

车联网中基于分段与协作的 MAC 协议

于明鹭¹, 刘南杰^{1,2}, 赵海涛^{1,2}

(1. 南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京 210003;
2. 南京邮电大学 网络基因工程研究所, 江苏 南京 210003)

摘要: 车载自组织网络中采用的是基于竞争的 MAC 协议。该协议在车辆密度很大时会导致很高的包碰撞率, 严重影响安全消息的传输可靠性和时延。针对该问题, 提出车载自组织网络中基于分段与协作的 MAC 协议。首先创新性提出一种对道路进行分段的思想, 再通过段首分配时隙给每辆车传输安全消息, 最后通过选择辅助节点在空闲时隙重传紧急消息给接收失败的节点。该协议有助于提高安全消息的传输可靠性并降低消息传输时延。

关键词: 车载自组织网络; 协作; 安全消息; 介质访问控制协议

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2016)03-0080-05

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2016.03.019

Segmentation and Cooperation Based Media Access Control Protocol in VANETs

YU Ming-lu¹, LIU Nan-jie^{1,2}, ZHAO Hai-tao^{1,2}

(1. Institute of Telecommunications & Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China;

2. Network Gene Engineering Research Institute, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: Vehicular Ad-hoc Networks (VANETs) employs contention-based Medium Access Control (MAC). Under high-density situation, it leads to a great number of packet collision, and as a result, the reliability and latency of safety messages are severely affected. A segmentation and cooperation based MAC protocol in VANETs is proposed. It first introduces a road segmentation strategy, then the selected segment header is responsible to decide slots allocation which is used to transmit safety message by every car. Finally, helpers are selected to forward the packet to nodes that don't receive the packet in idle slots. The protocol can help to improve safety message's transmission reliability and reduce transmission delay.

Key words: VANETs; cooperation; safety message; MAC

1 概述

近年来, 车载自组织网络 (Vehicular Ad hoc Networks, VANETs) 得到了飞速发展。在 VANETs 中每辆车都配备有无线接口, 即车载单元 (On-board Unit, OBU)。此外, 道路上设有路边单元 (RoadSide Units, RSU)。通过 OBUs 和 RSUs, VANETs 中的车辆可以相互通信, 也可以与网络单元通信。所以车辆通信包括车与车通信和车与路边单元通信的模式。由于车辆

通信的重要性, 联邦通信委员会分配了 75 MHz 频谱用于智能交通中的通信。这 75 MHz 分为 7 个信道, 包括一个控制信道和六个服务信道^[1]。

安全消息是 VANETs 中最重要的消息, 它具有很强的实时性, 必须在规定的时间到达接收者并满足一定的接收率 (99%)。因此, 安全消息的传输性能取决于介质访问协议 (Medium Access Control, MAC)。而 IEEE 802.11p 采用的基本 MAC 接入策略为避免碰撞的载波侦听多址接入, 时延大, 可靠性低, 无法满足安

收稿日期: 2015-06-24

修回日期: 2015-09-28

网络出版时间: 2016-02-18

基金项目: 国家“973”重点基础研究发展计划项目 (2013CB329005); 国家自然科学基金资助项目 (61302100); 教育部博士点基金资助项目 (20133223120002); 南京邮电大学科研基金 (NY211006)

作者简介: 于明鹭 (1991-), 女, 硕士研究生, 研究方向为车联网; 刘南杰, 博士, 教授, 研究方向为泛在通信、车联网、智能交通; 赵海涛, 博士, 副教授, 研究方向为无线网络与泛在通信。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20160218.1636.070.html>

全消息的传输时延和接收率。并且安全消息的洪泛机制会导致广播风暴。因此,为严格满足安全消息的服务质量,许多研究提出了 VANETs 中不同类型的 MAC 协议。其中协作通信得到了广泛关注。当源节点到目标节点之间的原始信道不可靠时,其他信道状况良好的邻居节点可用于把包传至目标节点,这样目标节点可以从各独立信道获得不同副本,因而通过空间分集增强了消息传输的可靠性。

现在大多数基于协作的 MAC 协议专注于研究点对点的通信模式^[2-3],在文献[4-5]中提出了两个相似的基于协作的 MAC 协议:Coop-Mac 和 rDCF。该协议使得速率高的节点通过两跳传输来辅助一个速率低的节点。在这两种方案中,辅助节点的选择基于表中历史记录。然而,当表更新间隔设置不合理时,就无法适应车载通信的动态特性。

为解决这个问题,许多文献给出了相应的方案。在文献[6]中,辅助节点的选择基于控制消息的实时信号强度。文献[7]提出了一种车联网中自适应分布式协作 MAC,即 ADC-MAC。每个节点利用信标消息来周期性地测量周围节点的信号强度。然而这些状态包带来了很大的开销并增加了包碰撞率。在文献[8-9]中,作者结合了协作通信和自动重传机制,当发现 NACK 消息时,源节点的邻居节点重传包。然而,选择合适的转发节点带来了额外的开销。上述的协作通信协议都是基于 IEEE802.11p 协议的。文献[10]提出了一种基于 TDMA 的协议来改善包的接收率。然而,在这个 MAC 协议中,只是选择了辅助节点和时隙用于协作传输并没有重传机制。文献[11]提出 CAH-MAC,它利用一帧中的空闲时隙来传输包。辅助节点的选择和协作的时隙选择都是动态的,然而,该协议并没有考虑节点的移动性并且模型过于理想化。

协作通信用于提高广播通信的可靠性,然而上述研究在如何选择合适的辅助节点及何时进行协作方面并没有给出很好的方案。

不同于上述研究方案,文中创新性提出一种基于 TDMA 的分段与协作的 MAC 协议。首先对道路进行智能分段,然后选择段首来进行时隙分配,最后通过选择辅助节点来重传接收紧急消息失败的节点,这样显著提高了安全消息的接收率。

2 系统模型

文中考虑 VANETs 有两条车道。每辆车视为一个节点。首先对道路进行等距离分段,每一段设定一个段编号。再在每段中选择一个节点作为段首(Segment Hear, SH),其他节点则为段成员(Segment Member, SM)。然后由每段的 SH 为该段的 SM 分配传输

安全消息的时隙,车辆通过数字地图能获知该车所在段,并在分配给该段的相应时隙中传递消息。当 SM 发现紧急消息时,它立即将紧急消息传递给 SH,SH 再统一所有 SM 发来的紧急消息并将消息转发给段内所有的 SM。如果 SM 没有成功接收消息,SH 会选择一个重传节点在空闲时隙重传消息。协议的整个执行流程如图 1 所示。

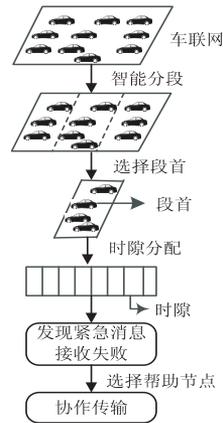


图 1 协议流程

3 协议设计

文中提出的基于分段与协作的 MAC 协议针对车联网中重要的安全消息(信标消息、紧急消息)的传输。设消息的传输速率为 6 Mbps,消息的传输范围为 R m。把时间段划分成不同时段,每个时段代表一个信标间隔(Beacon Interval, BI)。BI 包括 N 个时隙,并且在每个信标间隔的最后留有几个空闲时隙,用于 SM 无法获知 SH 分配的时隙时接入。每辆车在每个信标间隔中传输信标消息。设每辆车配有 GPS 设备和数字地图,GPS 用来提供精确的时间同步。

3.1 道路分段

因为每段中的时隙是由 SH 分配,因此每段的宽度直接影响分配效率。首先,在选择 SH 时要求段内车辆能感知到段内所有其余车辆。其次,SH 在分配时隙前必须收到所有 SM 的信标消息。所有段宽度必须满足 $W \leq R$ 。又因为 W 太小影响了信道利用率,这里取 $W = R$ 。道路分段情况如图 2 所示^[12]。

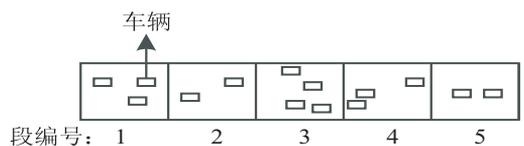


图 2 道路分段示意图

3.2 段首选择

为有效进行时隙分配,必须在每段中选择一个本地 SH,在每个信标消息中都有一个状态位,如果设为 1 则表明该节点为 SH,否则为 SM。段首选择的基本

过程如下:在每个 BI 开始时,每个节点通过获知邻居节点的动态信息(位置、速度、加速度等)找出距离段中心最近的车辆。如果一辆车发现自己是最靠近中心的车辆,它就将信标消息的标志位设为 1 并广播出去。由于设置的段宽度较小,段内的节点可以成功接收周围节点的信标消息。然而,由于移动性,一个节点无法精确获知其他车辆的位置,而且可能同时存在两个及以上的节点到中心的距离相等。为确定单个节点作为 SH,当首次接收到一个标志位置为 1 的信标消息时,就确定发出该信标消息的节点为 SH,而之后再发送标志位为 1 的信标消息的节点重新把标志位置 0。

SH 确定后,它就开始执行时隙分配过程并将分配信息包括在信标中(H 信标)。H 信标必须在时段 T_H 之前发送出去。每个 BI 包括两个子间隔,即 SI_H 和 SI_M 。其中, SI_H 包括所有 SH 的传输时隙, SI_M 包括所有 SM 的传输时隙,如图 3 所示。因为每段只有一个 SH,所以每个 T_H 包含一个时隙,下面对 T_M 进行划分。

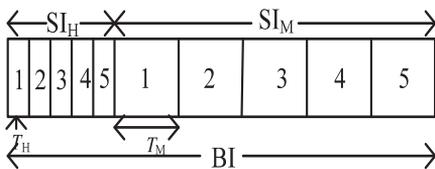


图 3 划分信标间隔(BI)

研究表明,道路上的车辆数服从参数为 βR 的泊松分布。其中, β 为车辆密度, R 为消息传输范围。为保证每辆车在每个 BI 时间内都占有一个时隙,要求 $N > \beta R$ 。这里取 $N = 30^{[13]}$ 。即将 T_M 划分成 30 个时隙,如图 4 所示。

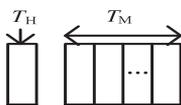


图 4 时隙划分

段首的选择过程主要在三种条件下执行:一是初始化阶段,二是当前段的 SH 即将离开该段,三是当一个节点进入空段。第一种情况只要执行上述的基本过程,而二、三条件除了执行基本的段首选择过程外,还需要针对该条件的特殊性执行另外的过程。这两种条件下的详细执行过程如下:

3.2.1 当前 SH 离开该段

为了避免消息传输中断,当前 SH 离开该段之前必须选择出新的 SH,这需要花费若干 BI。文中设花费 10 个 BI(即 1 s)。即当前 SH 如果估计在 $i + 10$ 个 BI 时可能出现在新的段中,它就发出消息给当前段的节点进行新的 SH 选择过程。因此,通过段首选择的基本过程,单个节点会被成功选择作为新 SH,并立即开始接替原 SH 进行时隙分配过程。特殊的,当该节点发出选择新 SH 的消息时,没有一辆车靠近中心,那么

原 SH 将继续工作并持续发出选择新 SH 的消息。过了几个 BI,发现离中心距离比原 SH 近的节点就被选为新 SH^[12]。

3.2.2 节点进入空段

当一个节点进入新段时,首先侦听 H 信标。如果未收到 H 信标,表明该节点进入了空段,那么它就在 T_M 中选择任意一个时隙。当节点接收到标志位为 1 的信标消息时,那么发送该信标消息的节点就被视为 SH。

3.3 时隙分配

时隙数确定后,下面确定每辆车对应的时隙。首先对段内的每辆车进行编号。由于发送每辆车的编号会占用 SM 很大的开销,所以这里用 SM 发送一个位序列,SM 通过收到的位序列,可以推断出本节点所在时隙。具体过程如下:将每段划分成 P 块,每块最多包含 Q 辆车。由 SH 发送 P 个子序列组成的位序列,每个子序列表示该块内的车辆数。设序列位数为 b ,则 $2^{b-1} \leq Q \leq 2^b - 1$ 。设将每段分成 5 块,如图 5 所示。由于每辆车可获知它所在的块编号及同一块内的其他车辆编号,这些车辆的节点数经过排序形成一个列表,每个节点通过该列表和 SH 发送的位序列,可推断出本节点对应的时隙。如一车辆处 w 块的车辆获得它的时隙号为:

$$S = \sum_{u=1}^{P-1} \sum_{v=0}^{b-1} B_{u,v} \cdot 2^v + n \quad (1)$$

其中: $B_{u,v}$ 表示第 u 个子序列的第 v 位; n 表示 w 块中车辆标号在该块所有标号中所处的位置。

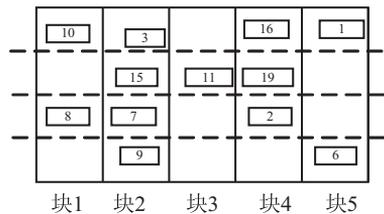


图 5 分块图

如图中块 2 的节点 7,块 2 中的节点有 {3, 7, 9, 15}, 节点 7 在该块中处于第 2 位,又知块 1 的位序列为 010,由式(1)可知 $S = 0 * 2^0 + 1 * 2^1 + 0 * 2^2 + 2 = 4$ 。

图 6 给出了每段的位序列及每个节点对应的时隙。

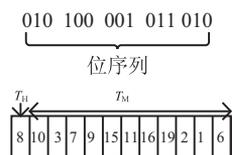


图 6 位序列及时隙分配图

3.4 协作传输

协作传输的过程包括识别包传输失败、选择辅助节点、避免碰撞和重传包。

3.4.1 识别包传输失败

为确保可靠通信,发送包的节点需要确认接收节点是否成功接收包。因此,在这里使用确认(Acknowledgement)字段来确认包的接收。ACK字段包括以下信息:包的序号、源节点的标号以及包传输的时隙号。当SM_i接收到SH发送的广播包时,该节点就将ACK字段加入到包头中,并在下一个BI传输出去。与此同时,节点*i*的邻居节点也能侦听到包的传输。如果SM_i传输的包中不包括ACK字段,那么*i*节点的邻居节点中已经成功接收到包的节点会识别SM_i为失败节点并将本节点视为候选辅助节点^[13]。

3.4.2 选择辅助节点

候选辅助节点需要满足以下两个条件:

- (1)该节点已经成功接收包;
- (2)目标节点在该节点的传输范围内并且信道质量良好。

通过侦听周围节点的ACK消息,SM可以发现邻居节点的传输失败。每个候选辅助者需要维护一张邻居失败节点表 $T_{\text{un}}(i)$ 用于存放未能成功接收包的一跳邻居节点的标号。当SM_i侦听到一个未包含ACK字段的包时,它就开始计算包的信号强度。如果信号强度大于预定义的门限值就表明信道质量好,那么SM_i就将该节点的序号放入它的 $T_{\text{un}}(i)$ 中。当所有SM在对应时隙完成消息传输时,则每个候选辅助节点将识别出所有该节点一跳邻居范围内的失败节点号,即 $|T_{\text{un}}(i)|$ 的值等与该节点一跳邻居节点范围内所有失败节点的数目。

接下来,每个候选辅助节点将决策是否进行协作传输。如果它决定进行传输,就在包头中加入请求协作(Request of Cooperation, RoC)字段。RoC字段包括请求协作标志位、失败节点编号、失败包的编号。当SH从所有的候选辅助节点接收到RoC消息时,它需要从这些候选辅助节点中选择一个作为最佳候选节点。在该系统中,一个辅助节点可能无法覆盖所有的失败SM,所以SH可选择两个辅助节点。下面给出选择辅助节点时用到的协作增益的定义。

对于每一个候选辅助节点,都有一个 $T_{\text{un}}(i)$ 表,代表所有可以从SM_i接收到转发包的节点,那么称 $T_{\text{un}}(i)$ 中的节点数为协作增益。 $|T_{\text{un}}(i)|_{\text{init}}$ 为 $|T_{\text{un}}(i)|$ 的初始值。

以下是选择辅助节点的算法:

初始化:SH中包含两个集合, P 集合包括所有的候选辅助节点, U 集合包含所有的失败节点。当SH从节点*i*接收到一个RoC消息,就把该节点的标号放入集合 P 。同时,如果该RoC消息中包含的节点标号*j*不在 U 集合中,那么SH就把节点*j*加入 U 中。

输出:设定SP为选择的辅助节点,SI为选择的空闲时隙。

第一步:SH对所有的 $|T_{\text{un}}(i)|$ 进行排序;

第二步:在每个时隙中,选择 $|T_{\text{un}}(i)|$ 值最大的候选辅助节点;

第三步:如果第二步选择的节点数大于1,那么再在其中选择 $|T_{\text{un}}(i)|_{\text{min}}$ 值最大的节点,并将选择的节点标号放入SP,同时选择时隙号最小的空闲时隙号放入SI;

第四步:从集合 P 中删除第三步选择的辅助节点*k*,并将 $T_{\text{un}}(k)$ 中包含的节点从集合 U 中删除。对于 P 中其他候选辅助节点*i*,如果 $T_{\text{un}}(i)$ 中有节点存在于 $T_{\text{un}}(k)$ 中,那么将其从 $T_{\text{un}}(i)$ 中删除。从集合 I 中删除第三步选择的时隙号;

第五步:重复步骤1~4直到集合 U 和 I 为空。

3.4.3 避免碰撞和重传包

一个接收失败的节点可能存在两个或更多的候选辅助节点。如果这些候选辅助节点都在同一个时隙传输就会产生碰撞。为了避免此类碰撞,当选择好辅助节点时,SH会利用确认协作(Acknowledge of Cooperation, AoC)消息来通知选择的辅助节点进行重传并让其他候选辅助节点停止传输。为了减小传输时延,AoC会在第一个空闲时隙进行传输。AoC消息包含以下内容:选择的辅助节点的标号,传输失败的包的标号和重传的时隙号。当选择的辅助节点接收到AoC消息时,它就会根据AoC中指定的时隙进行重传。

协作传输过程如图7所示。

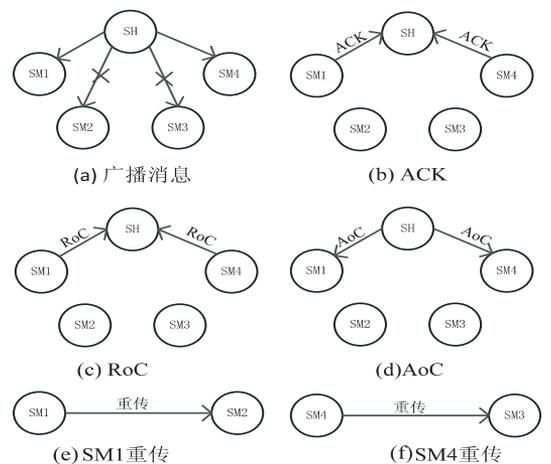


图7 协作传输过程

4 结束语

文中提出了一种基于分段与协作的MAC协议。在该协议中选择了辅助节点来重传安全消息给接收失败的节点。由于增加了节点接收安全消息副本的可能性,节点成功接收安全消息的概率也增加了。同时,引

入分段思想,通过段首进行集中的时隙分配有效降低了网络拥塞,增强了安全消息传输的有效性。

参考文献:

- [1] 刘南杰,葛剑飞,赵海涛,等. 基于 IEEE802.11p 协议的车载网信标消息性能研究[J]. 信息技术,2013,7(5):57-62.
- [2] Zhuang W, Ismail M. Cooperation in wireless communication networks[J]. IEEE Wireless Communications,2012,19(2):10-20.
- [3] Ju P, Song W, Zhou D. Survey on cooperative medium access control protocols[J]. IET Communications,2013,7(9):893-902.
- [4] Liu P, Tao Z, Narayanan S, et al. CoopMAC: a cooperative MAC for wireless LANs[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications,2007,25(2):340-354.
- [5] Zhu H, Cao G. rDCF: a relay-enabled medium access control protocol for wireless ad hoc networks[J]. IEEE Trans on Mobile Computing,2006,5(9):1201-1214.
- [6] Shan H, Cheng H T, Zhuang W. Cross-layer cooperative MAC protocol in distributed wireless networks[J]. IEEE Trans on Wireless Communications,2011,10(8):2603-2615.
- [7] Zhou T, Sharif H, Hempel M, et al. A novel adaptive distribu-

ted cooperative relaying MAC protocol for vehicular networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications,2011,29(1):72-82.

- [8] Zhao B, Valenti M C. Practical relay networks: a generalization of hybrid-ARQ[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications,2005,23(1):7-18.
- [9] Dianati M, Ling X, Naik K, et al. A node cooperative ARQ scheme for wireless ad hoc networks[J]. IEEE Trans on Vehicular Technology,2006,55(3):1032-1044.
- [10] Yang Z, Yao Y D, Li X, et al. A TDMA-based MAC protocol with cooperative diversity[J]. IEEE Communications Letters,2010,14(6):542-544.
- [11] Su H, Zhang X. Clustering-based multichannel MAC protocols for QoS provisioning over vehicular ad hoc networks[J]. IEEE Trans on Vehicular Technology,2007,56(6):3309-3323.
- [12] Sahoo J, Wu E H K, Sahu P K, et al. Congestion-controlled-coordinator-based MAC for safety-critical message transmission in VANETs[J]. IEEE Trans on Intelligent Transportation Systems,2013,14(3):1423-1437.
- [13] Yang F, Yuling T. Cooperative clustering-based medium access control for broadcasting in vehicular ad-hoc networks[J]. IET Communications,2014,8(17):3136-3144.

(上接第 79 页)

- [2] Borathakur D. The hadoop distributed file system: architecture and design[EB/OL]. 2012-01-20. <http://hadoop.apache.org/core/docs/r0.16.4/hdfsdesign.html/>.
- [3] Dean J, Ghemawat S. MapReduce: simplified data processing on large clusters[J]. Communications of the ACM,2008,51(1):107-113.
- [4] 武霞,董增寿,孟晓燕. 基于大数据平台 hadoop 的聚类算法 K 值优化研究[J]. 太原科技大学学报,2015,36(2):92-96.
- [5] 杨宸铸. 基于 HADOOP 的数据挖掘研究[D]. 重庆:重庆大学,2010.
- [6] 张奕武. 基于 Hadoop 分布式平台的 SVM 算法优化及应用[D]. 广州:中山大学,2012.
- [7] 王明星. 数据挖掘算法优化研究与应用[D]. 合肥:安徽大学,2014.
- [8] Aha D W, Kibler D, Albert M K. Instance-based learning algorithms[J]. Machine Learning,1991,6(1):37-66.
- [9] 刘振岩. 数据挖掘分类算法的研究与应用[D]. 北京:首都师范大学,2003.

- [10] 郭明玮,赵宇宙,项俊平,等. 基于支持向量机的目标检测算法综述[J]. 控制与决策,2014,29(2):193-200.
- [11] Peng Nanbo, Zhang Yanxia, Zhao Yongheng. A SVM-kNN method for quasar-star classification[J]. Science China-Physics, Mechanics & Astronomy,2013,56(6):1227-1234.
- [12] 章兢,张小刚. 数据挖掘算法及其工程应用[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
- [13] Cover T, Hart P. Nearest neighbor pattern classification[J]. IEEE Trans on Information Theory,1967,13(1):21-27.
- [14] 侯玉婷,彭进业,郝露微,等. 基于 KNN 的特征自适应加权自然图像分类研究[J]. 计算机应用研究,2014,31(3):957-960.
- [15] 李蓉,叶世伟,史忠植. SVM-KNN 分类器——一种提高 SVM 分类精度的新方法[J]. 电子学报,2002,30(5):745-748.
- [16] 李丽萍. 并行支持向量机[J]. 计算机光盘软件与应用,2013,24:107-109.
- [17] Bel U K. Pairwise classification and support vector machines[M]. Cambridge, MA: MIT Press,1999:255-268.