

基于相对速度的 802.11p 车载网络自适应退避算法*

魏李琦, 肖晓强, 陈颖文, 徐明, 樊海宽

(国防科学技术大学 计算机学院, 长沙 410073)

摘要: IEEE 802.11p 协议是针对车载环境应用制定的物理层与 MAC 层标准。车载网络中节点的高移动性和拓扑结构的频繁变更导致网络丢包率增加。为解决车辆移动特性引发的信道访问不公平性问题及降低网络丢包率,提出一种基于相对速度的自适应退避算法 RSBA,依据移动节点间相对速度差异优化退避机制。通过 NCTUns 模拟实验表明,RSBA 减少了丢包率,提高了信道访问公平性,改善了 IEEE 802.11p 协议的网络性能。

关键词: 车载网络; IEEE 802.11p; 不公平性; 基于相对速度的自适应退避算法; 模拟

中图分类号: TP393.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2011)10-3878-03

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2011.10.075

Relative-speed-based self-adaptive backoff algorithm for 802.11p VANET

WEI Li-qi, XIAO Xiao-qiang, CHEN Ying-wen, XU Ming, FAN Hai-kuan

(School of Computer, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: IEEE 802.11p is the standard for PHY and MAC protocol that the IEEE workgroups made for VANETs. According to the main features of vehicular networks such as the high speed and dynamic network topology, the ratio of the loss packets is increasing. In order to resolve the unfairness problem of channel access and decrease the loss ratio, proposed a relative-speed-based self-adaptive backoff algorithm (RSBA). Based on the deviation of the relative speeds, the backoff mechanism got optimized. Through simulation with NCTUns, RSBA is proved to decrease the ratio of dropped packets, enhance the fairness of channel access and help improving the performance of the IEEE 802.11p MAC protocol.

Key words: VANETs; IEEE 802.11p; unfairness; relative-speed-based self-adaptive backoff algorithm (RSBA); simulation

0 引言

车载网络是专门为车辆间通信而设计的自组织网络,包括移动车辆间、车辆与基站间形成的暂时、动态变化的无线网络。车载网络创造性地将自组网技术应用于车辆间通信,使司机能够在超视距的范围内获得其他车辆的状况信息(如车速、方向、位置、刹车板压力等)和实时路况信息,为实现安全便捷驾驶提供了强大的通信支持,在事故预警、保障交通安全以及优化交通流量等方面发挥了重要的作用^[1]。

车载通信可以在车辆与 ITS 路边基础设施之间(vehicle-to-infrastructure, V2I)进行,也可以在高速车辆之间(vehicle-to-vehicle, V2V)进行。节点的高移动性和拓扑结构的频繁变更是车载网络的重要特性,同时也带来了网络设计的挑战,特别是有关 MAC 协议的设计。

IEEE 802.11p 协议是由 IEEE 802.11 标准扩充的无线局域网标准^[2],对 802.11 协议的物理层和 MAC 层提供功能上的增强,其主要用于车载通信系统中,符合智能交通系统的相关应用。IEEE 802.11p 协议采用分布式协调访问机制 DCF(distribution coordinate function),但是在车载网络通信场景中,由于独有的网络特性,DCF 机制并不像在其他网络中那样有效。通常情况下,802.11 系列协议的性能很大程度上依赖于各种网络参数(如通信节点数、数据传输类型等)的设置。在车载网络中,协议性能还受到其他因素的影响,如通信模式和节点的移动性等。节点移动性可描述为节点位置、速度、加速度、移动方向和潜在的邻居节点个数等。这些参数在车载网络中是动态变化的,在高速移动场景下更是难以预测。IEEE 802.11p 协议并没有考虑以上所描述的节点移动性^[3]。

本文针对车载网络中节点的移动性差异,提出一种基于相对速度的自适应退避算法(RSBA),每个节点根据自身速度与其邻居节点平均速度之间的差值调整最小竞争窗口值,优化退避机制,从而提高 IEEE 802.11p MAC 协议性能。

1 相关工作

IEEE 802.11p MAC 以载波侦听多路访问模式(carrier sense multiple access, CSMA)为基础,节点在传送数据前先监听信道,如果信道忙碌,则必须依据退避机制推迟访问。在信道

收稿日期: 2011-03-11; 修回日期: 2011-04-21 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61003304)

作者简介: 魏李琦(1986-),女,黑龙江牡丹江人,硕士研究生,主要研究方向为无线网络、移动计算等(weiliqi2001@163.com); 肖晓强(1972-),男,江西南昌人,副教授,硕士,博士,主要研究方向为无线网络、移动计算等; 陈颖文(1979-),男,湖南株洲人,讲师,博士,主要研究方向为车载网络、无线通信等; 徐明(1964-),男,湖南长沙人,教授,博士,博士,主要研究方向为无线网络、移动计算等; 樊海宽(1988-),男,江苏徐州人,硕士研究生,主要研究方向为无线网络、移动计算等。

利用率较高的情况下,这可能导致无限期地延迟。文献[4]通过模拟仿真分析评价了 IEEE 802.11p 的性能,其结论显示,当数据传输量较大时,IEEE 802.11p 不能确保时间敏感性的信息传输需求,指出了 IEEE 802.11p 协议性能和技术上的局限性。文献[5]在 V2I 通信模式下尝试采用轮询机制以避免数据包传输冲突。

通常情况下,802.11 协议性能依赖于诸如通信节点个数、数据传输类型、退避机制和载波侦听范围等网络参数的设置。在车载网络中,协议性能也与其他参数密切相关,如通信模式、车辆密度和节点移动性。节点移动性参数包括节点位置、速度、加速度、移动方向和通信邻居节点数等。车载网络 MAC 协议应基于节点移动参数提供有效的信道访问机制。文献[1]指出,在车辆节点密度较高的情形下,IEEE 802.11p 车载网络吞吐量减少,传输延迟增加。文献[6]提出了一个改进的 802.11 DCF 机制,以提高 V2I 模式下信道访问的公平性。

通过研究 IEEE 802.11p 协议的 MAC 特性^[7]发现,在车载通信模式下,一个恒定不变的竞争窗口值并不能保证用户节点的数据传输需求。提高网络吞吐量的一个有效方法就是改进 MAC 协议。车载环境下可以通过优化退避机制使得退避窗口能够适应车辆数量的动态变化,以此提高网络性能。文献[7]提出基于 V2I 模式的两种优化方案:一是集中式方法,在获取当前通信车辆详细信息的前提下,以 p 概率 CSMA 机制^[8]计算退避窗口值替换基于竞争窗口的退避机制;二是分布式方法,通过测定固定时间间隔内信道忙闲比例变化,来判定退避窗口值增加或减小。

纵观近年来 IEEE 802.11p 协议的研究工作,关于节点移动性对 IEEE 802.11p MAC 协议性能的影响并没有作出全面详尽的评估,尤其是缺乏有关在 V2V 通信模式下如何根据节点移动性增强 IEEE 802.11p 协议性能的研究。

2 V2V 模式下信道访问公平性问题

由节点速度差异而引起的信道访问公平性在 IEEE 802.11p 车载网络中仍然存在。文献[6]直观地描述了在 V2I 通信模式下节点移动性所引起的公平性问题。如图 1 所示,每个移动节点在路边基站 RSU(roadside unit)覆盖范围内都有不同的通信时限,使得不同移动参数的节点访问 RSU 的概率不同,这就导致了节点竞争访问的不公平性。

图 2 所示说明了在 V2V 通信场景中由于相对速度差异而引起的公平性问题。图中有三个移动节点:节点 A、B 和发送数据节点。节点 A 与发送节点速度相近,节点 B 的速度与它们相比较慢。可以看出,在一段时间过后,节点 B 就会移出发送节点的数据传输范围,而此时节点 A 仍可以与发送节点进行数据交互。在这种情形下,一个有效的 MAC 协议应提供给节点 B 较高的优先级,使之在移出发送节点数据传输范围前能够与之完成必要的通信。这就是由节点移动性之间的差异(如速度的高低之分)而引起的信道访问公平性问题。

在城市交通环境中,车辆密度较大,后方车辆行进速度往往受前方车辆的压制,因此同一车道上的车辆常呈现组移动特性。若某时刻一个车辆节点速度急剧变化(大幅度增加或减小),可以推定该车辆节点有突发事件产生,如车辆故障、紧急公务(救护车、消防车等特殊车辆)。这种情形下,该节点应在信道访问竞争中占有相对优势,从而使紧急事件得到快速处理。

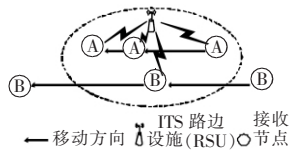


图 1 V2I 模式下移动性差异引起的公平性问题

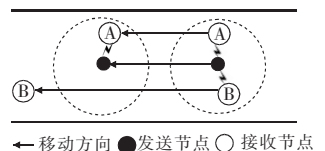


图 2 V2V 模式下移动性差异引起的公平性问题

综上所述,为了较好地解决节点移动性引起的公平性问题及较快地处理车辆紧急情况,具有过高或过低速度的移动节点应获得更多的信道访问机会。一个公平有效的车载网络 MAC 协议应根据不同节点移动特性的差异提供有区别的通信服务,这也是本文的基本思想。

3 基于相对速度的退避算法(RSBA)

为了解决 V2V 通信模式下节点访问信道的公平性问题,针对 IEEE 802.11p 车载网络中节点的移动特性,本文提出一种基于相对速度的自适应退避算法(RSBA),每个节点根据自身速度与其邻居节点平均速度之间的差值调整最小竞争窗口值,优化退避机制,提高网络传输性能。

RSBA 算法是基于相对速度与信道访问优先级成比例这一思想提出的。节点相对速度是指其自身速度与周围邻居节点平均速度之间的差值。随着相对速度的增加,成比例减小节点竞争窗口值以提高访问信道优先级。

在 RSBA 算法中,每个车辆节点拥有基于 MAC 地址设定的唯一 ID,节点之间的通信在单一频道上进行,车辆节点在自组织模式下互相协作以完成多跳传输。每个车辆节点配备 GPS 装置,可以获得自身位置和速度信息。每个节点维护一跳邻居表,并且周期性地广播“HELLO”信息给邻居节点,信息中包含有该节点的位置和速度信息。该节点的所有邻居在一个时间段内保存该信息。如果在规定的时间内该节点没有收到某一邻居节点的任何信息,则从邻居列表中删除这一邻居节点。

在一个广播时间段内,每个车辆节点接收其传送范围内邻居节点的广播数据包,获取周围邻居的速度和位置等信息。由于车辆行驶具有方向性,每个节点只记录同方向行驶的邻居节点速度。在一个广播时间段结束时,每个车辆节点计算其单跳邻居节点个数、它自身与邻居节点的平均速度以及它自身速度与这个平均速度的差值。若传输节点 i 速度是 V_i ,则相对速度差值为 $d = |V_i - \bar{V}|$ 。其中 \bar{V} 是节点 i 同方向一跳邻居的平均速度。依据计算出的相对速度差值变化比例来改变节点的最小竞争窗口值。

RSBA 具体算法伪代码如下程序段所示。其中 CW_{min} 为节点最小竞争窗口值, CW_{min_init} 为 802.11p 协议规定的最小竞争窗口值。

```

if(在广播周期内) then
    for(传输范围内的每一个邻居节点) {
        msg = recvfrom( ... ); //接收邻居节点广播信息
        ...
        angelbetween = fabs( CurrentDirection-msg.direction ); //计算节点与邻居的行驶方向差值,即角度差值
        same_dir( angelbetween ); //判定方向函数
        if(节点与邻居同方向行驶)
        {
            sumspeed = sumspeed + msg.speed;
            m += 1; //计算同方向邻居节点数量
        }
    }

```

```

}
end if
...
CWmin = CWmin_init; //先设定最小竞争窗口值为初始值
if (广播周期结束) then
    v = sumspeed/m; //计算节点与周围邻居平均速度
    dlast = d; //保存上一次计算的相对速度差值
    d = |vi - v|; //计算相对速度差值
    if (0 < d < 1) then
        d = 1; //若相对速度差值小于1,则设定相对速度为1
    end if
    r = d/dlast; //计算相对速度变化比例
    CWmin = CWmin/r; //依据相对速度变化改变竞争窗口值
    if (CWmin < 3) then CWmin = 3 end if
    if (CWmin > 15) then CWmin = 15 end if
end if

```

当计算出的最小竞争窗口值小于/大于 802.11p 协议设定的最小值 3/最大值 15 时,为了保证网络传送的稳定性,取最小竞争窗口值为 3/15。

4 性能分析

为评估节点移动性对 IEEE 802.11p 协议标准的影响以及上文所提出的动态优先级管理机制,本文使用 NCTUns-6.0^[9] 仿真软件进行算法的有效性验证。NCTUns 是一种高度整合的网络和交通仿真平台,它支持交通道路情况和网络通信情况的交互,适用于多种情形下的车辆交通仿真^[10]。与 OPNET 和 NS-2 比较,NCTUns 能直接使用真正的 TCP/IP 协议栈,确保高保真的模拟结果;能直接使用 UNIX 网络测试和监控工具,节约用户的实验时间和工作量。

模拟一个四行车道的高速公路场景,高速公路长 5 km,每个行车道宽 10 m。车辆节点速度使用缺省设定文件随机分布。所有节点设置相同的 802.11p MAC 参数,且车辆行驶路线在模拟过程中动态生成。系统时间设定为 100 s,每个车辆节点的传输范围设定为 250 m。传送数据包大小为 1 024 Byte。每个节点向周围邻居广播数据包。取模拟场景中车辆节点总数(竞争信道的最大节点数)为 5、15、20、25、30、40,对原始 802.11p 协议和应用 RSBA 算法的改进 802.11p 协议进行对比。图 3 所示为节点丢包率随模拟场景中车辆节点总数变化的关系。

通过丢包率对比可以发现,在车载网络环境下,应用 RSBA 算法的改进 802.11p 协议使得网络的丢包率有了明显的下降。当车辆节点总数较小时,信道竞争程度轻;而随着节点的增多,信道访问竞争愈加激烈,致使网络丢包率呈上升趋势。观察曲线可知,随着车辆节点总数的增加,RSBA 算法的效能越趋明显。由此可知,RSBA 算法在 802.11p 车载网络环境下是有效的。

分析单个节点丢包数量的变化可以发现,节点周围邻居的数量变化与丢包数量是密切相关的。当周围邻居数量较少时,与该节点进行交互通信的节点也相对较少,信道访问竞争程度轻,同时,隐藏终端问题影响也较小,这时丢包数量也会减少;同理,当周围邻居数量增多时,竞争信道的节点增多,数据传送冲突概率上升,丢包数量也相应地增加。

图 4 所示为 802.11p 协议和应用 RSBA 算法的改进 802.11p 协议的 Jain 公平性参数^[11]对比曲线。

通过测定 Jain 公平参数可以发现,应用 RSBA 算法的 802.11p 改进协议下网络公平性有显著的提高,表明 RSBA 算

法能够有效地解决车载网络 V2V 模式下的公平性问题。

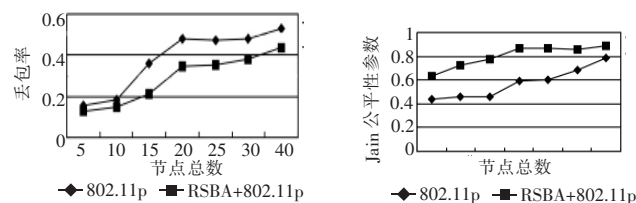


图 3 节点丢包率变化示意图

图 5 所示为吞吐量随节点总数变化的曲线,以此来评价 802.11p 和应用 RSBA 算法的改进 802.11p 协议的网络性能。由图 5 可知,因为网络丢包率的下降,应用 RSBA 算法的改进 802.11p 协议网络性能有了较明显的提高。

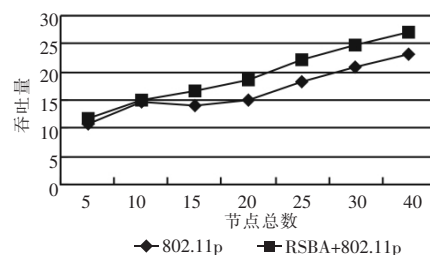


图 5 吞吐量变化示意图

综合以上分析,基于相对速度的自适应退避算法 RSBA 能有效地提高 802.11p 车载网络中节点访问信道的公平性,能明显降低网络的丢包率,提高吞吐量,优化网络性能。

5 结束语

车载网络是由移动车辆组成的分布式、自组织通信网络,具有高速移动性、高动态拓扑以及通信链路不稳定等特性。这些特性导致常用的标准网络协议在车载网络中运行效率较低,因此,如何增强车载网络性能成为近年来人们的关注热点。本文提出一种基于相对速度的自适应退避算法 RSBA,通过优化退避机制来降低数据传送过程中丢包率和信道竞争程度,达到提高网络性能的目的。RSBA 是一种分布式算法,因不需要获知全网的状态信息及集中式的控制和计算,扩展性较强。

下一阶段的研究工作将着眼于综合考虑其他移动性参数,进一步改善增强 IEEE 802.11p 车载网络的 MAC 机制和路由协议,使得网络性能最大化。

参考文献:

- [1] BILSTRUP K, UHLEMANN E, STROM E G, et al. Evaluation of the IEEE 802.11p MAC method for vehicle-to-vehicle communication [C]//Proc of the 68th IEEE Vehicular Technology Conference. 2008: 1-5.
- [2] IEEE 802.11p Std-2010, IEEE standard for Information technology-telecommunications and information exchange between systems-local and metropolitan area networks-specific requirements part 11: wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications amendment 6: wireless access in vehicular environments [S]. 2010.
- [3] ALASMARY W, ZHUANG Wei-hua. The mobility impact in IEEE 802.11p infrastructureless vehicular networks [C]//Proc of the 72nd IEEE Vehicular Technology Conference. 2010: 1-5.
- [4] EICHLER S. Performance evaluation of the IEEE 802.11p WAVE communication standard [C]//Proc of the 66th IEEE Vehicular Technology Conference. 2007: 2199-2203.

(下转第 3886 页)

随锚节点数的增加而提高。三种算法中,锚节点数的增加均能使求得平均跳距值更接近网络节点的实际跳距值,但在出现图 1 所示情况下原始算法和文献[6]算法仍然存在很大误差,RSDV-HOP 算法解决了这一缺陷,更大程度地提高了定位精度。本文算法的定位精度比文献[6]中算法平均提高了约 3%~8%,比原有算法的定位精度平均提高了约 25%。

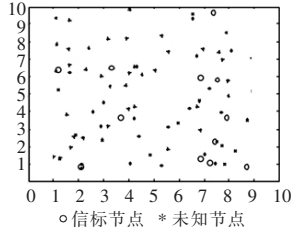


图 3 100 个节点随机分布

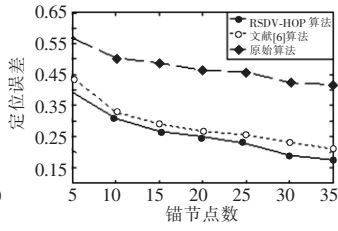


图 4 不同锚节点数时算法误差比较

图 5 为锚节点数为 15 时,改变节点总数得到的三种算法的定位误差比较。由仿真结果可知,三种定位算法在节点总数增加时定位精度都有所提高;在节点总数达到 250 时,三种算法的定位精度均趋于稳定。在节点总数较小时,本文算法的定位精度较原始算法提高了约 15%~25%;在节点总数较多时,较原始算法提高了约 4%~10%。

由图 4 和 5 的结果对比可知,RSDV-HOP 算法在锚节点数增加和节点总数增加时都能提高节点的定位精度,但是相对来说,增加锚节点数能使节点的定位精度提高更多。因为 RSDV-HOP 算法是通过锚节点间的信息来建立的模型,锚节点数越多越能提高模型的恰当性,也就更大地降低了节点的定位误差。

图 6 为锚节点数和节点总数均不变、节点通信半径不同时针对本文算法定位精度的比较。由结果可知,RSDV-HOP 算法的定位误差随着锚节点数的增加而降低。当固定锚节点数、增加节点通信半径时,节点的定位误差反而会减小。这是由于当节点通信半径增大时,节点间的最小跳数值更多地趋近 1,RSSI 值很大程度上影响着节点间平均跳距值,而由 RSSI 获得的距离值与实际距离之间的误差非常大。

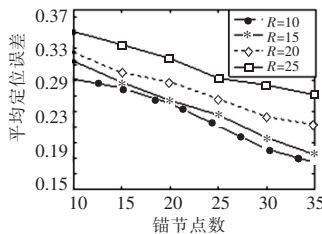


图 5 锚节点数为 15 时
定位误差比较

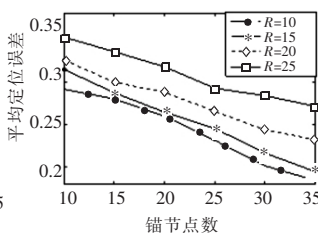


图 6 节点通信半径不同时
本文算法定位精度

4 结束语

DV-HOP 算法是无线传感器网络中目前应用最广泛的与测距技术无关的定位算法之一。虽然定位精度较低,但在硬件尺寸和功耗上都更适合大规模低功耗的 WSN。针对 DV-HOP 算法定位精度不高的问题,本文对原算法进行了改进,根据锚节点 RSSI、跳数值和平均跳距来获得可以运用到全网的关系模型,提出了基于 RSSI 和多重回归分析思想的 RSDV-HOP 算法。经过仿真实验表明,RSDV-HOP 算法较原有算法在定位精度上有了较大提高,尤其在改变锚节点数时,算法定位精度较原算法提高了约 25%。在算法的求解过程中,需要对所有锚节点的信息进行统计回归,在计算量和时间上都有一定的代价。在以后的研究中,会着重于减少计算代价,寻找更适合于网络的模型,从而更大地提高节点的定位精度。

参考文献:

- [1] 孙利民,李建中,陈渝.无线传感器网络[M].北京:清华大学出版社,2005.
- [2] 曹文明,王瑞.传感器网络覆盖定位模糊信息处理方法[M].北京:电子工业出版社,2010.
- [3] ZHANG Wei-le, YIN Qin-ye, FENG Xue *et al.* Distributed TDoA estimation for wireless sensor networks based on frequency-hopping in multipath environment [C]//Proc of the 71st Vehicular Technology Conference. 2010: 1-5.
- [4] ZHENG You-si, WANG Han, WAN Lei *et al.* A placement strategy for accurate TOA localization algorithm [C]//Proc of the 7th Annual Communication Networks and Services Research Conference. 2009: 166-170.
- [5] TIAN Hui, WANG Shuang, XIE Huai-yao. Localization using cooperative AOA approach [C]//Proc of International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. 2007: 2416-2419.
- [6] 林金朝,刘海波,李国军,等.无线传感器网络中 DV-HOP 节点定位改进算法研究[J].计算机应用研究,2009,26(4):1272-1275.
- [7] 张佳,吴延海,石峰,等.基于 DV-HOP 的无线传感器网络定位算法[J].计算机应用,2010,30(2):323-326.
- [8] 陈杰.基于加权 DV-HOP 算法的无线传感器网络定位技术[J].苏州市职业大学学报,2009,20(2):26-29.
- [9] MENDENHALL W, SINCICH T. 统计学[M].5 版.北京:机械工业出版社,2009:396-402.
- [10] 詹杰,吴铃锡,唐志军.无线传感器网络 RSSI 测距方法与精度分析[J].电讯技术,2010,50(4):83-87.
- [11] 方震,赵湛,郭鹏,等.基于 RSSI 测距分析[J].传感技术学报,2007,20(11):2526-2530.

(上接第 3880 页)

- [5] CHOI N, CHOI S, SEOK Y *et al.* A solicitation-based IEEE 802.11p MAC protocol for roadside to vehicular networks [C]//Proc of Mobile Networking for Vehicular Environments. 2007: 91-96.
- [6] KARAMAD E, ASHTIANI F. A modified 802.11-based MAC scheme to assure fair access for vehicle-to-roadside communications [J]. Computer Communication, 2008, 31(12): 2898-2906.
- [7] WANG Yi, AHMED A, KRISHNAMACHARI B *et al.* IEEE 802.11p performance evaluation and protocol enhancement [C]//Proc of International Conference on IEEE Vehicular Electronics and Safety. 2008: 317-322.
- [8] CALI F, CONTI M, GREGORI E. Dynamic tuning of the IEEE 802.11 protocol to achieve a theoretical throughput limit [J]. IEEE/ACM

Trans on Networking, 2008, 8(6): 785-799.

- [9] WANG S Y, LIN C C. NCTUns 5.0: a network simulator for IEEE 802.11(p) and 1609 wireless vehicular network researches [C]//Proc of the 68th IEEE Vehicular Technology Conference. 2008: 1-2.
- [10] WANG S Y, CHOU C L, LIN C C. The protocol developer manual for the NCTUns 5.0 network simulator and emulator [EB/OL]. (2010-01-15). <http://ns110.csie.nctu.edu.tw/>.
- [11] JAIN R, HAWW W, CHIU D. A quantitative measure of fairness and discrimination for resource allocation in shared computer systems, DEC Research Report TR-301 [R]. 1984.
- [12] BILSTRUP K. A survey regarding wireless communication standards intended for a high-speed vehicle environment, Technical Report IDE 0712 [R]. 2007.