

络时,首先侦听信道一帧的时长,接收其一跳邻居节点发送的运动状态信息与FI消息.节点X根据一跳邻居节点的运动状态信息,维护运动状态信息列表 $list(X) = \{(id_1, x_1, y_1, v_1, dr_1, s_1), \dots, (id_n, x_n, y_n, v_n, dr_n, s_n)\}$, 其中 id_i 、 x_i 、 y_i 、 v_i 、 dr_i 、 s_i ($i=1, 2, \dots, n$) 分别为节点X的一跳邻居节点*i*的ID、位置坐标、速度、行驶方向以及所占用的时隙号.同时,节点X根据一跳邻居节点广播的FI消息,收集其两跳邻居节点的时隙占用信息 $T_L(X)$ 、 $T_R(X)$,从而可计算出左空闲时隙集 $I_L(X) = \overline{T_L(X)} \cap S_L$ 和右空闲时隙集 $I_R(X) = \overline{T_R(X)} \cap S_R$,且分别定义 $I_L(X)$ 、 $I_R(X)$ 对应的空闲时隙数分别为 $N_L^I(X)$ 、 $N_R^I(X)$.

节点X根据自己的行驶方向 dr 选择对应的空闲时隙集 $I_L(X)$ 或 $I_R(X)$ 作为可用空闲时隙集.节点X检查 $list(X)$ 是否为空集,即节点X是否有一跳邻居节点.若 $list(X)$ 为空集,则节点X从可用空闲时隙集 $I_L(X)$ 或 $I_R(X)$ 中随机选择一个空闲时隙进行信道接入;若 $list(X)$ 不为空集,则节点X根据 $list(X)$ 计算距离自己最近的同向成功节点,计算公式如下:

$$(x'', y'') = \arg \min_{(x', y')} \left(\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2} \right) \quad (1)$$

其中, (x', y') 为节点X相同行驶方向上的一跳邻居节点的位置信息,即 $(x', y') \in list(X)$ 且 $dr' = dr$.

若节点X根据公式(1)得到多个距离相等的最近同向成功节点,即节点X位于最近同向成功节点的中间.节点X选择占用时隙号最小的最近同向成功节点作为参考节点.

3.2 逻辑区段-空闲时隙映射过程

假设节点X的参考节点为Y,则将节点Y通信区域均分为 M 个逻辑区段.当 $X \in D_L$ 时, $M = N_L^I(X)$;当 $X \in D_R$ 时, $M = N_R^I(X)$.其中逻辑区段1~ M 沿节点所在车道行驶方向连续排列,空闲时隙依照时隙号由小到大,且沿车道行驶方向排列,逐一对应于相应的逻辑区段,形成逻辑区段-空闲时隙映射表.

3.3 时隙分配过程

节点X判断自己位于参考节点的第 m 个逻辑区段,则根据逻辑区段-空闲时隙映射表选择在逻辑区段 m 对应的空闲时隙 t_m 竞争接入信道,其中 $m \in \{1, 2, 3, \dots, M\}$.节点X的一跳邻居节点在时隙 t_m 成功接收到节点X发送的数据后,将自己FI消息中时隙 t_m 标识为节点X的

ID.若节点X在接下来一帧时长内接收的所有的FI消息中时隙 t_m 均标识为节点X的ID,则表示节点X成功占用时隙 t_m .否则表示节点X未成功占用时隙 t_m ,与其他车辆节点发生信道冲突,则当下一帧到来时,节点X从对应空闲时隙子集中随机选择一个空闲时隙竞争信道.

若节点X成功占用时隙 t_m ,则在接下来的每帧中都使用该时隙,直至发生信道冲突或该节点无通讯需求时,才释放该时隙.

3.4 可用空闲时隙集扩展过程

节点X发现其可用空闲时隙集为空,即无空闲时隙可用,则节点X可将另一个行驶方向对应的空闲时隙集扩展为自己可用的空闲时隙集,并从中随机选择一个空闲时隙竞争接入信道.

图3表示了MDATS协议详细的时隙分配示意图,车辆节点A、E、F、G为成功节点且分别占用时隙7、时隙2、时隙3、时隙4.假设车辆节点B、C、D为右行驶方向上的新加入节点且同时准备接入网络.为了更加简洁明了地介绍MDATS时隙分配过程,首先以车辆节点B为例详细分析时隙占用过程.

车辆节点B根据GPS定位系统获得地理位置信息,判断自己的行驶方向为右.当车辆节点准备接入网络时,首先在信道上侦听一帧的时长,通过接收车辆节点A、E、F、G的FI消息,获知 $T_L(B) = \{2, 3, 4\}$, $T_R(B) = \{7\}$,故而能够计算出 $I_L(B) = \{1, 5\}$, $I_R(B) = \{6, 8, 9, 10\}$.由于车辆节点B其行驶方向为右,故选择空闲时隙集 $I_R(B)$ 作为可用空闲时隙集,可用空闲时隙数 $N_R^I = 4$.同时,根据公式(1)计算得知其同向最近的成功节点为车辆节点A,则将车辆节点A通信区域沿着道路方向划分为4个相等的逻辑区段,将逻辑区段与 $I_R(B)$ 的空闲时隙号进行一一映射,形成逻辑区段-空闲时隙映射表.车辆节点B判断自己位于逻辑区段1,则根据逻辑区段-空闲时隙映射表选择与逻辑区段1对应的空闲时隙6来竞争接入信道.同理,由于车辆节点C、D与车辆节点B同时接入网络,根据公式(1)计算同向最近的成功节点也是车辆节点A,故逻辑区段-空闲时隙映射表与车辆节点B的相同.车辆节点C、D判断自己的行驶方向为右,分别位于逻辑区段3与逻辑区段4,故车辆节点C选择竞争接入时隙9,车辆节点D选择竞争接入时隙10.

4 性能仿真与分析

本文利用交通流仿真软件 SUMO (Simulation of Urban Mobility)^[20]和 Matlab 工具构建 VANET 仿真环境. SUMO 是一个微观的、多模态的、空间连续的、时间离散的交通流仿真平台, 通过道路环境和车辆行驶模型的设定生成相应交通流数据. 仿真过程中, 首先

利用 SUMO 工具生成交通流数据, 将其导入 Matlab 中构建 VANET 的通信环境, 仿真 VAENT MAC 协议. 本文所选的对比对象为 DATS 协议^[19]、VeMAC 协议^[18]、ADHOC MAC 协议^[14]. 仿真参数如表 1 所示, 仿真场景示意图如图 4 所示, 本文采用 3 km×3 km 曼哈顿网格为道路拓扑形状, 双向四车道的道路场景如图 3.

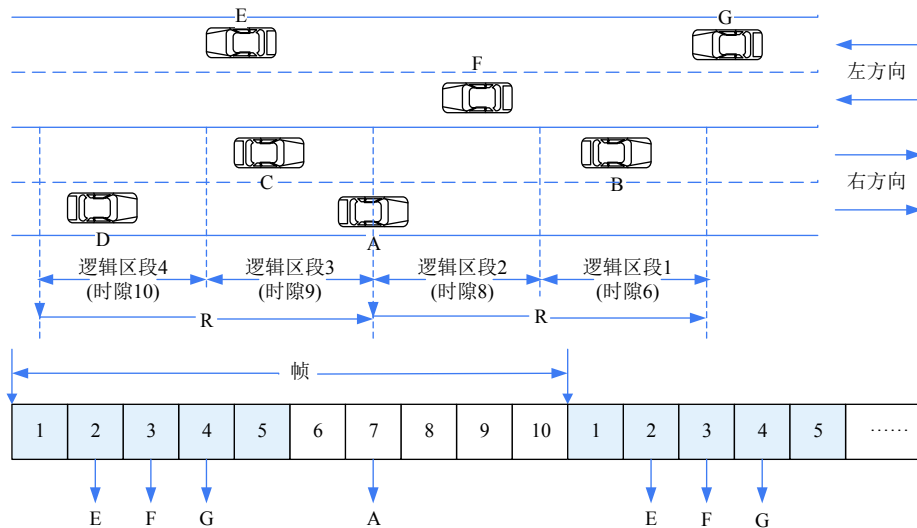


图3 MDATS 时隙分配示意图

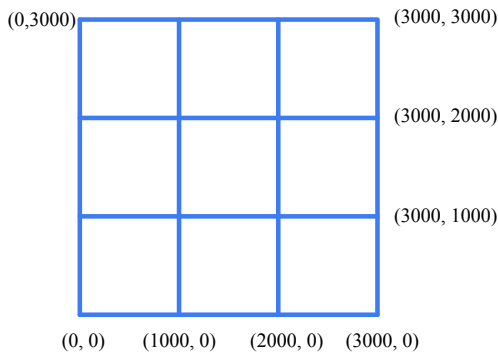


图4 仿真场景

表1 网络性能仿真参数设置

参数	数值
场景大小	3 km×3 km
道路数量	24
车道/方向	2
平均速度	12 m/s
平均加速度	3 m/s ²
车辆密度	45-75 veh/(km·lane)
通信范围	200 m
时隙长度	1 ms
仿真时间	5000 s

假设, 每帧时长为 T_{frame} , 帧数为 n , 每帧的时隙数量为 N , 新加入节点数为 K . 图 5 表示 n 帧内所有新加入节点成功获得时隙的概率. 当 $N=20, K=20$ 时, 若要保证 95% 以上的新加入节点成功获得时隙, MDATS 协议和 DATS 协议都需要 4 个帧长, 即时延 $\tau = 4 \cdot T_{frame}$; VeMAC 协议需要 5 个帧长, 时延 $\tau = 5 \cdot T_{frame}$; ADHOC MAC 协议需要 6 个帧长, 时延 $\tau = 6 \cdot T_{frame}$. 当 $N=64, K=50$ 时, 若要保证 95% 以上的新加入节点成功获得时隙, MDATS 协议和 DATS 协议都需要 3 个帧长, 即时延 $\tau = 3 \cdot T_{frame}$; VeMAC 协议需要 4 个帧长, 时延 $\tau = 4 \cdot T_{frame}$; ADHOC MAC 协议需要 4 个帧长, 时延 $\tau = 4 \cdot T_{frame}$. MDATS 协议相比于 DATS 协议, 虽然整体时延相近, 但在相同时间维度时, MDATS 协议有更多数量的节点成功获得时隙. 因为 MDATS 协议将地理位置相近且同时接入网络的新加入节点选择的空闲时隙分散化, 降低信道冲突的概率. MDATS 协议相对于 VeMAC 协议至少能减少 20% 的接入时延, 而比 ADHOC MAC 协议至少能减少 30% 的接入时延.

图6表示每个帧成功获取时隙节点的平均数目,即平均成功节点数.由图6可以看出,当 $N=100$, $K=100$ 时,MDATS协议在5帧内就能够让所有新加入节点都成功接入信道,而DATS协议需要6帧,VeMAC协议与ADHOC MAC协议则需要12帧.当 $N=100$, $K=50$ 时,MDATS协议在3帧内就能够让所有新加入节点都成功接入信道,而DATS协议需要4帧,VeMAC协议与ADHOC MAC协议则需要5帧.因此,当 $N>K$ 时,MDATS协议能够使车辆节点相比于其他三类MAC协议更加快速地接入信道,且平均成功节点数更多.当 $N=K$ 时,MDATS协议的优势就更为明显.

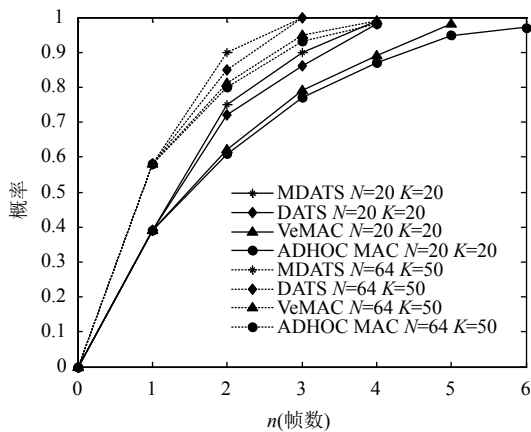


图5 n 帧内所有节点成功获得时隙的概率

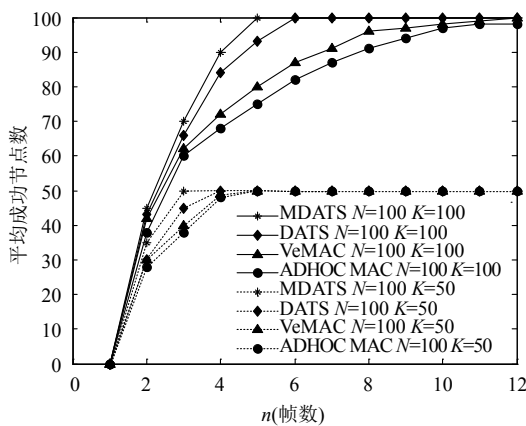


图6 平均成功节点数

图7则是比较了不同节点密度下,MDATS、DATS、VeMAC、ADHOC MAC四种MAC协议在冲突节点数上的对比.相同节点密度的场景下,MDATS协议比DATS协议降低至少40%的冲突节点数,比VeMAC协议降低至少50%的冲突节点数,比

ADHOC MAC协议降低至少60%的冲突节点数.其原因在于,MDATS协议通过借鉴空分多址的概念,将新加入节点竞争的空闲时隙在空间上分散化,降低信道冲突的概率.而DATS协议仅是将相对位置和行驶方向作为新加入节点竞争的空闲时隙的依据,竞争时隙选择范围较小,比MDATS协议更易发生信道冲突.VeMAC协议和ADHOC MAC协议则是完全随机地选择空闲时隙来竞争接入信道,信道冲突概率比DATS协议更高.

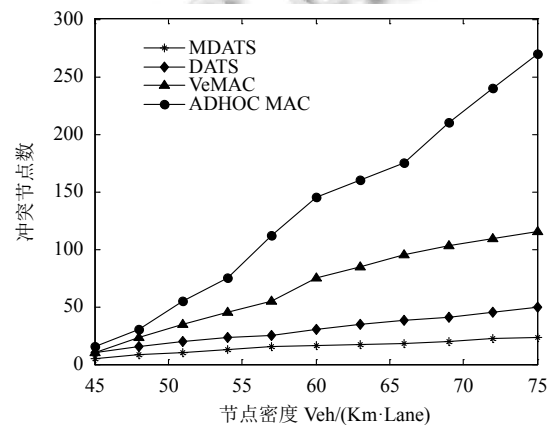


图7 冲突节点数

5 结束语

本文针对VANET环境下,为了解决DATS协议中多节点同时接入信道时的竞争冲突问题,提出改进的分布式自适应时分多址分配机制.MDATS协议借鉴空分多址的概念,新加入节点根据可用空闲时隙集的空闲时隙数将同向最近成功节点的通信区域划分为若干逻辑区域,并形成逻辑区域与空闲时隙的映射关系.新加入节点根据逻辑区域-空闲时隙映射关系,则竞争接入相应的空闲时隙.MDATS协议将位置接近且同时接入网络的新加入节点所竞争的时隙分散化,缓解信道冲突严重的情况.同时,在MDATS协议利用可用空闲时隙扩展过程代替了DATS协议复杂的左右时隙比例协商调整机制,当节点发现自己的可用空闲时隙集为空,即无空闲时隙可用时,可将对向道路空闲时隙集作为自己的扩展可用空闲时隙集使用,以提高时隙利用率.由仿真结果可得,MDATS协议中的车辆节点相比于DATS协议接入时延更小,节点能够更加快速地接入信道,信道冲突率更低;当节点密度相同时,MDATS协议相比于DATS协议降低至少40%的冲突

节点数; MDATS 协议与 VeMAC 协议、ADHOC MAC 协议相比, 网络性能提升更为显著。

参考文献

- 1 Hartenstein H, Laberteaux LP. A tutorial survey on vehicular ad hoc networks. *IEEE Communications Magazine*, 2008, 46(6): 164–171. [doi: [10.1109/MCOM.2008.4539481](https://doi.org/10.1109/MCOM.2008.4539481)]
- 2 Hafeez KA, Anpalagan A, Zhao L. Optimizing the control channel interval of the DSRC for vehicular safety applications. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2016, 65(5): 3377–3388. [doi: [10.1109/TVT.2015.2440994](https://doi.org/10.1109/TVT.2015.2440994)]
- 3 Kim Y, Lee M, Lee TJ. Coordinated multichannel MAC protocol for vehicular ad hoc networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2016, 65(8): 6508–6517. [doi: [10.1109/TVT.2015.2475165](https://doi.org/10.1109/TVT.2015.2475165)]
- 4 Cao Y, Zhang HX, Wu DL, *et al.* OGCMAC: A novel OFDM based group contention MAC for VANET control channel. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2017, 16(9): 5796–5809. [doi: [10.1109/TWC.2017.2716346](https://doi.org/10.1109/TWC.2017.2716346)]
- 5 Booyen MJ, Zeadally S, van Rooyen GJ. Survey of media access control protocols for vehicular ad hoc networks. *IET Communications*, 2011, 5(11): 1619–1631. [doi: [10.1049/iet-com.2011.0085](https://doi.org/10.1049/iet-com.2011.0085)]
- 6 Kihei B, Copeland JA, Chang YS. Design considerations for vehicle-to-vehicle IEEE 802.11p radar in collision avoidance. *Proceedings of 2015 IEEE Global Communications Conference*. San Diego, CA, USA. 2015. 1–7. [doi: [10.1109/GLOCOM.2015.7417441](https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2015.7417441)]
- 7 Donato E, Maia G, Duarte JMG, *et al.* PRsync: A method for preventing resynchronization in the IEEE 802.11p standard. *Proceedings of 2015 IEEE Symposium on Computers and Communication*. Larnaca, Cyprus. 2015. 457–462. [doi: [10.1109/ISCC.2015.7405557](https://doi.org/10.1109/ISCC.2015.7405557)]
- 8 Prakash U, Pal R, Gupta N. Performance evaluation of IEEE 802.11p by varying data rate and node density in vehicular ad hoc network. *Proceedings of 2015 IEEE Students Conference on Engineering and Systems*. Allahabad, India. 2016. 1–5. [doi: [10.1109/SCES.2015.7506457](https://doi.org/10.1109/SCES.2015.7506457)]
- 9 Qiu HJF, Ho IWH, Tse CK, *et al.* A methodology for studying 802.11p VANET broadcasting performance with practical vehicle distribution. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2015, 64(10): 4756–4769. [doi: [10.1109/TVT.2014.2367037](https://doi.org/10.1109/TVT.2014.2367037)]
- 10 Hadded M, Muhlethaler P, Laouiti A, *et al.* TDMA-based MAC protocols for vehicular ad hoc networks: A survey, qualitative analysis, and open research issues. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2015, 17(4): 2461–2492. [doi: [10.1109/COMST.2015.2440374](https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2440374)]
- 11 Wong WS. Transmission sequence design and allocation for wide-area ad hoc networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2014, 63(2): 869–878. [doi: [10.1109/TVT.2013.2280996](https://doi.org/10.1109/TVT.2013.2280996)]
- 12 Hadded M, Muhlethaler P, Laouiti A, *et al.* A centralized TDMA based scheduling algorithm for real-time communications in vehicular Ad Hoc networks. *Proceedings of the 24th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks*. Split, Croatia. 2016. 1–6. [doi: [10.1109/SOFTCOM.2016.7772105](https://doi.org/10.1109/SOFTCOM.2016.7772105)]
- 13 Jiang XX, Du DHC. PTMAC: A prediction-based TDMA MAC protocol for reducing packet collisions in VANET. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2016, 65(11): 9209–9223. [doi: [10.1109/TVT.2016.2519442](https://doi.org/10.1109/TVT.2016.2519442)]
- 14 Borgonovo F, Capone A, Cesana M, *et al.* ADHOC MAC: New MAC architecture for ad hoc networks providing efficient and reliable point-to-point and broadcast services. *Wireless Networks*, 2004, 10(4): 359–366. [doi: [10.1023/B:WINE.0000028540.96160.8a](https://doi.org/10.1023/B:WINE.0000028540.96160.8a)]
- 15 Borgonovo F, Capone A, Cesana M, *et al.* RR-ALOHA, a reliable R-ALOHA broadcast channel for Ad-Hoc inter-vehicle communication networks. *Proceedings of the 1st Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop*. Sardegna, Italy. 2002. 1–5
- 16 Liu J, Ren FY, Miao LM, *et al.* A-ADHOC: An adaptive real-time distributed MAC protocol for vehicular Ad Hoc networks. *Mobile Networks and Applications*, 2011, 16(5): 576–585. [doi: [10.1007/s11036-010-0246-6](https://doi.org/10.1007/s11036-010-0246-6)]
- 17 Bharati S, Zhuang WH. CAH-MAC: Cooperative ADHOC MAC for vehicular networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2013, 31(9): 470–479. [doi: [10.1109/JSAC.2013.SUP.0513042](https://doi.org/10.1109/JSAC.2013.SUP.0513042)]
- 18 Omar HA, Zhuang WH, Li L. VeMAC: A TDMA-based MAC protocol for reliable broadcast in VANETs. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2013, 12(9): 1724–1736. [doi: [10.1109/TMC.2012.142](https://doi.org/10.1109/TMC.2012.142)]
- 19 Wang K, Yang WD, Li P, *et al.* A decentralized adaptive TDMA scheduling strategy for VANET. *Proceedings of 2013 IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops*. Shanghai, China. 2013. 216–221. [doi: [10.1109/WCNCW.2013.6533343](https://doi.org/10.1109/WCNCW.2013.6533343)]
- 20 Krajzewicz D, Erdmann J, Behrisch M, *et al.* Recent development and applications of SUMO-simulation of urban mobility. *International Journal on Advances in Systems and Measurements*, 2012, 5(3–4): 128–138.