\max} , 为了避免公平性震荡, 节点 a 通过显式或者隐式通知方式, 通知节点 b 调整发送功率为 P_{\max} 。

2) 节点 a 的干扰距离增加将对流 cd 的发送速率造成影响, 造成节点 c 的发送速率下降, 从而触发节点 c 启动功率调整过程, 增加本节点发送功率为 P_{\max} , 实现两个流的公平传输。节点 c 也采用显式或者隐式通知方式, 通知节点 d 调整发送功率为 P_{\max} 。

显式通知方式: 在发送节点调整功率后发送RTS分组给接收节点, 其中携带功率调整信息, 指示接收节点同步增加发送功率。

隐式通知方式: 接收节点检测本节点的接收功率变化, 当检测到接收功率剧烈增加时触发本节点增加功率, 当检测到接收功率剧烈下降时触发本节点降低功率。该种实现方式不需要修改现有802.11协议, 具有较好的可实现性。如步骤1)中, 当节点 b 监测到来自节点 a 的接收功率骤然增加, 则同步增加本节点发送功率。

3) 当两个流量完成错车后逐渐驶离时, 两个流的发送节点逐渐远离, 两个流的位置关系又会由阶段4)到阶段3), 直至进入阶段2), 重新出现不公平情况, 此时由于两个流的发送速率都会发生剧烈变化, 触发两个流的发送节点发起功率缩小过程, 恢复原来的功率 P_{\min} 进行通信。然后采用显式或隐式通知方式触发接收节点降低发送功率。

4 性能评估

针对图1b场景采用功率调整策略进行仿真, 表1中其他参数不变, 动态调整传输距离和干扰距离, 为了验证该调整策略与分组长度的相关性, 仍然对短分组(100 byte)和长分组(1 000 byte)两种情况进行仿真, 结果如图4所示。

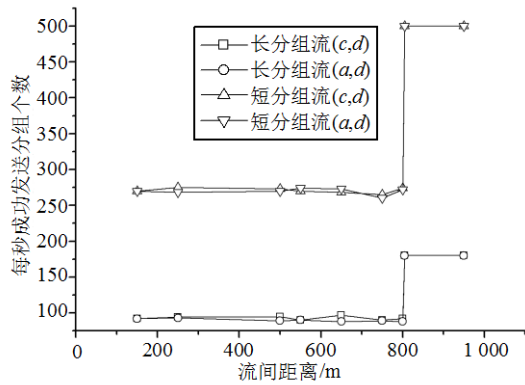


图4 同向流功率调整策略公平性比较

仿真结果表明：通过功率调整策略，两个相遇数据流跨越了阶段2)，从而避开了公平性问题出现的场景，从仿真的吞吐量结果可以看到，在两个流相互竞争的情况下基本实现了每个流占用信道容量的50%，即基本上保证了最高的信道利用率。但是增加功率必然带来更多的功率消耗，尤其在车载网络中采用Two-ray的4次方衰减模型，通信距离增加将导致功率的剧烈增加，以干扰距离为550 m，传输距离为250 m计算，为了实现干扰距离的增加以满足阶段跨越要求，需要将功率增加到最小值的16倍，这可能导致功率调整不易实现，可以考虑采用结合调整天线高度的方法以降低功率调整的幅度，若天线高度同时增加1倍，则功率只增加到原来的4倍就可以实现干扰距离的调整。

5 总结

将IEEE802.11 DCF应用于车载网络，双向路上同向流间在竞争信道时将面临严重的公平性问题。仿真结果表明该不公平性将只在两个数据流相互位置关系特定的情况下出现，本文在不修改802.11DCF协议实现的基础上提出功率调整的公平性解决策略。通过调整无线网卡的发送功率解决了该场景的公平性问题。仿真表明该策略不仅保证了两个流之间的公平性，同时实现了较高的信道利用率。

该方案的不足之处是，为了实现公平性策略将大大增加网卡的功率消耗，但由于研究的对象为车载网络，供电还不是一个突出的问题。

参考文献

- [1] KHALED Y, DUCOURTHIAL B, SHAWKY M. IEEE 802.11 performances for inter-vehicle networks[C]// Vehicular Technology Conference. Stockholm, Sweden: IEEE, 2005: 2925-2929.
- [2] MAHAJAN R, ZILL B, ZAHORJAN J. Understanding WiFi-based connectivity from moving vehicles[C]//IMC. San Diego, California, USA: IEEE, 2007: 321-326
- [3] LAN MAN Standards Committee of IEEE Computer Society. IEEE standard for wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications [S]. New York: IEEE, 1999.
- [4] BALASUBRAMANIAN A, MAHAJAN R, VENKATARAMANI A, et al. Interactive WiFi connectivity for moving vehicles[C]// ACM SIGCOMM. Seattle, Washington, USA: ACM, 2008: 427-439.
- [5] BENSALOU B, WANG Y, KO C C. Fair medium access in 802.11 based wireless Ad hoc network[C]//ACM Mobihoc. Massachusetts, USA: ACM, 2000, 8: 99-106.
- [6] JIAN Y, CHEN S G. Can CMA/CA networks be made fair?[C]//Proc of ACM MobiCom. California, USA: ACM, 2008, 9: 235-246.
- [7] CHEN S, ZHANG Z. Localized algorithm for aggregate fairness in wireless sensor networks[C]//Proc of ACM MobiCom. California, USA: ACM, 2006, 9: 274-285.
- [8] HE J, PUNG H K. One/Zero fairness problem of MAC protocols in multi-hop Ad hoc networks and its solution[C]// Proc of the International Conference of Wireless Networks. Las Vegas, Nevada, USA: IEEE, 2003: 479-485.
- [9] 滕达, 杨寿保, 孙伟峰, 等. 车载网络中提高公平性的数据包大小自适应调节方案[J]. 电子学报, 2007, 35(8): 1521-1526.
- [10] TENG Da, YANG Shou-bao, SUN Wei-feng, et al. An adaptive packet-size adjusting scheme for improving fairness in vehicle networks[J]. Acta Electronica Sinica, 2007, 35(8): 1521-1526.
- [11] WANG X, KAR K. Throughput modeling and fairness issues in CSMA/CA based Ad hoc networks[C]//Proc of IEEE INFOCOM. Miami, USA: IEEE, 2005: 23-34.
- [12] CHANG C Y, CHANG H R. Power control and fairness MAC mechanisms for 802.11 Wlans[J]. Computer Communications, 2007, 30: 1527-1537.
- [13] Gustavo Marfie, Fiovanni, Pawl. Evaluating vehicle network strategies for downtown portland: Opportunistic infrastructure and the importance of realistic mobility models[C]//MobiOpp'07. San Juan, Puerto Rico, USA: IEEE, 2007.
- [13] MANGHARAM R, WELLER D. GrooveNet: a hybrid simulator for vehicle-to-vehicle networks[C]//V2VCOM 2006. San Jose, CA, USA: IEEE, 2006.

编辑 张俊