

VANET 中一种安全消息拥塞控制机制

孙健, 李宏智, 郭灵波, 陈升来

(中国电子科技集团第二十八研究所, 江苏 南京 210007)

摘 要: 针对车辆无线自组织网络在车流量密度大的情况下, 周期性安全消息产生的 Beacons 可能占据整个信道带宽, 从而导致信道拥塞的问题, 提出了一种基于调整 Beacon 频率和车辆通信半径的拥塞控制机制。该机制首先为周期性安全消息和突发事件安全消息提出了一个信道分配算法, 将周期性安全消息在信道中占用的带宽资源限定在一定的门限以下, 保证有足够的信道资源传输突发事件安全消息。然后, 在保证车辆用户安全的条件下, 根据精确性要求和成功接收率, 动态地调整 Beacon 频率和车辆通信半径, 来控制信道中能够容纳的用户数, 避免信道拥塞。

关键词: 周期性安全消息; 突发事件安全消息; 拥塞控制; 信道分配

中图分类号: TP393.0

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2014)05-0134-07

Congestion control mechanism in VANET for safety messaging

SUN Jian, LI Hong-zhi, GUO Ling-bo, CHEN Sheng-lai

(The 28th Research Institute of China Electronics Group Corporation, Nanjing 210007, China)

Abstract: In vehicular ad-hoc network (VANET), periodic safety messages (beacons) may consume the entire channel bandwidth in dense traffic, resulting in a saturated/congested channel. As a solution to the problem, a congestion control mechanism based on beacon frequency and communication radius adjusting was proposed. Firstly, a basic channel resource allocation algorithm for periodic safety message (PSM) and event-driven safety message (EDSM) was proposed, which limits the beacon load level below a specific threshold and thus implicitly reserves enough bandwidth for EDSM. And then, according to the accuracy and probability of successful reception, the beacon frequency and communication radius dynamically was adjusted to control the number of vehicles in the channel, while maintaining the vehicular safety.

Key words: PSM; EDSM; congestion control; channel allocation

1 引言

研究和发 展 车 辆 无 线 自 组 织 网 络 的 主 要 目 的 之 一 就 是 安 全。为 此, 在 VANET 中 专 门 划 分 了 一 条 10 MHz 的 控 制 信 道 用 来 传 输 两 类 安 全 消 息: 周 期 性 安 全 消 息 和 突 发 事 件 安 全 消 息。

周 期 性 安 全 消 息 (PSM) 就 是 车 辆 周 期 性 地 将 自 身 的 车 辆 状 态 信 息, 包 括 位 置、行 驶 方 向、速 度、加 速 度 等, 发 送 给 周 围 的 车 辆 用 户, 同 时 不 断 地 对 接 收 到 的 其 他 车 辆 的 状 态 消 息 进 行 分 析 处 理, 以 感 知 周 围 车 辆 的 运 行 状 态, 对 道 路 上 的 潜 在 危 险 情 况 做 出 预 判。突 发 事 件 安 全 消 息 (EDSM), 指 的 是 交 通 在 运 行 过 程 中 由 于 驾 驶 员 的 疏 忽 或 者 意 外 等 因

素 导 致 产 生 的 紧 急 事 件, 具 有 突 发 性、不 确 定 性, 例 如: 紧 急 刹 车、车 辆 突 然 失 控、行 人 的 突 然 出 现 等。由 于 这 类 消 息 都 是 紧 急 消 息, 而 且 事 件 已 经 发 生, 往 往 直 接 关 系 着 车 辆 用 户 的 生 命 安 全, 因 此 对 传 输 时 延、传 输 可 靠 性 的 要 求 非 常 高。

PSM 采 用 单 跳 广 播 周 期 性 发 送 Beacon 的 方 式, 其 产 生 的 网 络 负 载 占 用 了 大 部 分 的 信 道 资 源, Beacon 的 频 率 和 信 道 内 的 车 辆 数 目 很 大 程 度 上 决 定 了 网 络 的 拥 塞 状 况。在 车 流 量 密 度 大 的 情 况 下, 容 易 导 致 网 络 拥 塞, 对 车 辆 用 户 的 安 全 产 生 威 胁。因 此 如 何 控 制 Beacon 占 用 的 网 络 负 载 是 安 全 消 息 拥 塞 控 制 的 一 个 非 常 重 要 的 研 究 方 向。

EDSM 是 突 发 消 息, 具 有 不 确 定 性, 在 信 道 的

分配上必须为可能产生的 EDMS 预留足够的资源, 保证 EDMS 能够及时地发送出去。然而现有文献未能为两类消息对信道资源的分配提出一个合理的算法。虽然文献[1]提到为 Beacon 在信道中占用的信道资源设定一个最大的负载门限(MBL, maximum beaconing load), 然而其假设将一半的信道资源设定为门限, 缺乏理论依据。因此本文首先在第 2 节从理论上进行分析和论证, 提出了一个为 PSM 和 EDMS 分配信道资源, 设定门限 MBL 的方法。

PSM 中 Beacon 的频率越高、发送周期越短, 车辆用户得到的状态信息也越精确, 然而其产生的网络负载也越大。因此现有的基于调整 Beacon 频率达到控制网络拥塞目的的文献大多数都是在精确性和网络负载之间折衷。文献[2,3]提出的自适应 Beacon 频率的前提是保证状态信息的准确性。每个车辆都有一个位置估计器, 根据上一时刻的位置信息来估计下一时刻的位置, 若自己下一时刻的实际位置与估计器估计的位置信息有很大差别, 则给周围的车辆发送 Beacon 信息, 没有则不发送。这种方法的缺点是, Beacon 信息是在状态信息发生改变后才发送的, 这种被动的方式不利于安全。还有的文献通过功率控制的方法来控制网络拥塞。文献[4]中提出了一种基于公平性的功率控制算法 FPAV, 利用了极大极小最优化原理, 在减少网络拥塞的前提下, 保证带宽被公平地分配; 该作者在文献[1]中, 提出了 D-FPAV 算法。D-FPAV 算法是基于 FPAV 功率算法的一种分布式算法, 但在功率值计算精度要求较高时, 存在计算量大、收敛速度慢等缺点。文献[5]中分析了现有的基于调整传输速率或功率控制的拥塞控制机制, 指出: 1) 仅用功率控制的方法不能满足基于 Beacon 消息的安全需要; 2) 通过检测信道利用率来调整传输速率的方法在实际应用中缺乏有效性。作者提出了一种基于调整传输速率和功率控制的拥塞控制机制, 然而该机制仅仅是一个概念化的拥塞控制机制, 并没有给出具体的控制算法。文献[6]中对不同的突发事件消息设定优先级, 通过扫描队列中的消息数来判定是否发生拥塞。作者提出了一种基于优先级的最早死亡期限算法来处理队列中具有相同优先级的消息, 然而其仅仅考虑了突发事件安全消息的拥塞控制。文献[7]中提出了一种协作的拥塞控制机制, 通过在节点间动态地分配带宽来实现消息传输的协作, 具有高优先级消息的节点才被分配带宽传输消息。对于分布

式自组织网络, 该机制实际可操作性差, 需要实时地交互彼此消息的优先级, 开销大, 带宽利用率低。文献[8]中提出利用控制信道传输安全消息, 服务信道传输非安全消息。服务信道与控制信道占用的带宽是可以动态调整的, 可用带宽根据消息的优先级在节点间动态地分配。然而该机制并没有将周期性安全消息与突发事件消息区别对待, 在车流量密度大的情况下, 降低 Beacon 频率也能满足安全需要, 可以提高带宽利用率。

本文提出的安全消息拥塞控制机制, 是在保证车辆用户安全的前提下, 根据精确性要求和成功接收率, 调整 Beacon 的频率和通信半径, 来控制信道中能够容纳的用户数和 Beacon 占用的信道资源, 从而达到控制拥塞的目的。

2 PSM 与 EDMS 信道分配算法

信道采用 TDMA 的方式, 将 1 s 划分为 10 个周期, 每个周期内两类消息在信道中的分配模型如图 1 所示, 其中, b 表示信标, e 表示突发事件安全消息。在进行信道分配时, 必须为 PSM 在信道中占用的资源设定一个最大的门限 MBL, 在保证有足够的信道资源预留给 EDMS 的同时, 提高信道利用率。

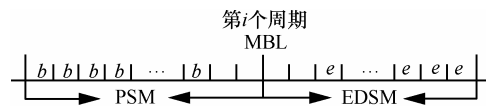


图 1 EDMS 与 PSM 信道资源分配模型

假设信道的容量为 C , 在一个周期内, 车辆数目为 N , 每辆车产生一个 Beacon, 每个 Beacon 的大小为 B , 产生的 EDMS 总数为 K , 每个 EDMS 消息的大小为 E , 则可以得到

$$BN + EK \leq \frac{C}{10} \quad (1)$$

在一个周期内, 信道中 Beacon 的总数目与通信范围内的车辆数目成正比, 其占用的信道资源随着车辆数目的增大而增大。每辆车在单位时间内产生 EDMS 的个数是随机事件, 但随着车辆数目 N 的增大, 信道中产生的 EDMS 总数 K 增大的概率也在增大。当满足式(2)时, 表示信道容量饱和, 信道中的车辆数目再增加, 将导致信道拥塞。

$$BN_{\text{MAX}} + EK_{\text{MAX}} \approx \frac{C}{10} \quad (2)$$

其中, N_{MAX} 为一个周期内信道中能够容纳的最大 Beacon 总数。 K_{MAX} 为一个周期内信道中可能产生的 EDSM 总数的最大值。此时最大的 Beacon 负载 $MBL = BN_{\text{MAX}}$ 。

假设一辆车在 t 时间段内产生 EDSM 的个数 k , 服从参数为 λ 的 Poisson 分布, 其概率密度函数为

$$p(k) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}, k = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

当 $p(k)$ 大于一定的门限 $p_{k-\text{thr}}$ 时, 认为这个事件是有可能发生的。

$$p(k) \geq p_{k-\text{thr}} \quad (4)$$

假设一个系统有 N 辆车, 在 t 时间内产生 0 个 EDSM 的车辆数目为 n_0 , 产生 1 个 EDSM 的车辆数目为 n_1 , 产生 2 个 EDSM 的车辆数目为 n_2, \dots , 产生 k 个 EDSM 的车辆数目为 n_k , 该事件发生的概率 p 满足多项式分布的概率公式。

$$\begin{aligned} p(x_0 = n_0, \dots, x_k = n_k) \\ = \frac{N!}{x_0! x_1! \dots x_k!} \cdot p_0^{n_0} p_1^{n_1} \dots p_k^{n_k}, (\sum_{i=0}^{i=k} n_i = N, \sum_{i=0}^{i=k} p_i = 1) \end{aligned} \quad (5)$$

其中, p_k 是一辆车在 t 时间内产生 k 个 EDSM 的概率, 即 $p(k)$ 。

当 $p(x_0 = n_0, \dots, x_k = n_k)$ 大于一定的门限 p_{thr} 时, 认为这个事件是有可能发生的。

$$p(x_0 = n_0, \dots, x_k = n_k) \geq p_{\text{thr}} \quad (6)$$

在 t 时间内该系统产生 EDSM 的总数 K 为

$$\begin{aligned} K = 0 \cdot n_0 + 1 \cdot n_1 + 2 \cdot n_2 + \dots + k \cdot n_k \\ = \sum_{i=0}^{i=k} i \cdot n_i, \quad (\sum_{i=0}^{i=k} n_i = N) \end{aligned} \quad (7)$$

在给定 N 、 $p_{k-\text{thr}}$ 、 p_{thr} 的条件下, 可以求出满足式(4)和式(6)的 K 的最大值 $K(N)_{\text{max}}$ 。

然后求出满足式(1)和式(2)的最大值 K_{MAX} 和信道能够容纳的最大 Beacon 数目 N_{MAX} 。

$$\begin{aligned} K_{\text{MAX}} = \text{MAX}(K(N)_{\text{max}}), N = 1, 2, 3, 4, \dots \\ \text{s.t: } BN + EK \leq \frac{C}{10} \\ BN_{\text{MAX}} + EK_{\text{MAX}} \approx \frac{C}{10} \end{aligned} \quad (8)$$

因此, Beacon 占用的最大信道资源为 $MBL = BN_{\text{MAX}}$, 为 EDSM 预留的信道资源为

$$C_{\text{EDSM}} = EK_{\text{MAX}}。$$

3 安全消息拥塞控制机制

在车流量密度低、车速快的情况下, Beacon 消息发送的频率越高, 车辆的状态信息更新越快, 车辆用户能够更加及时、精确地掌握周围的交通状况。然而在车流量密度高的情况下, 车速慢, 车辆状态变化也慢, 一个较低的 Beacon 频率也能够保证用户及时、精确地掌握周围车辆的状态信息。因此在车流量密度高的情况下, 通过减小 Beacon 的频率, 空闲的信道能够容纳新的用户, 从而避免网络拥塞。

通过调整 Beacon 频率来调整信道中容纳的用户数, 必须保证用户的安全, 即状态信息的精确性。假设一辆车在 1 s 内发送 Beacon 的频率为 f , 每个 Beacon 的成功接收率为 p_{suc} , 则 1 s 内发送的 f 个 Beacon 中, 成功接收 i 个 Beacon 的概率为

$$p_i = C_f^i p_{\text{suc}}^i (1 - p_{\text{suc}})^{f-i}$$

则至少成功接收 $n(n \leq f)$ 个 Beacon 的概率 p_{safe} 为

$$p_{\text{safe}} = 1 - \sum_{i=0}^{i=n-1} p_i = 1 - \sum_{i=0}^{i=n-1} C_f^i p_{\text{suc}}^i (1 - p_{\text{suc}})^{f-i} \quad (9)$$

其中, p_{suc} 表示车辆在广播 Beacon 消息时 Beacon 被成功接收的概率, 其大小受信道的拥塞状况、建筑物遮挡、传播距离等因素影响。 n 的大小取决于对车辆状态信息的精确性要求。在高速情况下, 车辆状态变化快, n 的要求比较大; 低速拥挤的情况下, 车速慢, 车辆状态变化慢, n 的要求比较小。 p_{safe} 作为系统安全水平的度量, 为其设定一个最低的门限 $p_{\text{safe-thre}}$, 在调整 f 、 p_{suc} 、 n 的过程中, 必须满足

$$1 - \sum_{i=0}^{i=n-1} C_f^i p_{\text{suc}}^i (1 - p_{\text{suc}})^{f-i} \geq p_{\text{safe-thre}}, n \leq f \quad (10)$$

3.1 精确性 n 的设置

对于如何定义精确性 n , 不同的文献^[9,10]有不同的定义和度量标准。本文提出一种根据车辆速度确定精确性 n 的方法。

假设一辆车在 1 s 内成功发送 n 个 Beacon 消息, 车速为 v , 在 2 个连续消息的时间间隔 $1/n$ 内, 车辆位置平均变化值为 M , 则可以得到

$$M = \frac{1}{n} v \quad (11)$$

当 $n=10$, $v=v_{10}$ 时, $M_{10} = 0.1v_{10}$, 以 $M_n = M_{10}$

为标准, 分别设置在不同车速 v 下, 对精确性 n 的要求如下。

1) 当 $v \geq v_{10}$ 时, $n = 10$ 。

2) 当 $n < 10$ 时, $M_n = M_{10}$, $\frac{1}{n}v_n = 0.1v_{10}$,

$v_n = 0.1v_{10}n$ 。

① 当 $0.9v_{10} \leq v < v_{10}$ 时, $n = 9$;

② 当 $0.8v_{10} \leq v < 0.9v_{10}$ 时, $n = 8$;

③ 当 $0.7v_{10} \leq v < 0.8v_{10}$ 时, $n = 7$;

...

⑧ 当 $0.2v_{10} \leq v < 0.3v_{10}$ 时, $n = 2$;

⑨ 当 $0 \leq v < 0.2v_{10}$ 时, $n = 1$ 。

3.2 拥塞控制机制

由于 VANET 是一个分布式自组织网络, 在缺乏中央调度的情况下, 每一个车辆用户在改变 Beacon 频率时, 要求在时域上完全重新分配时隙, 比较难以实现。因此本文的基本思想是将信道资源在 1 s 时间内划分为 10 个固定的周期, 每个时隙发送一个 Beacon, 也是现在大多数文献^[9,11,12]默认的信道划分方法。当车流量密度变高, 车辆用户检测到信道拥塞时, 在满足式(10)的前提下, 每 1 s 内空出一个或多个周期不发送 Beacon (为了尽可能保证状态信息的连续性, 避免多个周期连续地空出), 空闲的时隙可以用来传输新加入用户的 Beacon 消息。当车流量密度变低, 车速变高时, 车辆则在其他周期的空闲时隙内传输 Beacon 消息。因此, 该机制相当于调整的是 Beacon 的平均频率 f 。

在根据精确性 n 和接收率 p_{succ} 调整频率 f 时, 如果不能满足式(10), 则表示此时仅仅通过调整频率无法同时满足精确性要求和控制网络负载的目的, 则需要通过功率控制, 增大或减小通信半径 R 来控制信道中车辆数目, 然后继续通过调整频率来达到满足精确性要求和控制拥塞的目的。

假设每辆车的最大通信半径为 R_{max} , 当前通信半径为 R_{cur} , 下一时刻调整功率后的通信半径为 R_{next} , 则

$$R_{\text{next}} = R_{\text{cur}} \pm \frac{1}{a}R_{\text{max}}, 0 < R_{\text{next}} \leq R_{\text{max}} \quad (12)$$

其中, a 为常数, 决定了每次增加或减少通信半径的步长。

由式(12)可知, 车辆通信半径的最小值

$$R_{\text{min}} = \frac{1}{a}R_{\text{max}}, \text{ 则最小通信区域为 } S_{\text{min}} = \pi R_{\text{min}}^2 = \frac{\pi}{a^2}R_{\text{max}}^2,$$

假设车流量密度的最大值为 ρ_{max} , 该区域内能够容纳的最大车辆数目为 $N_{\text{max}_1} = S_{\text{min}}\rho_{\text{max}}$ 。

此时的精确性值为 n_{min} , 满足式(10)频率的最小值为 f_{min} , 则理论上系统能够容纳的最大用户数为

$$N_{\text{max}_2} = \frac{10N_{\text{MAX}}}{f_{\text{min}}}, \text{ 因此为了避免拥塞, } N_{\text{max}_1} \text{ 必须满足}$$

足

$$N_{\text{max}_1} \leq N_{\text{max}_2} \quad (13)$$

由式(13)可得

$$a \geq \left(\frac{\pi R_{\text{max}}^2 f_{\text{min}} \rho_{\text{max}}}{10N_{\text{MAX}}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

具体的调度机制如下所示。

1) 初始化 $R_{\text{cur}} = R_{\text{max}}$, $f = 10$ 。

2) 检测车流量密度和信道的拥塞状况, 若车流量密度变大, Beacon 占用的信道资源接近或大于 MBL 时, 执行步骤 3); 若车流量密度减小, Beacon 占用的信道资源有空闲时, 执行步骤 4)。

3) 根据车辆速度确定精确性 n 值, 根据当前的接收率 p_{succ} 和 n 值, 求出满足式(10)频率的最小值 f_{min} 。若 $f_{\text{min}} < f_{\text{cur}}$ (f_{cur} 为当前的频率), 则该车辆可以空出 $j = f_{\text{cur}} - f_{\text{min}}$ 个时隙; 若 $f_{\text{min}} \geq f_{\text{cur}}$, 说明该车辆不能继续减小频率, 则需要通过功率控制, 减小车辆通信半径的方法来减少信道中的用户数, 然后重新执行步骤 2)。

4) 根据车辆速度确定精确性 n 值, 根据当前的接收率 p_{succ} 和 n 值, 求出满足式(10)频率的最小值 f_{min} 。若 $f_{\text{min}} > f_{\text{cur}}$, 则可以在空闲的周期内申请 $j = f_{\text{min}} - f_{\text{cur}}$ 个时隙; 若 $f_{\text{min}} \leq f_{\text{cur}}$ 且 $R_{\text{cur}} = R_{\text{max}}$, 则说明无须改变频率 f_{cur} 和通信半径, 保持不变; 若 $f_{\text{min}} \leq f_{\text{cur}}$ 且 $R_{\text{cur}} < R_{\text{max}}$, 则执行步骤 5)。

5) 通过功率控制增大车辆的通信半径, 增加信道中的用户数, 重新执行步骤 2)。

4 仿真

4.1 仿真参数和环境

本文采用 MATLAB 仿真工具, 在 1 s 内, 将信道划分为 10 个周期, 一个周期 $t = 0.1$ s。一般情况下, 一辆车平均在 1 s 时间内产生的突发事件消息的个数小于一个, 因此设 $\lambda = 1$ 。将 $\lambda = 1$ 、 $t = 0.1$ 代

入式(3)可得

$$p(k) = \frac{0.1^k}{k!} e^{-0.1}, k = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (15)$$

其概率分布如图 2 所示。

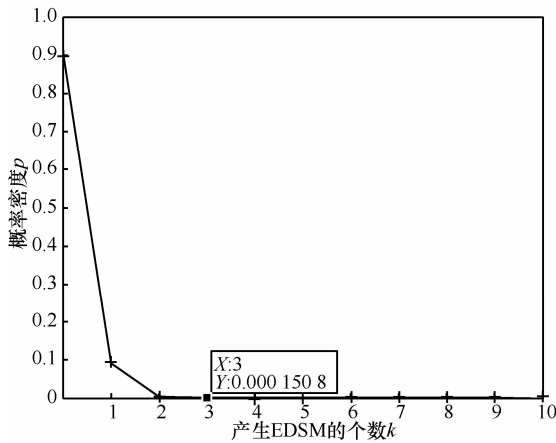


图 2 EDSM 个数 k 的概率分布

由图 2 可见，一辆车在一个周期内产生 3 个及以上 EDSM 消息的概率非常小 ($p_3 = 1.5 \times 10^{-4}$, $p_4 = 3.77 \times 10^{-6}$)，可以忽略。因此，只需要考虑 3 种情况即可，即 $x_0 = n_0$, $x_1 = n_1$, $x_2 = n_2$ ，仿真参数如表 1 所示。

表 1 仿真参数

| 参数 | 数值 |
|-----------------|-----------|
| B | 2 KB |
| D | 2 KB |
| C | 6 Mbit/s |
| p_{k-thr} | 10^{-3} |
| p_{thr} | 10^{-6} |
| t | 0.1 s |
| λ | 1 |
| p_0 | 0.904 8 |
| p_1 | 0.090 5 |
| p_2 | 0.004 7 |
| $p_{safe-thre}$ | 0.9 |
| R_{max} | 500 m |
| α | 10 |

设定每辆车的最大通信半径为 500 m，40 000 辆车随机分布在一个 10 km×1 km 长方形区域内，每辆车根据其通信范围内的车流量密度 ρ ，在相应的速度范围内随机选择一个速度值 v ，并确定精确性值 n ，随机选择一个方向运行。然后根据精确性值 n 和接收率 p_{suc} 确定 Beacon 的发送频率，同时接收信道中其他车辆发送的 Beacon 消息。每辆车每 1 s

检测一次车流量密度和信道拥塞状况，具体的拥塞控制过程如 3.2 节所述。车辆在运行过程中，可以超出该长方形区域继续运行。

设定 $n=10$ 时，速度 $v_{10} = 100$ km/h，车流量密度与速度、精确性的关系如表 2 所示。车流量密度范围与相应的速度范围设置方法如下所示。

假设在一条 10 km×10 m 的单向公路上。

1) 当车与车之间的平均距离为 200 m 时，车速可以达到 100 km/h，此时 $\rho = 500$ 辆/km²，因此设置为：当 $0 < \rho \leq 500$ 辆/km² 时， $100 \leq v \leq 150$ km/h。

2) 当车与车之间的平均距离为 180 m 时，车速可以达到 90 km/h，此时 $\rho = 555$ 辆/km²，因此设置为：当 $500 < \rho \leq 600$ 辆/km² 时， $90 \leq v < 100$ km/h。

3) 当车与车之间的平均距离为 160 m 时，车速可以达到 80 km/h，此时 $\rho = 625$ 辆/km²，因此设置为当 $600 < \rho \leq 700$ 辆/km² 时， $80 \leq v < 90$ km/h；

...

10) 当车与车之间的平均距离为 40 m 时，车速可以达到 20 km/h，此时 $\rho = 2500$ 辆/km²，因此设置为当 $2500 < \rho \leq 5000$ 辆/km² 时， $0 \leq v < 20$ km/h。

表 2 当 $v_{10} = 100$ km/h 时，车流量密度 ρ 与速度 v 、

| 精确性 n 的对应关系 | | |
|--|--------------------------------|-------|
| 车流量密度 ρ / (辆·km ⁻²) ⁻¹ | 速度 v / (km·h ⁻¹) | 精确性 n |
| $0 < \rho \leq 500$ | $100 \leq v \leq 150$ | 10 |
| $500 < \rho \leq 600$ | $90 \leq v < 100$ | 9 |
| $600 < \rho \leq 700$ | $80 \leq v < 90$ | 8 |
| $700 < \rho \leq 800$ | $70 \leq v < 80$ | 7 |
| $800 < \rho \leq 900$ | $60 \leq v < 70$ | 6 |
| $900 < \rho \leq 1000$ | $50 \leq v < 60$ | 5 |
| $1000 < \rho \leq 1300$ | $40 \leq v < 50$ | 4 |
| $1300 < \rho \leq 1700$ | $30 \leq v < 40$ | 3 |
| $1700 < \rho \leq 2500$ | $20 \leq v < 30$ | 2 |
| $2500 < \rho \leq 5000$ | $0 \leq v < 20$ | 1 |

4.2 仿真结果与分析

首先仿真的是第 2 节提出的为 PSM 设定门限 MBL 的信道分配算法。图 3 显示的是 $f = 10$ 时，一个周期内信道产生 EDSM 最大数目随车辆数目的变化趋势。由于要满足式(8)，所以信道内最大容纳的 Beacon 数目为 $N_{MAX} = 254$ ，可能产生的 EDSM 最大的个数为 $K_{MAX} = 45$ ，PSM 占用的最大信道资源为： $MBL = BN_{MAX} = 2 \times 254 = 508$ KB。

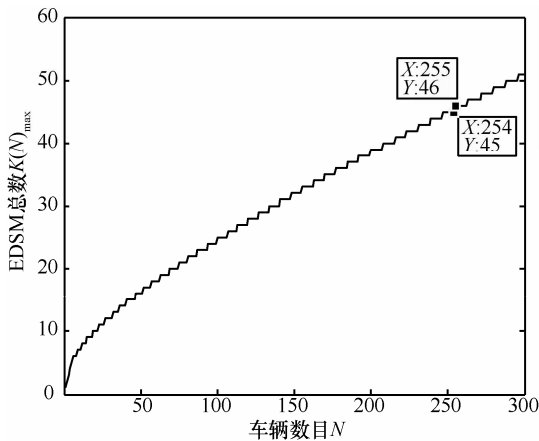


图 3 EDMSM 总数最大值随车辆数目的变化趋势

然后仿真的是基于调整 Beacon 频率和通信半径的拥塞控制算法。图 4 显示的是在不同的成功接收率 p_{suc} 下, Beacon 的最小频率 f_{min} 随精确性 n 的变化趋势。由图 4 可以看出, 精确性 n 越大, 成功接收率越低, 对频率要求越高。在成功接收率 p_{suc} 一定的情况下, f_{min} 随着精确性 n 的增大而增大。在精确性一定的情况下, 成功接收率越小, 为了满足安全需要, 对频率的要求越高。在调整频率 f 的过程中, 必须保证 $f \geq f_{min}$ 。

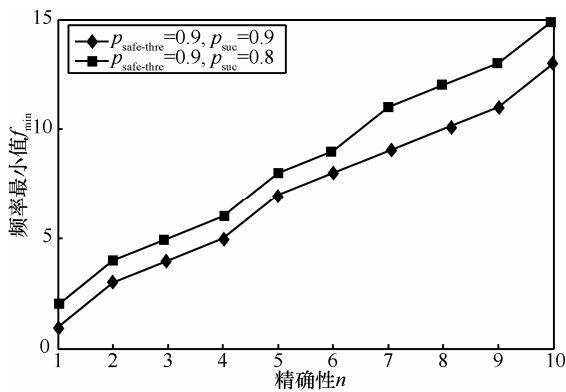


图 4 频率最小值随精确性 n 的变化趋势

图 5 显示的是在不同的成功接收率条件下, 信道中容纳的最大用户数随精确性 n 的变化趋势。由图中可以看出, 精确性 n 越大, 成功接收率 p_{suc} 越低, 信道中能够容纳的最大用户数越少。当车流量密度变高, 对精确性 n 的要求变小时, 通过减小频率, 信道中能够容纳的用户数明显增加。

图 6 仿真的是车辆在运行过程中, 通过调整 Beacon 频率和通信半径, 在不同的车流量密度下, 1 s 时间内信道产生的 Beacon 占用的信道容量。由图中可以看出, 随着车流量密度的变化, Beacon 占

用的信道容量小于为 PSM 设定的最大信道容量, 有效地避免了拥塞。

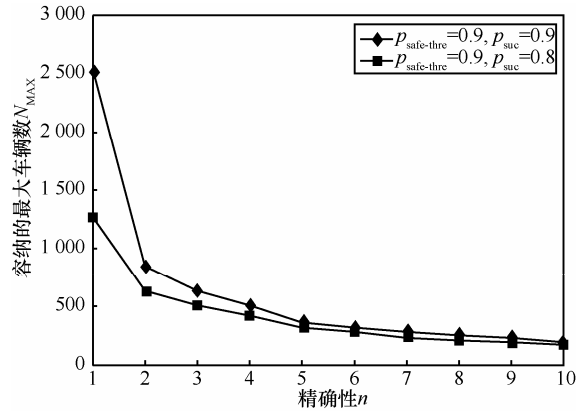


图 5 信道容纳的最大车辆数随精确性 n 的变化趋势

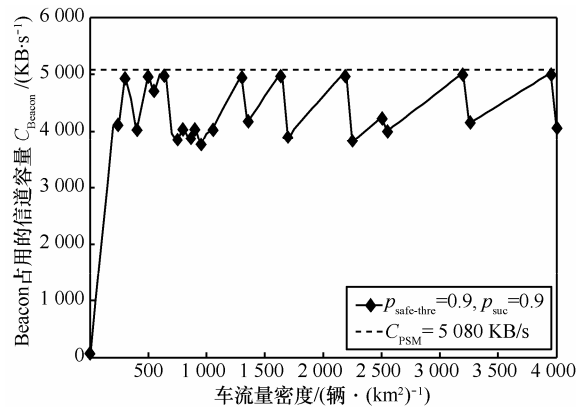


图 6 不同的车流量密度下 Beacon 占用的信道容量

最后仿真的是在相同条件下, 本文的信道分配方法与采用 1/2 信道分配方法^[1]信道容纳的最大用户数作对比。由图 7 可以看出, 采用本文的信道分配方法, 信道能够容纳的最大用户数比采用 1/2 信道分配方法多了将近 2/3, 信道利用率更高。精确性 n 越小、车流量密度越大, 信道中增加的用户数

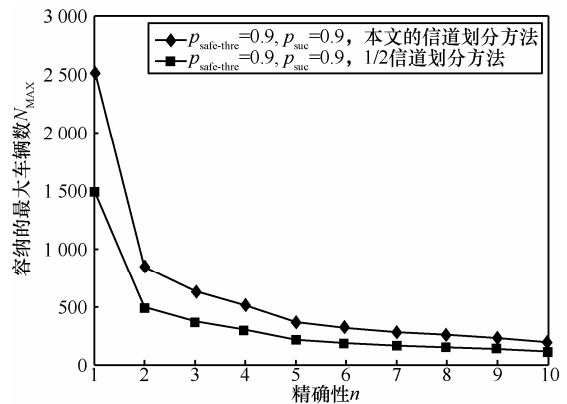


图 7 不同的信道划分方法下信道容纳的最大车辆数

越多。本文的信道分配方法在保证有足够的信道资源预留给 EDSM 的条件下,根据精确性要求和成功接收率,动态地调整 Beacon 频率和车辆通信半径,来控制信道中能够容纳的用户数,提高了信道利用率。1/2 信道分配方法由于为 EDSM 预留了过多的信道资源,一些时隙处于空闲状态,而分配给 Beacon 的信道资源变少,从而导致信道能够容纳的用户数少,信道利用率低。

5 结束语

安全消息的拥塞控制是车辆无线自组织网络中一个非常重要的研究课题。本文首先为两类安全消息提出了一个信道分配算法,仿真结果证明能够增加信道中容纳的用户数,提高信道利用率。然后在此基础上提出了一个基于调整 Beacon 频率和车辆通信半径的拥塞控制机制,能够适应车流量密度的变化,调整信道中容纳的用户数和 Beacon 占用的信道容量,从而达到满足精确性要求和避免拥塞的目的。

参考文献:

- [1] TORRENT-MORENO M, SANTI P, HARTENSTEIN H. Distributed fair transmit power adjustment for vehicular ad-hoc networks[A]. Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, SECON'06, 3rd Annual IEEE Communications Society[C]. Reston VA, USA, 2006. 479-488.
- [2] SHAHRAM R, RAJA S. Adaptive communication scheme for cooperative active safety system[J]. NewsBITS, 2008, 4: 1-12.
- [3] REZAEI S, UC B B, SENGUPTA R, et al. Reducing the communication required by DSRC-based vehicle safety systems[A]. Intelligent Transportation Systems Conference ITSC 2007, IEEE[C]. Seattle WA, USA, 2007. 361-366.
- [4] TORRENT-MORENO M, SANTI P, HANNES H. Fair sharing of bandwidth in VANETs[A]. ACM VANET'OS[C]. New York, USA, 2005. 49-58.
- [5] BILAL M M, ASIF A W, HALABI H. Efficient congestion control in VANET for safety messaging[A]. Information Technology (ITSim), 2010 International Symposium[C]. Kuala Lumpur, Malaysia, 2010. 654-659.
- [6] DARUSM Y B, BAKAR K A. Congestion control framework for disseminating safety messages in vehicular ad-hoc networks[J]. International Journal of Digital Content Technology and Its Applications, 2011, 5(2): 173-180.
- [7] BOUASSIDAM S, SHOWKY M. A cooperative congestion control approach within VANETs: formal verification and performance evaluation[A]. Hindawi Publishing Corporation, Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking[C]. New York, USA, 2010.
- [8] GHOSH T, MITRA S. Congestion control by dynamic sharing of bandwidth among vehicles in VANET[A]. 2012 12th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA)[C]. Kochi, India, 2012. 291-296.
- [9] SCHMIDT R, LEINMULLER T, SCHOCH E. Exploration of adaptive beaconing for efficient inter-vehicle safety communication[J]. IEEE Network, 2010, 24(1): 14-19.
- [10] HUANG C L, FALLAH Y P, SENGUPTA R. Adaptive inter-vehicle communication control for cooperative safety systems[J]. IEEE Network, 2010, 24(1): 6-13.
- [11] LU H S, CHRISTIAN P. Balancing broadcast reliability and transmission range in VANET[A]. Vehicular Networking Conference (VNC)[C]. Jersey City, USA, 2010. 247-254.
- [12] KAWADIA V, KUMAR P. Principles and protocols for power control in wireless ad-hoc networks[J]. IEEE J Sel Areas Commun, 2005, 23(1): 76-88.

作者简介:



孙健 (1985-), 男, 山东青岛人, 中国电子科技集团第二十八研究所工程师, 主要研究方向为车辆无线自组织网络。

李宏智 (1979-), 男, 山东安丘人, 中国电子科技集团第二十八研究所高级工程师, 主要研究方向为网络总体规划与设计、综合电子信息系统总体技术。

郭灵波 (1979-), 男, 浙江温岭人, 中国电子科技集团第二十八研究所高级工程师, 主要研究方向为网络安全。

陈升来 (1978-), 男, 浙江宁海人, 中国电子科技集团第二十八研究所高级工程师, 主要研究方向为信息处理。