

## 车用自组网自适应单跳广播协议\*

刘鸿飞<sup>1,2</sup>, 李丽君<sup>3</sup>, 钱林杰<sup>2</sup>, 葛利嘉<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>(重庆大学 机械工程学院, 重庆 400044)

<sup>2</sup>(重庆通信学院 军事信息工程系, 重庆 400035)

<sup>3</sup>(重庆理工大学 光电信息学院, 重庆 400054)

通讯作者: 李丽君, E-mail: llj.liu@cqut.edu.cn

**摘要:** 在车用自组织网的单跳广播协议中, 隐藏/暴露节点是影响广播信息成功分发的关键因素, 媒体接入控制层的竞争窗口是影响吞吐量性能的关键因素. 首先建模分析广播信息成功接收率、吞吐量与节点密度、竞争窗口之间的关系, 然后针对车用自组织网的节点密度动态变化特征提出基于多目标优化的自适应可靠单跳广播协议. 仿真研究结果表明, 该协议通过自动调整节点竞争窗口可以在保证广播信息可靠分发的同时优化网络吞吐量.

**关键词:** 车用自组网; 单跳广播; 吞吐量; 多目标优化

中文引用格式: 刘鸿飞, 李丽君, 钱林杰, 葛利嘉. 车用自组网自适应单跳广播协议. 软件学报, 2013, 24(Suppl. (1)): 7-15. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/13002.htm>

英文引用格式: Liu HF, Li LJ, Qian LJ, Ge LJ. Self-Adaptive single-hop broadcasting protocol in VANET. Ruan Jian Xue Bao/Journal of Software, 2013, 24(Suppl. (1)): 7-15 (in Chinese). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/13002.htm>

### Self-Adaptive Single-Hop Broadcasting Protocol in VANET

LIU Hong-Fei<sup>1,2</sup>, LI Li-Jun<sup>3</sup>, QIAN Lin-Jie<sup>2</sup>, GE Li-Jia<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>(College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

<sup>2</sup>(Department of Information Science and Technology, Chongqing Communication College, Chongqing 400035, China)

<sup>3</sup>(School of Opt-Electronic Information, Chongqing University of Technology, Chongqing 400054, China)

Corresponding author: LI Li-Jun, E-mail: llj.liu@cqut.edu.cn

**Abstract:** Hidden/exposed nodes are key factor which affects the reliability of broadcasting information and the MAC Contention Window is another factor which affects the throughput for single-hop broadcasting protocols in VANET. Firstly, this paper provides a theoretical analytic model to analyze the relationship among reliability, throughput, node density and Contention Window. Next, based on multi-object optimization theory, an adaptive reliability single-hop broadcast protocol (ARSB) is proposed. Simulation results show that ARSB not only enhances broadcast reliability and satisfies the broadcasting information real-time needs, but also optimizes broadcast throughput by adapting Contention Window of broadcasting nodes.

**Key words:** vehicular ad hoc network; single-hop broadcasting; throughput; multi-object optimization

近年来, 基于车用自组织网(vehicular ad hoc network, 简称 VANET)的信息单跳广播协议作为危险警告、协同驾驶、路况通报等交通信息分发的有效方式已经成为 VANET 信息传输研究的重点<sup>[1]</sup>. 事故车辆或者遭遇危险状况的车辆节点(以下或简称节点)借助 VANET, 将危险警告等紧急交通信息通过单跳广播方式及时分发给相邻车辆(特别是跟随车辆), 则相邻车辆的司机不需要根据对前一辆车制动状态的主观判断就可以采取相应的安全驾驶行为<sup>[2,3]</sup>. 例如, 当相邻车辆之间处于危险距离时, 前车可以通过发送广播信息方式不断警告其跟随车辆以免发生碰撞或连环碰撞. 车辆变道以及车辆并线信息也可以通过单跳广播方式保证相邻车辆之间的驾驶

\* 基金项目: 国家自然科学基金(61271251); 重庆市自然科学基金(cstc2011jjA0848)

收稿时间: 2013-05-02; 定稿时间: 2013-08-22

协同性.

在前期研究中<sup>[4]</sup>,基于马尔可夫链模型和网络仿真软件对基于 IEEE 802.11 的 VANET 单跳广播协议的信息分发可靠性、时延以及网络吞吐量进行了建模和仿真分析.研究表明,由于信息广播节点不能根据网络节点密度自动调整介质访问控制层(media access control,简称 MAC)的竞争窗口大小,也不能利用 RTS/CTS 握手机制减少隐藏/暴露节点对信息分发可靠性的干扰,因此,IEEE 802.11 的广播协议很难满足 VANET 应用需求.为此,在设计有效的 VANET 交通信息广播协议时,必须重点考虑隐藏/暴露节点对可靠性的影响,提高广播信息分发的成功率.同时,还必须考虑竞争窗口与网络节点密度的动态关系,以提高网络资源利用率.

本文以增强紧急警告信息可靠性和优化网络吞吐量为基本目标,针对节点密度、竞争窗口和隐藏节点与广播性能的密切关系,提出自适应可靠单跳广播协议(adaptive reliability single-hop broadcast protocol,简称 ARSB),通过适应性调整竞争窗口策略,减小隐藏/暴露节点对信息广播分发的干扰,然后利用多目标优化策略提高广播信息成功接收率,在满足广播信息对实时传输的需求的同时,优化网络吞吐量.

本文第 1 节基于前期研究结论进一步分析广播信源和信宿之间的关系,为设计有效的单跳广播协议提供理论基础.第 2 节利用多目标优化理论和方法提出满足紧急警告等交通信息服务质量需求,同时优化网络吞吐量性能的自适应可靠单跳广播协议(ARSB).第 3 节对 ARSB 性能进行仿真分析.最后是总结与展望.

## 1 IEEE 802.11 广播协议吞吐量分析

IEEE 802.11 单跳广播作为 MANET 一种简单、高效的信息分发方式,邻居节点只接收不转发信息,可减少网络中的广播信息量,提高资源利用率,但由于 VANET 中的节点高速移动性,网络分布式以及 IEEE 802.11 的 MAC 层在信息广播分发方面存在的固有缺陷(缺乏握手机制、竞争窗口不能自适应调整等),很难保证司机获得实时、可靠的交通信息.因此单跳广播模型需要解决交通信息传输的可靠性、实时性以及资源利用效率问题<sup>[4]</sup>.

### 1.1 广播吞吐量分析

根据马尔可夫链转移概率的基本特征,网络中一个需要广播信息的节点在选择退避计数器值和退避过程中满足一维马尔可夫链模型<sup>[5]</sup>,在饱和吞吐量条件下,由马尔可夫链可得节点发送广播信息的概率  $\tau$  为<sup>[4]</sup>

$$\tau = \frac{2(1-p)}{W_0 + 1 - 2p} \quad (1)$$

其中,  $W_0$  表示节点竞争窗口值,  $p$  表示节点检测其传输范围内的其他节点发送信息导致信道处于繁忙状态的概率,有

$$p = 1 - (1 - \tau)^{n-1} \quad (2)$$

当任一节点  $j$  发送广播信息时,其传输范围内的信道将处于繁忙状态,如果在该时隙中还有其他暴露节点也同时发送广播信息,则将导致节点  $j$  信息广播失败.因此,节点  $j$  成功广播信息的概率  $p_s$  属于条件概率.在给定的时隙中,传输范围内至少有 1 个节点传输的概率  $p_r$  表示为

$$p_r = 1 - (1 - \tau)^n \quad (3)$$

对给定的时隙  $\sigma$ ,由于广播信息的节点  $j$  受到传输范围内其他节点的干扰,节点  $j$  成功发送广播信息的概率  $p_s$  可表示为

$$p_s = \frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}}{p_r} \quad (4)$$

在给定的时隙  $\sigma$  中,传输范围内所有节点可能都没有发送广播信息,可能仅有 1 个节点广播信息,也可能多个节点同时广播信息.因此,节点  $j$  成功发送广播信息的平均时间  $T^*$  由信道处于空闲的时隙和信道处于忙的时隙决定.

$$T^* = (1 - p_r)\sigma + p_r p_s T_s + p_r (1 - p_s) T_c \quad (5)$$

其中,  $T_s$  表示信道成功发送广播信息占用的时间,  $T_c$  表示至少有两个节点发送广播信息导致信道发生碰撞占用

的时间.由于节点成功发送广播信息和发生碰撞时占用的时间相同,因此一个平均负载长度为  $E[pkg]$  的广播包占用信道的时间可以表示为

$$T_s = T_c = T_{MAC} + T_{PHY} + \frac{E[pkg]}{tr} + DIFS + \delta \quad (6)$$

其中,  $T_{PHY}$  和  $T_{MAC}$  分别表示广播包的物理和 MAC 帧头传输时间,  $DIFS$  为分布式协调 IFS,  $\delta$  表示传输时延.

网络归一化吞吐量定义为在一个发送广播信息的平均时间  $T^*$  中节点成功传输的广播信息量,有

$$s = \frac{p_r p_s T_{pl}}{(1-p_r)\sigma + p_r p_s T_s + p_r(1-p_s)T_s} \quad (7)$$

其中,  $T_{pl}$  表示广播信息发送时间,  $T_{pl} = E[pkg] \cdot 8/M$ ,  $M$  表示信息传输速率.

在前期研究中<sup>[6]</sup>,我们获得了网络最大吞吐量  $S_{opt}$  与节点竞争窗口  $W_{opt}$  和传输范围内节点数  $n$  之间的关系,对网络中给定广播节点数,要获得最大网络吞吐量,必须要根据网络节点数调整竞争窗口值.当网络节点数增大时,每个节点的竞争窗口必须相应地增加,以便保证每个节点在竞争广播信道时有足够的退避时隙,协调节点间相互竞争广播信道行为,减小由于竞争碰撞而导致广播信息失败的概率,优化网络吞吐量,提高资源利用率.

$$W_{opt} = \frac{2nk - 2}{e^{1/k}(1 - 1/nk)} + 1 \quad (8)$$

## 1.2 广播信息可靠性分析

如果不考虑隐藏节点对广播信息传输干扰,信息广播分发的可靠性主要受到传输范围内节点的干扰,但是,如果考虑隐藏节点对广播信息的干扰,则可靠性将急剧恶化,其可靠性将降低 50% 左右.这种情况下将直接导致危险区域内车辆节点不能接收到正确而有效的紧急警告信息,而产生严重后果.但是,由于 IEEE 802.11 协议没有对可靠广播提出更好的解决策略,近年来对 VANET 广播信息的可靠性研究方面也存在较多缺陷.如何提高紧急交通信息可靠性分发仍然是 VANET 单跳信息广播需要解决的关键问题.

如图 1 所示,某段高速公路向左运动的车道.假设  $x$  是紧急交通信息广播节点,当其发送紧急警告等交通信息时,理想情况是保证其右边所有一跳邻居节点均能正确接收广播信息.但是,对于其传输范围内的一个节点  $y$ ,如果  $x$  开始分发广播信息时,  $y$  与  $x$  之间的节点也发送信息,则导致  $x$  发送的信息被干扰,成为  $y$  的暴露节点干扰区域  $E(r)$ .同时由于阴影区域内的节点不能感知节点  $x$  是否正在发送广播信息,因此可能在检查到空闲时隙时就发送信息,成为影响节点  $y$  正确接收广播信息的隐藏节点区域  $H(r)$ .现定量分析两区域内节点对广播信息成功接收的影响.

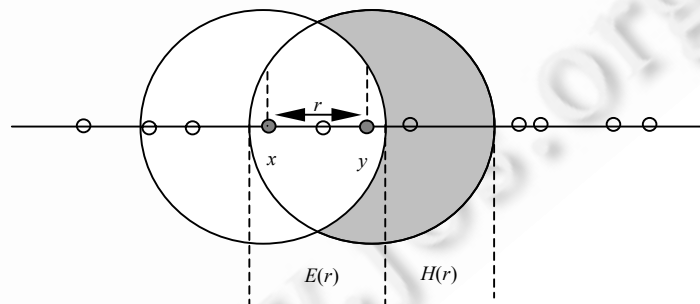


Fig.1 Hidden nodes and exposed nodes

图 1 隐藏节点和暴露节点

设  $x$  为信息广播节点,  $y$  为任意选择的信息接收节点(以节点  $x$  为中心,右边区域内距离小于或等于  $R$  的节点).由于道路上的节点服从 Poission 分布,由 Poission 分布性质可知,在  $E(r)$  区域内,除去  $x$  和  $y$  之后的剩余节点仍然服从 Poission 分布,因此在  $x$  分发广播信息的过程中,  $E(r)$  区域内所有其他节点均不发送信息的概率为

$$p(E(r)) = \sum_{i=0}^{\infty} (1-\tau)^i \frac{[\gamma(2R-r)]^i}{i!} e^{-\gamma(2R-r)} = \exp(-\gamma\tau(2R-r)) \quad (9)$$

为保证  $y$  能正确接收广播信息,在节点  $x$  分发广播信息的过程中,隐藏区域  $H(r)$  内的所有节点均不能传输信息,其概率为

$$p(H(r)) = \left\{ \sum_{i=0}^{\infty} (1-\tau)^i \frac{[\gamma r]^i}{i!} e^{-\gamma r} \right\}^{N^*} = \exp(-\gamma\tau r N^*) \quad (10)$$

其中,  $N^*$  表示节点  $x$  在分发广播信息过程中占用的时隙数,即

$$N^* = \begin{cases} \left\lfloor \frac{T_s}{\sigma} \right\rfloor, & \text{if } \left\lfloor \frac{T_s}{\sigma} \right\rfloor \in i \ (i=1,2,3\dots) \\ \left\lfloor \frac{T_s}{\sigma} \right\rfloor + 1, & \text{if } \left\lfloor \frac{T_s}{\sigma} \right\rfloor \notin i \ (i=1,2,3\dots) \end{cases} \quad (11)$$

因此,节点  $y$  能够成功接收广播信息的概率(简称成功率)可表示为

$$p(y) = (1-\tau) \times p(E(r)) \times p(H(r)) = (1-\tau) \times \exp(-\gamma\tau(2R-r) - \gamma\tau r N^*) \quad (12)$$

由于  $y$  是区域  $E(r)$  中的任意节点,其接收概率与  $r$  有关,则  $x$  传输范围的节点成功接收广播信息概率的均值表示为

$$E(\tau) = \frac{(1-\tau) \exp(-2\gamma R\tau)}{\gamma R\tau(N^*-1)} \times [1 - \exp(-\gamma R\tau \times (N^*-1))] \quad (13)$$

### 1.3 吞吐量与可靠性关系分析

图 2 和图 3 分别表示在节点密度稀疏( $n=5$ )和稠密( $n=50$ )情况下网络吞吐量与广播信息成功率均值随节点广播信息分发概率  $\tau$  (即随竞争窗口值逐渐减小)的变化趋势。成功率是单调递减函数,随节点广播概率增加而降低。而网络吞吐量在节点密度增大过程中存在一个最优化点。紧急警告信息广播分发要求能够保证信息的实时性和可靠性,同时兼顾资源优化利用,能否在吞吐量最优化的基础上同时满足广播信息分发的可靠性和时延需求?

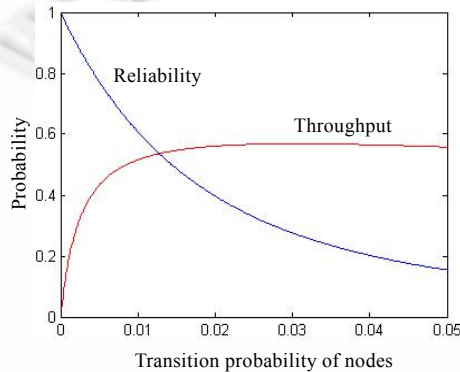


Fig.2 Reliability and throughput ( $n=5$ )

图 2 网络吞吐量与广播可靠性关系( $n=5$ )

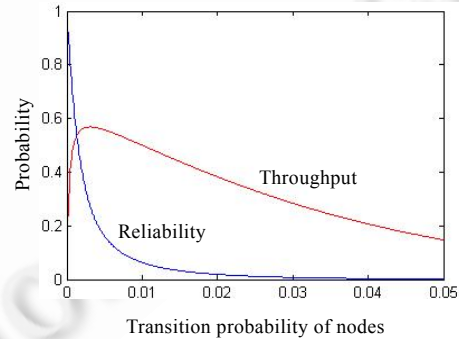


Fig.3 Reliability and throughput ( $n=50$ )

图 3 网络吞吐量与广播可靠性关系( $n=50$ )

通过对广播信息成功率分析可知,节点成功接收广播包的概率主要由网络节点密度、节点竞争窗口、接收节点与广播节点间的距离和时隙大小决定。由于时隙是 IEEE 802.11 协议规范,因此,如果需要提高广播信息的可靠性,可以通过增大节点的竞争窗口值。竞争窗口越大,每个节点竞争信道的概率越小,信息可靠性越高。

综上所述,要保证交通信息单跳广播对可靠分发需求,只能采用比优化网络吞吐量竞争窗口  $W_{opt}$  更大的竞争窗口值,但是更大的竞争窗口导致网络吞吐量降低,时延增加。因此,如何根据网络中动态广播节点数设置合

适的竞争窗口以保证交通信息广播分发的服务质量需求,同时兼顾网络资源优化利用是 VANET 单跳广播协议需要解决的关键问题。

## 2 基于多目标优化的单跳广播设计

### 2.1 多目标优化分析

多目标优化问题的本质在于复杂情况下,各个子目标可能相互冲突,一个子目标的改变可能引起另一个子目标性能降低,所以多个子目标不可能同时都达到最优值,只能相互协调,使各个子目标函数都尽可能地达到最优.因此,多目标优化问题一般可用以下数学模型描述<sup>[7]</sup>:

$$\begin{cases} V\text{-min} : f(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)]^T \\ x \in X \\ x \subseteq R^m \end{cases}$$

其中,  $V\text{-min}$  表示向量极小化,即向量目标  $f(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)]^T$  中的各个子目标函数都尽可能地极小化.其中,理想点法的基本思想是,当决策者事先能够对每个目标  $f_i(x)$  给出一个目的值  $f_i^0$ ,使其满足  $f_i^0 \leq \min f_i(x)$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) 时,  $f^0 = (f_1^0, f_2^0, \dots, f_n^0)^T$  为理想点.平方加权和法作为理想点法的典型代表,可以尽力体现各自目标的愿望,同时保证公平性,有

$$\min F(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i [f_i(x) - f_i^0]^2$$

在基于 VANET 的单跳信息广播分发中,只要在广播信息分发过程中满足可靠性和吞吐量需求  $f^0 = (f_1^0, f_2^0)^T$  (在提出的多目标优化策略中,没有考虑单跳时延优化,因为前期研究的结论中已经表明,即使是在高负载情况下,单跳广播分发也可以满足信息实时要求.),则可认为该广播协议能够为驾乘人员提供满足需求的交通及其他信息服务.

$$E(\tau) = \frac{(1-\tau)\exp(-2\gamma R\tau)}{\gamma R\tau(N^*-1)} \cdot [1 - \exp(-\gamma R\tau \times (N^*-1))] \quad (14)$$

$$s(\tau) = \frac{2\gamma R\tau \exp(-2\gamma R\tau)T_{pt}}{\sigma \exp(-2\gamma R\tau) + (1 - \exp(-2\gamma R\tau))T_s} \quad (15)$$

利用多目标优化线性加权和基本思想,将信息广播分发可靠性与网络吞吐量优化转化为一个单目标优化函数.求解出不同网络负载下优化的节点信息广播分发概率  $\tau_{opt}^*$ ,以便在满足单跳广播服务需求的同时兼顾网络资源效率.因此,定义单跳广播多目标优化函数为

$$F(\tau) = \lambda_1 (E(\tau) - p_0)^2 + \lambda_2 (s(\tau) - s_{opt})^2 \quad (16)$$

其中,  $p_0$  表示满足信息广播分发的可靠性理想点,  $s_{opt}$  表示在当前网络负载条件下网络吞吐量的理论优化值.

### 2.2 自适应可靠单跳广播协议

要保证交通信息单跳广播分发的服务质量需求和优化网络吞吐量,每个广播节点在发送广播信息之前必须准确地获得其邻居广播节点数,然后根据广播节点数优化网络吞吐量以及可靠性需求之间的关系,利用多目标优化策略动态调节广播节点的竞争窗口值,协调邻居广播节点对信道的有序竞争.因此,本文提出的适应性可靠单跳广播协议(ARSB)由两部分组成,竞争广播信息的节点数估计协议和竞争窗口选择协议.

#### (1) 竞争广播信道的节点数估计算法

文献[6]中提出了一种简单的竞争单播信道节点估计算法.每个节点通过接收到不同节点的 RTS 帧或者 CTS 帧来估计网络中的竞争信道节点数.但是,这种算法应用于广播节点数估计存在两个问题:一是由于每个节点所处的位置差异以及广播信息节点分布的非均衡性(某些位置广播节点数较多,而相邻的区域广播节点数较

少),导致每个节点估计的需要广播的邻居节点数可能差别较大,容易造成每个节点的竞争窗口设置差别大,竞争窗口较小的节点更容易竞争到广播信道,而检测到更多节点的广播节点在设置大竞争窗口后,更不容易获得广播信道,公平性较差,影响广播协议性能;二是在广播协议中,由于没有 RTS/CTS 帧,信息广播节点需要通过接收到的广播包信息来估计广播节点数.

因此,本算法在统计每个节点估计的邻居广播节点实际数时,增加统计邻居广播节点当前采用的最大竞争窗口值,以减小不同广播节点在设置竞争窗口值时的差异.竞争广播信道的节点数估计算法如下:

步骤 1. 定义变量  $br\_n$ ,用于记录当前竞争广播信道的节点数,初始值为 0.

步骤 2. 设置“节点 ID\_竞争窗口\_定时器”表,“节点 ID”记录发送广播信息节点的标识,“竞争窗口”记录广播信息中捎带的当前信息广播节点采用的最大竞争窗口值.“定时器”的值为收到广播信息的时间加上常量  $T_0$ .

步骤 3. 节点在收到广播信息后,通过广播包获取广播信源“节点 ID”,如果有该“节点 ID”,则更新“节点 ID\_竞争窗口\_定时器”表项中的竞争窗口值,相应的定时器更新为当前时间加  $T_0$ .如果表项中没有该“节点 ID”,则增加相应的“节点 ID\_竞争窗口\_定时器”表项,并将当前竞争广播信道的节点数  $br\_n$  加 1.

步骤 4. 如果“节点 ID\_竞争窗口\_定时器”表中某项“定时器”超时,则删除该“定时器”对应的表项,并将当前竞争广播信道的节点数  $br\_n$  减 1.

## (2) 竞争窗口选择算法

当某个节点要为其邻居节点广播某种交通信息时,节点需要根据当前的“节点 ID\_竞争窗口\_定时器”的各项指标以及交通信息广播分发的服务质量需求(可靠性和时延参考值分别初始化为  $P_0$  和  $T^*$ )执行步骤如下:

步骤 1. 节点根据当前记录的竞争广播信道的节点数  $n=br\_n$ ,计算当前系统的优化竞争窗口  $W_{opt}$ ,以获得最优网络吞吐量  $S_{opt}$ .

$$W_{opt} = \left\lfloor \frac{2nk - 2}{e^{1/k}(1 - 1/nk)} \right\rfloor + 1 \quad (17)$$

$$p = 1 - (e^{-2\gamma R\tau} - e^{-2\gamma R}) / (1 - \tau) \quad (18)$$

$$S_{opt} = \frac{2\gamma R\tau_{opt} \exp(-2\gamma R\tau_{opt}) T_{pl}}{\sigma \exp(-2\gamma R\tau_{opt}) + (1 - \exp(-2\gamma R\tau_{opt})) T_s} \quad (19)$$

其中,  $k = \sqrt{T_s / (2\sigma)}$ ,  $\tau_{opt} = \frac{2(1-p)}{W_{opt} + 1 - 2p}$ .

步骤 2. 利用多目标优化加权平方和计算节点的优化传输概率  $\tau_{opt}^*$ ,即

$$F(\tau) = \lambda_1 (E(p(y)) - p_0)^2 + \lambda_2 (s(\tau) - s_{opt})^2 \quad (20)$$

$$\frac{\partial F(\tau)}{\partial \tau} = 0 \Rightarrow \tau_{opt}^* \quad (21)$$

然后利用式(1)和式(2)可得到加权优化竞争窗口  $W_{opt}^*$ .  $P^*$ 表示在优化竞争窗口条件下,信道繁忙的概率.

$$\tau_{opt}^* = \frac{2(1-p^*)}{W_{opt}^* + 1 - 2p^*} \quad (22)$$

$$p^* = 1 - (e^{-2\gamma R\tau_{opt}^*} - e^{-2\gamma R}) / (1 - \tau_{opt}^*) \quad (23)$$

步骤 3. 节点根据当前的“节点 ID\_竞争窗口\_定时器”表中的“竞争窗口”项,计算当前广播节点采用竞争窗口的平均值  $\bar{W}$ ,有

$$\bar{W} = \sum_{i=1}^n w_i / n \quad (24)$$

为了保证节点公平地接入广播信道,相邻节点之间的竞争窗口值差别较小,因此把竞争窗口值调整为

$$W_{opt}^{**} = \alpha W_{opt}^* + (1 - \alpha) \bar{W} \quad (25)$$

步骤 4. 根据  $\tau_{opt}^{**}$  和  $T^*$ ,需要获得的竞争窗口值  $W_T^*$ ,并且最终获得节点的优化竞争窗口值  $W^{***}$  为

$$E[D_b] = \frac{W_T^* + 1}{2} [\sigma \exp(-2\gamma R \tau_{opt}^{**}) + (1 - \exp(-2\gamma R \tau_{opt}^{**})) T_s] \quad (26)$$

$$W^{***} = \min(W_{opt}^{**}, W_T^*) \quad (27)$$

步骤 5. 节点在  $[0, W^{***}]$  选择退避, 获得退避竞争窗口值后, 开始退避, 最终将广播信息分发出去。

在步骤 4 中, 为满足广播分发时延要求, 选择的节点竞争窗口值过小, 因此影响信息广播的可靠性和网络吞吐量。但是后面的仿真结果表明, 尽管在高节点密度条件下, 为了满足可靠性和网络吞吐量而增大的广播时延也没有超过 80ms, 完全可以满足紧急警告信息对时延的要求, 因此步骤 4 可以省略, 有

$$W^{***} = W^{**} \quad (28)$$

### 3 自适应可靠单跳广播性能研究

我们很难看到有相关文献利用自适应竞争窗口优化机制, 在提高紧急警告信息可靠性的基础上, 网络吞吐量得到优化, 同时也满足紧急警告信息对实时性的要求, 因此本节对 ARSB 协议性能与 IEEE 802.11 协议进行比较。采用的物理层参数与文献[3]一致。为准确估计网络中的广播节点数, 在文献[6]中,  $T_0$  的经验取值为 1。基于前期研究工作中修改的 NS2<sup>[8]</sup> 相应底层代码实现对算法的支持。  $\lambda_1 = \lambda_2 = 1$ 。

#### 3.1 信息分发可靠性

本节主要分析自适应可靠单跳广播协议在信息分发过程中的成功率随网络节点密度和时隙的变化关系。图 4 和图 5 描述了时隙分别为  $50\mu s$  和  $10\mu s$  时广播信息可靠性随网络节点密度的变化关系。在两种时隙状态下, ARSB 可靠性均稳定在 0.6 左右的优化状态, 不随网络节点密度状态发生波动, 体现了该广播协议的自适应调节特征。

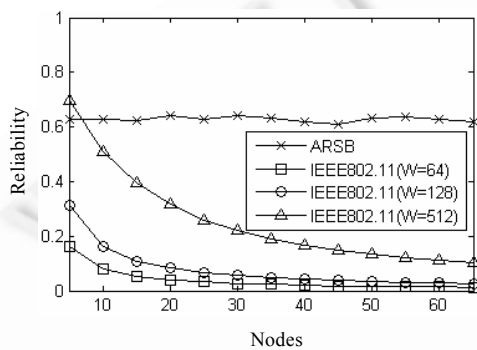


Fig.4 Reliability of ARSB ( $50\mu s$ )

图 4 ARSB 的可靠性( $50\mu s$ )

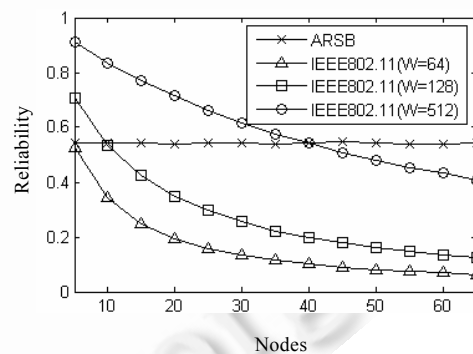


Fig.5 Reliability of ARSB ( $10\mu s$ )

图 5 ARSB 的可靠性( $10\mu s$ )

IEEE 802.11 广播协议可靠性则随着网络节点密度的增加而急剧降低, 特别是在竞争窗口值较小 ( $W=64$ )、网络节点密度较高 ( $n>40$ ) 的情况下, 广播信息接收节点由于暴露/隐藏节点的干扰, 广播信息可靠性已低于 15%, 已经很难保证节点接收到正确广播信息, 不能满足紧急交通信息在邻居节点间可靠分发的要求。

#### 3.2 网络吞吐量

图 6 和图 7 描述了时隙分别为  $50\mu s$  和  $10\mu s$  时的网络吞吐量随节点密度的变化关系。通过与 IEEE 802.11 基本广播协议的比较可以看出, 由于采用固定竞争窗口, 当网络中节点密度发生变化时, 虽然 IEEE 802.11 广播协议的网络吞吐量可能在一定的网络节点数量情况下高于 ARSB, 但是网络的吞吐量波动较大, 而 ARSB 采用自适应优化竞争窗口策略, 根据广播节点密度动态调节每个节点的传输概率, 以保证网络吞吐量稳定在一定的区域内, 优化了协议性能。

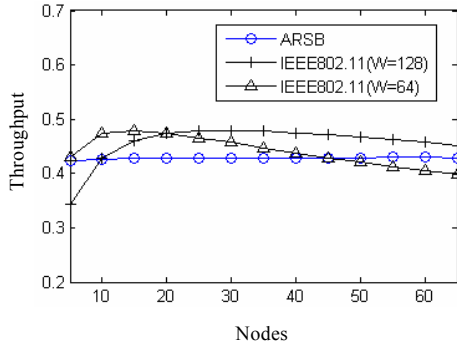


Fig.6 Throughput of ARSB (50μs)  
图 6 ARSB 吞吐量(50μs)

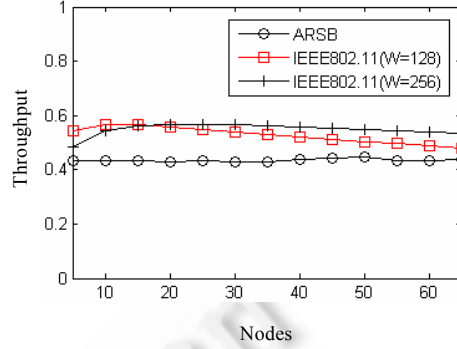


Fig.7 Throughput of ARSB (10μs)  
图 7 ARSB 吞吐量(10μs)

3.3 广播平均时延

图 8、图 9 描述了时隙分别为 10μs 和 50μs 时的广播时延随节点密度的变化关系.从图中可知,ARSB 单跳广播协议的时延性能在低节点密度情况下与 IEEE 802.11 广播时延差别很小,在高节点密度时,差距较大.但是,信息广播分发时延增加的幅度不大,这是因为在大退避窗口尺寸下,每个节点的信息广播分发概率小,信道忙的概率相应减小,导致信道空隙时间增加,单位时间内每个节点检测到的空闲时隙数大大增加,因此退避的过程更快,因此时延增加不大,保证了紧急警告信息的实时性传输要求.

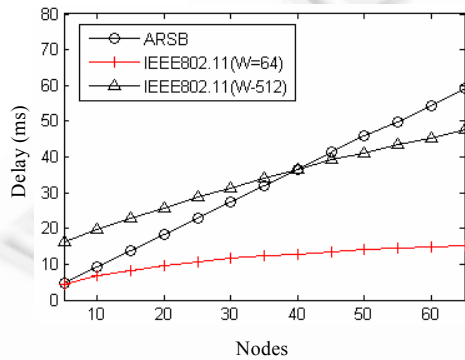


Fig.8 Delay of ARSB (10μs)  
图 8 ARSB 时延(10μs)

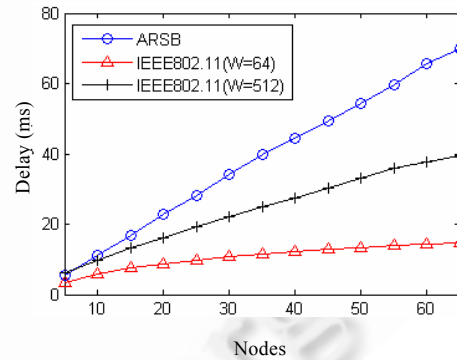


Fig.9 Delay of ARSB (50μs)  
图 9 ARSB 时延(50μs)

4 结束语

本文首先通过理论和数值分析,研究紧急警告信息和其他交通信息在单跳广播分发过程中影响信息可靠分发和网络吞吐量的相关因素,然后对优化网络吞吐量和信息可靠性的各种情况进行讨论分析,最后利用多目标优化策略提出自适应的单跳广播协议.仿真分析结果表明,在不同的网络条件下(不同的网络节点密度),该协议不仅能保证交通信息单跳广播分发的可靠性和实时性,而且能优化网络资源配置,提高网络资源效率.同时该单跳广播协议具有较强的可扩展性鲁棒性和可扩展性.

本文主要基于固定长度的广播信息包进行研究分析.在前面的可靠性分析中,时隙和广播包的长度也直接影响信息广播的可靠性和网络吞吐量,因此在采用可变长广播信息包时,该协议的可靠性和实时性以及网络吞吐量优化的影响和还需要进一步的理论和仿真研究.



**References:**

- [1] Li LJ, Liu HF, Yang ZY, Ge LJ, Huang XY. Broadcasting methods in vehicular ad hoc networks. Ruan Jian Xue Bao/Journal of Software, 2010,21(7):1620–1634 (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/3845.htm> [doi: 10.3724/SP.J.1001.2010.03845]
- [2] Sou SI, Lee YM. SCB: Store-Carry-Broadcast scheme for message dissemination in sparse VANET. In: Proc. of IEEE the 75th Vehicular Technology Conf. 2012. 1–5.
- [3] Marsh I. VANET communication: A traffic flow approach. In: Proc. of IEEE the 23rd Int'l Symp. on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC). 2012. 1043–1048.
- [4] Liu HF, Yuan ZJ, Wang, T, Li LJ. Throughput and reliability analysis of information broadcasting protocol in VANETs. In: Proc. of the Wireless Communication Networks and Mobile Computing. 2010.
- [5] Chen XB, Refai HH, Ma XM. Saturation performance of IEEE 802.11 broadcast scheme in ad hoc wireless LANs. In: Proc. of IEEE the 66th Vehicular Technology Conf. (VTC-2007). 2007. 1897–1901.
- [6] Li Y, Chen QB, Long KP, Wu SQ. Self-Adaptively adjusting the minimum contention windows to maximizing the saturated throughput of IEEE 802.11 DCF. Journal of Electronics & Information Technology, 2006,(10):1930–1934 (in Chinese with English abstract).
- [7] Chen JW, Lin KH, Zhou CL. The strength mutation evolutionary algorithm and its application in multi-object optimization. In: Proc. of 2008 the 4th Int'l Conf. on Natural Computation, Vol.1. 2008. 681–685.
- [8] Network simulator. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

**附中文参考文献:**

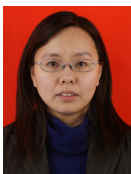
- [1] 李丽君,刘鸿飞,葛利嘉,杨祖元,黄席樾.车用自组网信息广播研究.软件学报,2010,21(7):1620–1634. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/3845.htm> [doi: 10.3724/SP.J.1001.2010.03845]
- [6] 李云,陈前斌,隆克平,吴诗其.通过自适应调整最小竞争窗口最大化 IEEE 802.11 DCF 的饱和网络负载.电子与信息学报,2006,(10):1930–1934.



刘鸿飞(1974—),男,四川泸县人,博士,副教授,主要研究领域为移动自组网,计算机网络,智能交通信息系统.  
E-mail: lhf.li@126.com



钱林杰(1970—),男,博士,教授,主要研究领域为无线通信网络,信息处理.  
E-mail: charlige@126.com



李丽君(1973—),女,讲师,主要研究领域为移动自组网,车用自组网.  
E-mail: llj.liu@cqu.edu.cn



葛利嘉(1957—),男,博士,教授,博士生导师,主要研究领域为无线通信网络,信息处理.  
E-mail: gelijiydf@126.com