

高速移动场景下车联网低时延的数据传输方案设计

张勇, 张静*, 苏颖

(上海师范大学 信息与机电工程学院, 上海 200234)

摘要: 设计了自动驾驶车辆在高速移动场景下车联网的低时延数据传输方案. 采用多径开环的数据传输方式, 依靠功能强大的雾节点服务器, 将宏节点与微节点组合接入点群, 对用户的请求资源做出分配及调度. 仿真实验表明, 该方案数据传输的误码率略高于传统的长期演进(LTE)车联网方案的误码率, 但时延可以降到1 ms以内.

关键词: 高速移动场景车联网; 开环通信; 雾节点服务器

中图分类号: TN 929.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5137(2019)01-0033-05

Design of low-latency data transmission scheme for vehicle network under high speed mobile scenario

ZHANG Yong, ZHANG Jing*, SU Ying

(College of Information, Mechanical and Electrical Engineering, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China)

Abstract: In this paper, a low-latency data transmission scheme for autonomous vehicles in high-speed mobile scenarios was designed. In this proposed scheme the macro-nodes and micro-nodes were combined to form an access group dependent on a powerful fog node server so as to implement allocation and schedule of user-requested resources. The simulating experiment demonstrated that the delay of the present scheme was reduced to less than 1 ms compared to the traditional long term evolution (LTE) scheme while the data transmission error rate was slightly higher.

Key words: high-speed mobile vehicle network; open-loop communication; fog node server

0 引言

车联网融合了物联网、智能交通、车载信息服务和云计算等技术, 其加强了汽车对周围环境的感知判断, 避免交通的堵塞和碰撞, 已成为当前国内外企业研究的热点. 传统的长期演进(LTE)通信系统允许的最大传输时延为100 ms, 而车联网需要对实时数据进行处理, 要将时延控制在1 ms以内^[1].

收稿日期: 2018-10-14

作者简介: 张勇(1992—)男, 硕士研究生, 主要从事5G超低时延高可靠场景方面的研究. E-mail: 1520409995@qq.com

*通信作者: 张静(1971—), 女, 博士, 副教授, 主要从事移动通信信号处理方面的研究. E-mail: jannety@shnu.edu.cn

引用格式: 张勇, 张静, 苏颖. 高速移动场景下车联网低时延的数据传输方案设计[J]. 上海师范大学学报(自然科学版), 2019, 48(1): 33-37.

Citation format: ZHANG Y, ZHANG J, SU Y. Design of low-latency data transmission scheme for vehicle network under high speed mobile scenario [J]. Journal of Shanghai Normal University (Natural Sciences), 2019, 48(1): 33-37.

车联网的网络接入方案通常基于 LTE 设备间(D2D)通信网络. D2D 通信可在蜂窝系统的控制下,允许终端用户通过共享小区资源在一定范围内直接进行通信,它的数据流量不经过基站和核心网,因而可减小通信时延,减轻基站压力,缓解核心网负载,提高频谱利用率和系统吞吐量^[2-3]. 基于 LTE 的 D2D 通信系统可为混合智能交通的车联网系统排除故障^[4],还可根据高速行驶车辆中的地理位置信息,通过信道复用和功率控制,最大化系统总速率^[5]. 在分布式 D2D 通信架构中,对车辆进行分簇,使不同车辆之间形成多个动态簇,可有效减少车联网的通信时延^[6].

本文作者为自动驾驶车辆在高速移动场景下的车联网系统,提出了一套新的数据传输方案,将分布式雾结点服务器中的宏结点与微结点相结合,实现资源调度. 通过仿真实验,验证了方案的有效性.

1 高速移动场景下的低时延数据传输方案设计

高速移动场景下,车联网通信低时延的数据传输方案如图 1 所示. 图 1 中,由接入点与宏结点完成对自动驾驶车辆的通信,并以接入点代替 D2D 通信,有效提高边缘用户接入的稳定性. 每个宏结点管理范围内的接入点群,每个接入点群由 n 个接入点组成.

该方案采用开环无线通信,车辆终端采用路径分集接收方式,保证接收信号的完整性. 每个接入点群可控制的资源调度范围有限,并且每个接入点能够自行对可控范围内的自动驾驶车辆进行资源调度,若车辆在每个接入点群都能够完成数据的收发,不进行切换,则接入点群就可实现自动驾驶车辆低时延高可靠的数据传输.

LTE 车联网通信的总数据传输时延 D 计算方法如下:

$$D = d_{\text{sen}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{re}} + d_{\text{inform}}, \quad (1)$$

其中, d_{sen} 表示自动驾驶车辆上的传感器响应时延, d_{trans} 表示数据信息在无线信道中的传输时延, d_{re} 表示数据传输时请求等待时延, d_{inform} 表示数据信息在接收端的处理时延.

在 LTE 闭环通信系统中, d_{re} 大多为数据重传反馈信息的等待时延,还包括处理重传数据的控制指令与数据信息的时延. 而在开环通信系统中, $d_{\text{re}} = 0$, D 大幅降低,数据传输的可靠性可通过分布式接入点的路径分集加以改善.

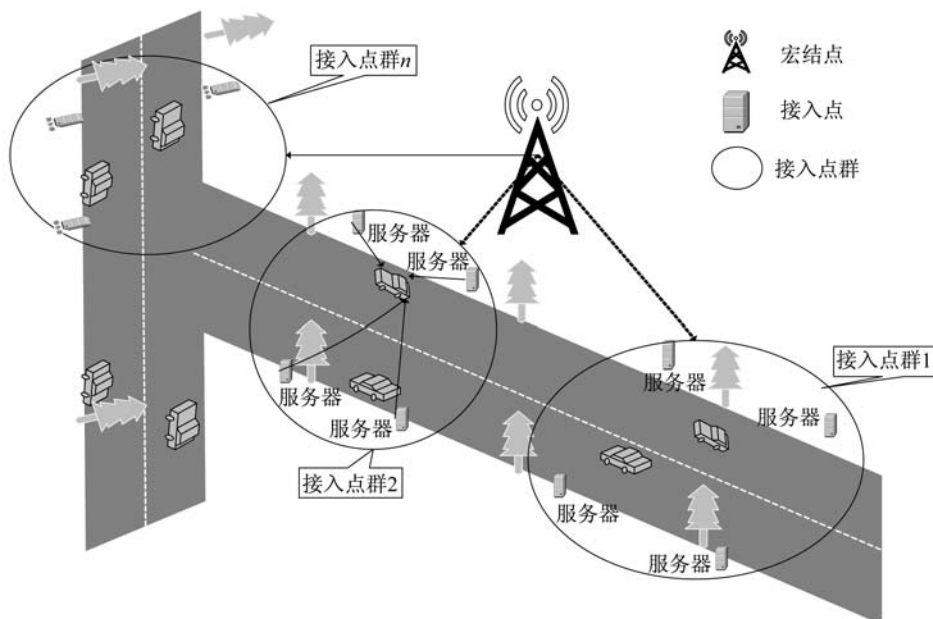


图 1 高速移动场景下的数据传输方案场景图

在该方案中,宏结点为 LTE 宏基站,通信范围能够覆盖几十公里,处理在覆盖范围内的接入点群的

业务数据以及超出接入点群调度能力范围的车辆终端请求资源数据. 接入点是一种雾节点接入服务器, 具有本地缓存、邻近终端、计算存储功能强大等特点. 宏结点与接入点群采用松耦合的资源调度方式, 从而在空间上解决车辆穿越不同接入点群时的快速切换问题.

2 基于多径分集的开环通信方式

在高速移动场景下, 小范围的接入点群内的数据传输对象为网页、自动驾驶车辆的环境感知等数据资源较小的业务, 而宏结点数据传输对象为视频、游戏等数据资源较大的业务, 仍然要求可靠的数据传输. 为满足用户实时的业务需求, 同时由于自动驾驶车辆对环境的敏感程度高, 故在接入点群范围内采取路径分集的开环通信方式.

设在高速移动场景下 n 个接入点服从泊松分布, 则经由第 j 条信道不中断地传输数据的概率 P_j 可以表示为:

$$P_j \triangleq P(S_j \geq \theta), \quad (2)$$

其中, S_j 为信道 j 的信噪比, θ 为信道信噪比阈值, S_j 可进一步变换为:

$$S_j = \frac{P_0 G_j R^{-\alpha}}{I_j}, \quad (3)$$

其中, P_0 为发送功率, G_j 为第 j 条信道满足指数分布的信道衰落系数, R 表示接入点与车辆终端距离, α 表示路径损耗系数, I_j 代表第 j 条信道的总干扰强度.

P_j 可进一步表示为 R 的函数^[7],

$$\begin{aligned} P_j(d) &= E_{I_j} \left[P \left(G_j \geq \frac{\theta I_j}{P_0 R^{-\alpha}} \right) \right] \\ &= \exp \left[- \frac{\lambda_M \theta^{\frac{2}{\alpha}} R^2}{j} \frac{2\pi^2}{\alpha \sin \left(\frac{2\pi}{\alpha} \right)} \right], \end{aligned} \quad (4)$$

其中, λ_M 表示高速移动场景中车辆的密度.

在接入点群的通信范围内, 车辆终端的位置活动区域是已知的, 根据该区域可以得到雾节点服务器接入点的位置范围, 从而可以设计接入点的位置.

由于在资源调度时, 绝大多数调度算法(如轮询、比例公平等)的数据存储结构都满足先进先出的队列数据结构, 假设一个用户的数据传输队列为 $U(t)$, 则接入点群中的接入点个数 $n(t)$ 计算方法如下:

$$n(t) = \begin{cases} 1, & \left\lceil \frac{\ln \frac{V}{2U(t)p}}{\ln(1-p)} \right\rceil < 1 \\ \left\lceil \frac{\ln \frac{V}{2U(t)p}}{\ln(1-p)} \right\rceil, & 1 \leq \left\lceil \frac{\ln \frac{V}{2U(t)p}}{\ln(1-p)} \right\rceil \leq N(t), \\ N(t), & \left\lceil \frac{\ln \frac{V}{2U(t)p}}{\ln(1-p)} \right\rceil > N(t) \end{cases} \quad (5)$$

其中, $\lceil \cdot \rceil$ 表示向上取整, V 是大于 0 的权值参数, 该参数用以衡量接入点的利用程度, $N(t)$ 表示最大的接入点个数, t 表示数据传输的时间, p 表示数据非中断传输的概率.

用户数据传输队列 $U(t)$ 的容量上限满足:

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T E[U(t)] \leq \frac{B_{\max} + V\lambda_{\text{ap}}\pi R^2 P_{\text{av}}}{2\varepsilon}, \quad (6)$$

其中, λ_{ap} 表示接入点的分布密度, P_{av} 表示车辆终端可接收到接入点所发送数据的平均概率, T 是数据传输时间 t 的上限, V 是 Lyapunov 稳定性理论下接入点群中接入点个数的权值参数, $B_{\max} = E[u_{\max}^2(t) + a^2(t)]$, B_{\max} 表示 $a(t)$ 和 $u_{\max}(t)$ 平方的期望, $a(t)$ 表示接收端成功接收到的数据分组个数, $u_{\max}(t)$ 表示最大的平均服务速率, $\varepsilon > 0$ 是一个 $U(t)$ 的影响因子, 并且 $E[u(t)] - E[a(t)] > \varepsilon$.

从式(5)和(6)可以看出, $n(t)$ 与 $a(t)$ 之间存在动态的平衡, 该平衡点主要受 V 的影响. 当 V 减小时, $a(t)$ 会变小, 但是 $n(t)$ 会增加; 若 V 增大, 则 $a(t)$ 会变大, 而 $n(t)$ 会减小.

3 实验仿真与分析

本研究仿真参数和通信方式如表 1 所示.

表 1 仿真参数和通信方式

参数	数值	通信方式	具体实现方式
速度范围	25 ~ 80 km · h ⁻¹	路径分集方式	最大比值合并
载波频率	2.5 GHz	信道模型	扩展典型城市信道
系统带宽	20 MHz	复用模式	频分双工
每个时隙长度	1 ms	调制方式	正交振幅调制

图 2 为作者所提数据传输方案与传统基于 LTE 系统的车联网方案在不同车速下成功接收数据包的概率对比. 从图 2 可以看到, 传统 LTE 车联网方案中, 当阈值时延为 40 ms 时, 由于 LTE 系统采用闭环通信的重传机制, 导致成功接收数据包的概率大幅下降. 而作者所提数据传输方案由于采用多径开环的通信方式, 摒弃了反馈消息及重传消息的等待时间, 使得在阈值时延为 1 ms 时, 方案依旧保持了良好的成功接收数据包的概率, 通信时延达到了超低时延高可靠场景的要求.

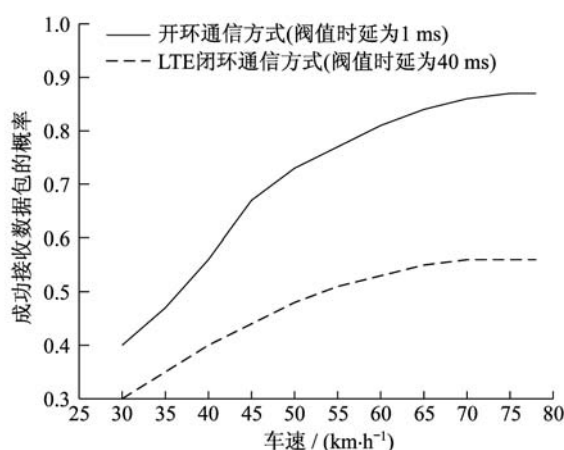


图 2 所提数据传输方案与传统基于 LTE 系统的车联网方案数据包成功接收的概率对比情况

图 3 表示了作者所提数据传输方案与传统基于 LTE 系统的车联网方案在 64QAM 调制方式下, 接收端数据的误码率 B_r 的对数. 从图 3 中可以看到, 作者所提数据传输方案的 B_r 略高于 LTE 系统, 但由于其在采用开环通信方式的同时, 小范围内进行路径分集, 使得数据传输的安全可靠性得以改善.

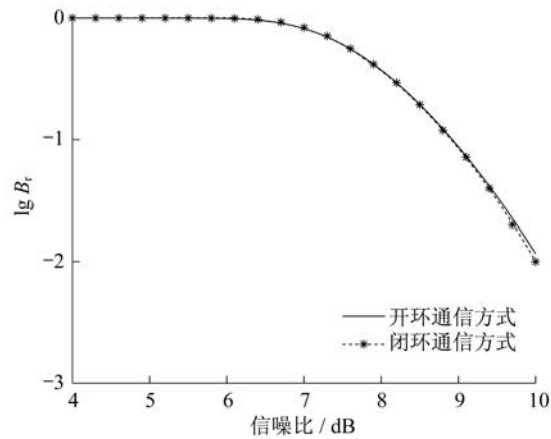


图3 作者所提数据传输方案与传统基于LTE系统的车联网方案的 B_s 对比情况

4 结论

本文作者针对高速移动场景下的车联网提出了一种低时延的数据传输方案. 采取宏结点与雾结点相结合的数据传输方式,可有效地解决由于信道的快速时变所导致的小区不稳定切换问题. 采用多径分集的开环通信方式,以较小的数据传输可靠性代价换得网络传输时延的大幅降低,雾结点服务器作为微结点可使移动网边缘接入不稳定的问题得到一定改善.

参考文献:

- [1] FETTWEIS G P. The tactile internet: applications and challenges [J]. IEEE Vehicular Technology Magazine, 2014, 9(1):64-70.
- [2] LIU J, KATO N, MA J, et al. Device-to-device communication in LTE-advanced networks: a survey [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2014, 17(4):1923-1940.
- [3] SEPPÄLÄ J, CHEN T, KOSKELA T, et al. Network controlled device-to-device (D2D) and cluster multicast concept for LTE and LTE-A networks [C]//2011 IEEE Wireless Communications and Networking Conference. Cancun; IEEE, 2011: 986-991.
- [4] ABD-ELRAHMAN E, SAID A M, TOUKABRI T, et al. Assisting V2V failure recovery using device-to-device communications [C]//Wireless Days. Rio de Janeiro; IEEE, 2014:1-3.
- [5] REN Y, LIU F, LIU Z, et al. Power control in D2D-based vehicular communication networks [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2015, 64(12):5547-5562.
- [6] SUN W L, YUAN D, ERIK G, et al. Cluster-based radio resource management for D2D-supported safety-critical V2X communications [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2016, 15(4):2756-2769.
- [7] HAENGGI M, ANDREWS J, BACCELLI F, et al. Stochastic geometry and random graphs for the analysis and design of wireless networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2009, 27(7):1029-1046.

(责任编辑:郁慧,包震宇)