



基于 SRS 优先级划分及时移传输机制的 SL 空口同步方案

周晓勇, 申滨, 徐浪, 黄晓舸

(重庆邮电大学通信与信息工程学院移动通信重庆市重点实验室, 重庆 400065)

摘要: 在 LTE-V2X (long term evolution-vehicle to everything) 系统中, 存在部分车载用户无法获取基站的同步参考信号 (synchronization reference signal, SRS), 从而无法与网络进行通信的问题。为解决这一问题, 提出一种副链路 (sidelink, SL) 空口同步方案。车载用户根据 SRS 优先级划分机制选择最优的 SRS, 同时可获取该 SRS 的优先级以及确定自身发送 SRS 的优先级; 并设计 SRS 时移传输机制使得不同优先级 SRS 在不同时帧上传输来区分优先级, 与此同时还可有效抑制同频干扰。仿真结果显示, 该方案在同步源优先级为 4 个等级时, 同步定时误差均满足车载用户的同步需求。本文所提方案不仅扩大了空口同步范围, 还可以有效抑制车载用户之间的同频干扰, 可作为 LTE-V2X 系统实现有效可行的空口同步方案之一。

关键词: LTE-V2X 系统; SRS; SL; 优先级; 时移传输机制

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2018289

SRS prioritization and time-shift transmit mechanism based sidelink radio interface synchronization scheme

ZHOU Xiaoyong, SHEN Bin, XU Lang, HUANG Xiaoge

Chongqing Key Laboratory of Mobile Communications, School of Communication and Information Engineering, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China

Abstract: For LTE-V2X system, acquiring the synchronization reference signal (SRS) is indispensable for vehicles to establish service connections in the network. However, there are some vehicles may not obtain the SRS and consequently fail to be synchronized with the network. In order to solve this problem, a sidelink (SL) radio interface synchronization scheme was proposed. Vehicles select an optimal SPS according to SRS priority division mechanism. The SRS are given different priorities, where the priorities of different synchronization sources can be distinguished in a time-shift based SRS transmit mechanism and meanwhile the interference among the SRS of different sources can be effectively suppressed. Simulation results illustrate that even when the synchronization source is assigned a priority of four, the synchronization error can still be satisfied the requirement. Compared with the conventional synchronization schemes, the proposed scheme supports an expanded synchronization range aided by synchronization over the SL and achieves mitigation of SRS interference with the time-shift based SRS transmit mechanism. The proposed scheme can serve as an efficacious and feasible solution for the LTE-V2X system.

Key words: LTE-V2X system, SRS, SL, prioritization, time-shift transmit mechanism



1 引言

车联网是 5G 的重要场景之一, V2X 通信系统旨在提高智能交通系统的安全性和高效性^[1]。借助于蜂窝系统中的 LTE 技术, LTE-V2X 的出现可以改善车与车 (vehicle to vehicle, V2V)、车与路旁基础设施 (vehicle to infrastructure, V2I) 以及车与路旁行人或者骑车人携带的终端 (vehicle to pedestrian, V2P) 之间的通信性能^[2]。LTE-V2X 作为面向车路协同的通信综合解决方案, 能够在高速移动环境中提供低时延、高可靠性、高速率、安全的通信能力, 满足车联网多种应用的需求^[3]。3GPP (3rd Generation Partnership Project) 根据道路安全类、非安全类以及自动驾驶类定义了 27 个关于 LTE-V2X 研究课题的用例^[4], 如紧急车辆警告、电子收费、自动超车及高密度排队服务等。其中, 安全类和自动驾驶类用例对消息的实时性和可靠性方面有很高的需求^[5]。若车载用户无法实现与网络同步, 则无法同网络进行通信, 从而无法满足车载用户通信过程中消息实时性的性能需求。

从信号同步的角度看, 当前 LTE-V2X 系统中存在以下两种场景: 一是车载用户处于网络覆盖范围内, 但由于建筑等障碍物的遮挡/阻挡导致 DL (downlink) 信号严重衰落, 使得车载用户无法获取到良好的 DL 同步参考信号, 不具备与网络同步的条件, 从而无法实现与网络通信。典型场景有室内停车场、高楼密集住宅区的地下车库、高密度楼宇间的道路上等。二是车载用户处于网络覆盖范围之外的场景, 此时车载用户无法获取 DL 信号, 从而造成车载用户无法与网络实现通信。典型场景为无信号覆盖的公路隧道, 此时车载用户将被迫与网络断开连接。针对 LTE-V2X 系统的空口同步, 参考文献[6]采用时频资源结合同步信标的同步机制, 对不同车载用户采用不同的标识, 但该机制的同步范围只能满足部分网络

覆盖范围之外车载用户的同步需求, 且利用不同类型同步源的车载用户之间不能建立同步; 参考文献[7]提出 SL 分布式同步方案, 但该方案在同步过程中需要由网络指示进行分布式同步, 增加了同步时延。

在 LTE-V2X 系统中, 车载用户可以同时支持多种类型 (单播或广播) 的链接方式, 除了传统的上/下行链接, 还增加了 SL 以支持基于 PC5 接口的 V2V 直接通信^[8]。因此, 车载用户不仅可以通过 DL 从基站获取同步参考信号, 还可以通过 SL 从周围其他车载用户获取同步参考信号, 从而间接地与基站同步。LTE 系统中小基站空口同步基本原理是小基站周期性监听参考基站的同步信号, 并通过随机接入请求测量传播延迟, 实现与参考基站的时频同步^[9-10]。因此本文选择空口同步为本文所述场景下的解决方案。基于车载用户也可作为同步源通过 SL 传输同步参考信号的特性, 提出一种基于 SRS 优先级划分及时移传输机制的 SL 空口同步方案, 车载用户可通过 DL/SL 获取同步参考信号, 使得处于本文所述场景下的车载用户能直接或间接地与基站同步, 进而与网络进行通信。

2 SL 中的同步信号

3GPP R12 中引入了 LTE 的接近服务 (proximity service, Pro Se) 技术。Pro Se 能够在不依赖基站进行协调的情况下, 直接发现并通过 SL 与附近用户进行直接通信, 其中 SL 在时域上周期性地通信^[11]。V2X 系统通过 PC5 接口支持 V2X SL 通信, 使得车载用户之间可以直接通信^[12]。SL 的帧结构与 LTE TDD 模式下的帧结构类似^[13-14], 如图 1、图 2 所示。一个 SL 无线帧长度为 10 ms, 由 10 个数据传输和调度单位 (1TTI=1 ms) 的子帧组成, 每个子帧包含 2 个长度为 0.5 ms 的 SL 时隙。并且 SL 的同步参考信号分为主同步信号 (primary sidelink synchronization

signal, PSSS) 和辅同步信号 (secondary sidelink synchronization signal, SSSS)。在常规循环前缀 (cyclic prefix, CP) 下, 每个子帧中包含 14 个单载波频分多址 (single-carrier frequency division multiple access, SC-FDMA) 符号, PSSS 和 SSSS 各自在子帧中占两个 SC-FDMA 符号, 分别位于该子帧第 1 时隙的第 3、第 4 和第 2 时隙的第 5、第 6 个 SC-FDMA 符号位置上。但是, LTE 的物理小区 ID 取值范围是 0~503, 分为 3 组, 每组 168 个, 而 SL 的物理 ID 取值范围是 0~355, 只分为 2 组^[15]。

3 系统模型

在 LTE-V2X 系统中, 基站和车载用户都以相同周期发送 SRS。其中, 车载用户需要周期性检测基站或其他车载用户发送的 SRS 来获取同步。令需要进行同步的车载用户为目标车载用户, 该车载用户所获取的 SRS 来源称为同步源 (基站或者其他车载用户)。目标车载用户 b 在第 k 个同步周期所接收到的信号为^[16]:

$$y_{b,k} = \sqrt{P_{b^*}} h_{b,b^*} s_{b^*} + \sum_{j \in S/(b,b^*)} \sqrt{P_j} h_{b,j} s_j + n_b \quad (1)$$

其中, b^* 表示同步源, j 表示除去同步源 b^* 的其他基站或车载用户, h_{b,b^*} 表示 b 到 b^* 的信道系数, $h_{b,j}$ 表示 b 到 j 的信道系数, s_{b^*} 表示 b^* 发送的 SRS 符号, s_j 表示 j 发送的 SRS 符号, 且 $E\{|S_j|^2\} = 1$, $j \in S$; P_b 与 P_j 分别为 b^* 与 j 的发送功率, S 表示网络中基站与车载用户的集合, $S/(b,b^*)$ 表示将集合 S 中的元素 b 和 b^* 删除, n_b 是 b 对应的加性白高斯噪声。

目标车载用户 b 在第 k 个同步周期内接收信号的信干噪比 (signal to interference plus noise ratio, SINR) 为:

$$\text{SINR}_b^k = \frac{P_{b^*} G_{b^*}^k}{\sum_{j \in S/(b,b^*)} P_j G_j^k + N_0 B_s} \quad (2)$$

其中, $G_{b^*}^k$ 表示 b^* 与 b 之间的信道功率增益, G_j^k 表示 j 与 b 之间的信道功率增益, B_s 为车载用户的带宽, N_0 为高斯白噪声单边功率谱密度。

SRS 的检测与下行同步信号检测类似。假设

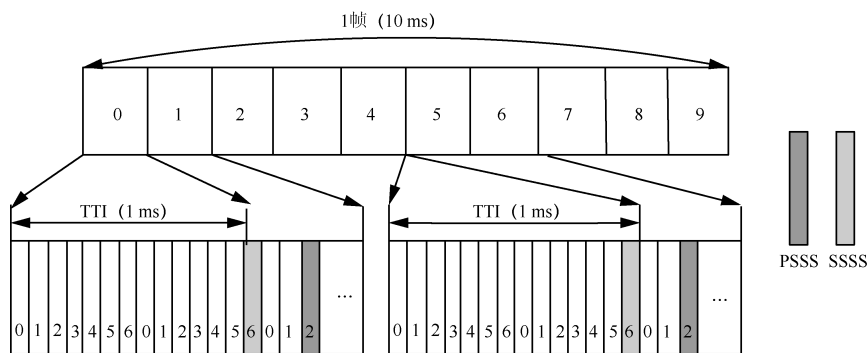


图 1 LTE 帧结构 (常规 CP 下 PSSS/SSSS 信号位置)

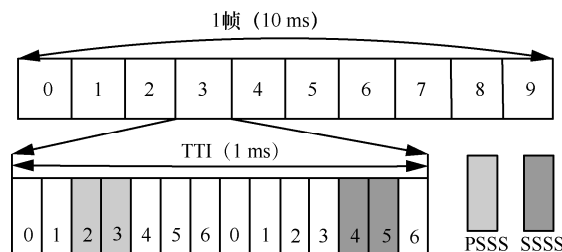


图 2 SL 帧结构 (常规 CP 下 PSSS/SSSS 位置)



在同步周期 k 内, 目标车载用户 b 接收到的 SRS 为 $y=[y_1, y_2, \dots, y_{L_2}]$, $x=[x_1, x_2, \dots, x_{L_1}]$ 为本地 SRS, 其中 L_1 与 L_2 分别表示本地参考信号与接收参考信号长度。为了减少频偏对同步精度的影响, 本文采用 M-part 相关检测算法^[17], 同步参考信号定时位置 $\bar{U}(d)$ 表达式如下:

$$\bar{U}(d) = \sum_{m=0}^{D-1} \left| \sum_{n=mL}^{(m+1)L-1} y(d+n)(x(n))^* \right|^2 \quad (3)$$

$$\bar{T} = \arg \max_d \{\bar{U}(d)\} \quad (4)$$

其中, $y(d+n)$ 表示目标车载用户 b 接收信号的第 $d+n$ 个符号元素。当 $\bar{U}(d)$ 取最大值时, 目标车载用户 b 即可获取定时位置, $\bar{T}_d$ 表示信号定时位置。将相关运算的总长划分为 D 部分, 且式 (3) 满足 $L1=DL$, 其中 L 为本地参考信号的每部分长度, 利用部分累积原理, 可消除由频偏带来的部分影响。虽然 M-part 相关检测算法具有一定抗频偏性, 但是随着分段数目 D 增加, 同步定时精度会降低, 因此, 为保证同步精度, 本文取 $D=3$ 。

4 SL 空口同步方案

4.1 SL 空口同步流程

在 LTE-V2X 系统中, 根据车载用户也可作为同步源通过 SL 传输同步参考信号的特性, 提出一种基于 SRS 优先级划分及时移传输机制的 SL 空口同步方案。方案主要思想为车载用户可通过 DL/SL 获取 SRS, 不同车载用户的 SRS 具有不同的优先级。车载用户通过接收的 SRS 同步优先级来确立自身发送的同步参考信号的同步优先级; 然后, 根据 SRS 时移传输机制在规定的 SL 子帧的时隙位置上发送自身的同步参考信号来区分优先级。首先, 将车载用户从 DL 中获取的同步参考信号的优先级设置为 0 级, 且该参考信号优先级最高 (同步精度最高)。图 3 为车载用户获取同步参考信号的流程, 同步步骤如下。

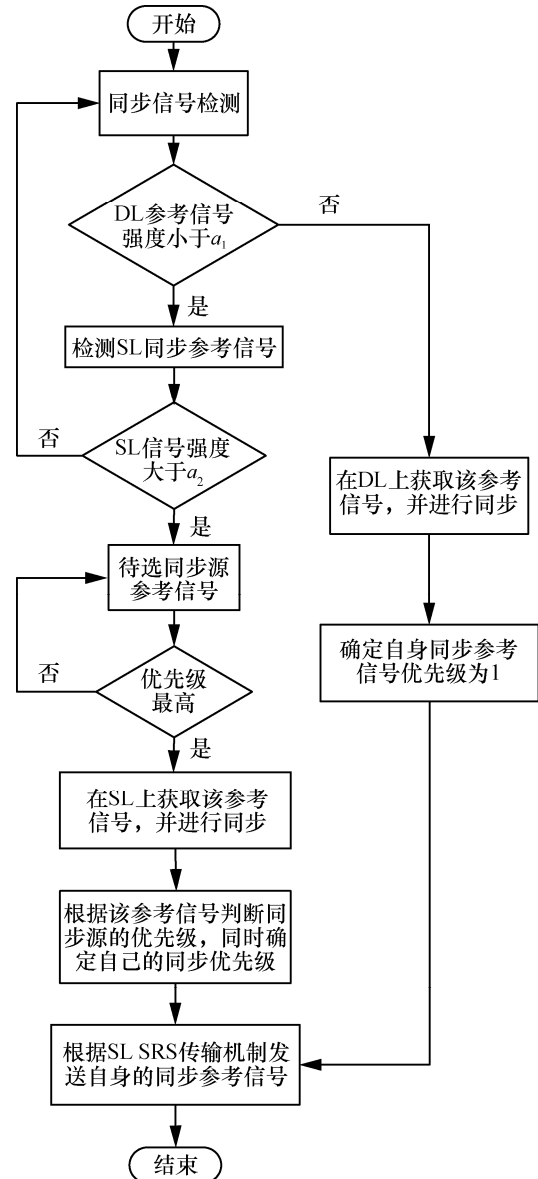


图3 获取同步参考信号流程

步骤 1 同步周期更新, 车载用户检测周围的同步参考信号。

步骤 2 若车载用户检测到 DL SRS, 并且该 DL SRS 的信号强度大于设定的门限值 (a_1), 则将该 SRS 作为其参考的同步源进行同步, 然后根据已获得参考信号 DL SRS, 该车载用户自身的同步参考信号优先级确定为 1 级, 并转向步骤 6。若该 DL SRS 的信号强度小于 a_1 , 则进行下一个步骤。

步骤 3 若车载用户检测到周围的 SL SRS, 并且 SL SRS 的信号强度大于设定门限 (a_2), 将

所有检测到的 SL SRS 中信号强度大于设定门限 (a_2) 的作为待选同步源参考信号。

步骤 4 在待选同步源参考信号中选择优先级最高 (同步精度最高)、强度最大的 SRS 作为该车载用户的同步源并进行同步。

步骤 5 通过同步源 SRS 在 SL 子帧的时隙位置判断其同步优先级, 并同时确定自身 SRS 的优先级。

步骤 6 根据 SRS 时移传输机制, 在 SL 帧中指定的子帧时隙位置上传输自身的 SRS。

当车载用户检测到的 SRS 的信号强度都小于门限值 (a_1 、 a_2) 时, 车载用户同步保持现状, 直到下一个同步更新周期出现, 开始步骤 1。

4.2 同步源 SRS 优先级划分机制

在本方案所述场景中, 同步参考信号主要分为两大类: 一是基站发出的 DL SRS; 二是车载用户发出的 SL SRS。车载用户成功获取到 SRS 以后, 通过获取 SRS 的同步优先级来确定自身发送 SRS 的优先级。其中, 车载用户 SRS 的优先级划分机制如下。

(1) 将 DL SRS 信号的同步优先级设为 0 级,

优先级最高 (同步精度最高)。

(2) 车载用户获取的 SRS 同步源为 DL 类型, 则其自身发送 SRS 的同步优先级便为 1 级, 优先级其次。

(3) 车载用户获取的 SRS 同步源类型为 SL 类型, 若获取的 SRS 同步源的同步优先级为 n 时, 则该车载用户自身发送 SRS 的同步优先级自动加 1。

SL 空口同步场景如图 4 所示, 图 4 中的数字 1~4 表示车载用户自身同步参考信号的同步优先级。标记 1 的车载用户表示处于 DL SRS 信号强度大于阈值 (a_1), 从 DL SRS 中获取同步源, 因此, 其自身同步参考信号的优先级为 1。阴影区域表示同步参考信号优先级为 1 的车载用户 SL SRS 强度大于阈值 (a_2) 区域, 其他车载用户若从该用户获取 SRS (即将该用户的 SRS 作为同步源), 则它们自身的同步参考信号优先级为 2。值得说明的是, SRS 的同步优先级数字越小, 其优先级越高, 同步精度越高。

4.3 SRS 时移传输机制

SRS 时移传输机制: 利用不同的 SL 子帧的时隙位置传输不同优先级车载用户的 SRS。基于车载

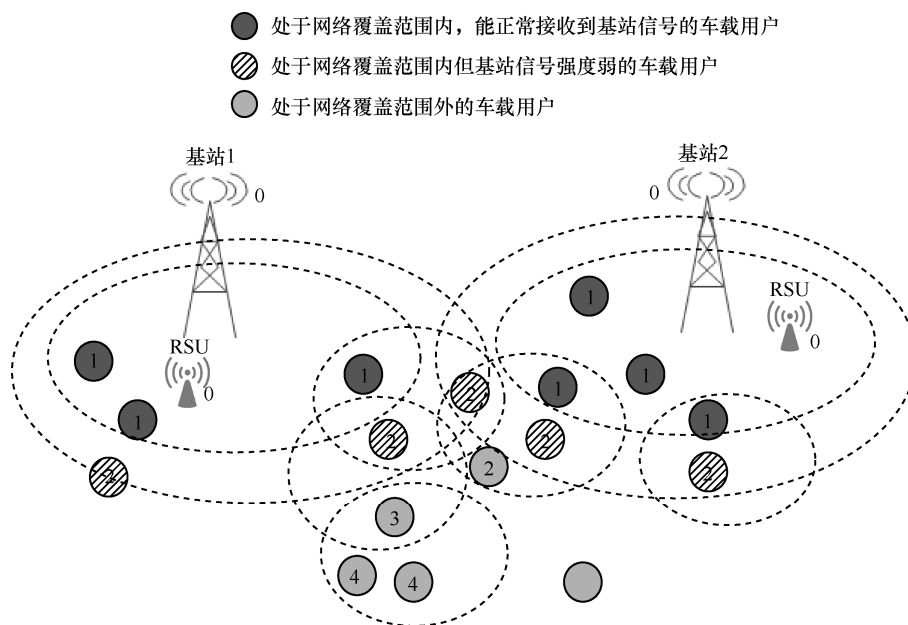


图 4 SL 空口同步场景



用户的移动性, 每个同步周期更新后, 车载用户周围的网络环境都有可能发生很大的变化, 因此, 车载用户每次检测 SRS 时, 并不知道自身所处网络环境中的同步优先级为多少, 基于此车载用户检测周围的 SRS 信号时, 需要检测 SL 的每个子帧。本方案设计采用 SRS 时移传输机制, 以此对不同车载用户的同步优先级进行标识, 即不同同步优先级的车载用户在不同 SL 子帧的时隙位置上发送自身的 SRS。如图 5 所示, 假设网络中包含 3 个不同同步优先级的车载用户, 则 SRS 时移传输机制设计如下。

(1) 同步参考有信号优先级为 0 的同步源(基站), 在 DL 帧发送 SRS。

(2) 同步参考信号优先级 ≥ 1 的同步源(车载用户)是通过 SL 发送 SRS。车载用户检测 SRS 后, 若获取的同步参考信号为 DL SRS, 则其自身的同步参考信号优先级为 1, 并在 SL 子帧 0 的时隙上发送自身的 SRS。

(3) 若车载用户检测 SRS 后, 获得 SRS 同步源的优先级为 1, 则其自身的同步参考信号优先级为 2, 并在其 SL 子帧 1 的时隙上发送自身的 SRS;

若 SRS 同步源的优先级为 2, 则该车载用户的同步参考信号优先级为 3, 并在 SL 子帧 2 的时隙上发送自身的 SRS; 以此类推。

通过该传输机制使车载用户能有效快速地选择最佳(同步优先级最低、精度最高、SRS 信号强度最大)的同步参考信号, 并且还可以有效抑制不同车载用户 SRS 之间的同频干扰。如图 6 所示为两种车载用户密度(低、高)场景下使用及未使用 SRS 时移传输机制接收信号对应的 SINR 概率分布对比, 其中 CDF 表示信干噪比值大小对应的累积概率值。由图 6 可得, 在相同车载用户密度场景下, 车载用户使用 SRS 时移传输机制来接收信号的信干噪比值要比未使用 SRS 时移传输机制时高。随着车载用户密度的增加, 接收信号的信干噪比值越高。因为随着车载用户密度的增加, 车载用户之间的相对距离变小, 从而车载用户接收到的周围车载用户发出信号的信号强度越大。这证明了使用 SRS 时移传输机制的有效性, 从而利用 SRS 时移传输机制传输不同优先级车载用户的 SRS 可以有效抑制同频干扰。

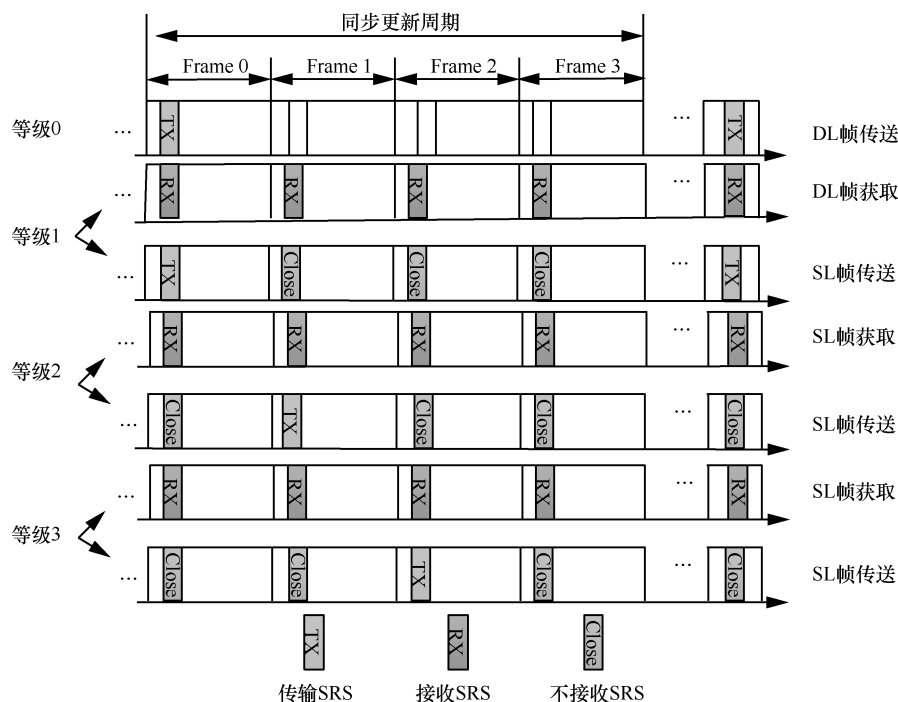


图 5 SRS 时移传输机制

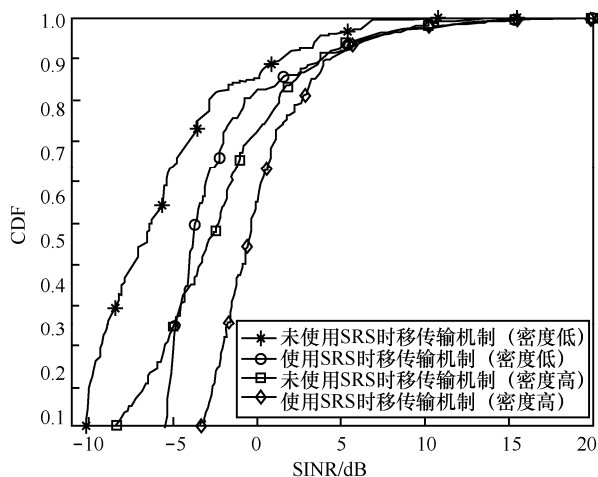


图6 两种车载用户密度场景下 SINR 的 CDF 分布对比

5 仿真验证与分析

5.1 仿真参数设置

仿真场景假设车道路段长度为 3 km，基站覆盖范围为 2 km，车载用户通信范围为 200 m，即当两个车载用户处于彼此通信范围内时，它们可以通过 SL 获取同步。DL 和 SL 的信号强度阈值 (a_1 、 a_2) 采用信噪比阈值来表示，分别为 5 dB 和 10 dB。每个车载用户的速度在 40~70 km/h 中随机取值并匀速行驶，且所有车载用户的行驶方向一致。同步更新周期为 10 ms。路径损耗模型为^[18]：

$$L_s = 128.1 + 36.7 \lg R \quad (5)$$

其中， R 为目标车载用户与同步源的距离（单位为 km）。详细的仿真参数见表 1，仿真结果为随机场景下运行 200 次的结果。

表 1 仿真参数

参数	数值
基站覆盖范围	2 000 m
车载用户通信范围	200 m
基站发送功率	46 dBm
车载用户发送功率	24 dBm
信噪比阈值 a_1/a_2	5 dB/10 dB
车载用户移动速度	40~70 km/h
DL 帧结构	常规 CP
SL 帧结构	常规 CP
带宽	10 MHz
载波频率	2 GHz
同步周期	10 ms
噪声功率密度	-174 dBm/Hz

5.2 仿真结果对比分析

在本文网络场景中针对两种类型的车载用户密度（低、高）进行仿真验证对比，其中低密度场景选取 18 个车载用户，高密度场景选取 60 个车载用户。定时误差衡量标准以基站为参考基准。当车载用户定时误差不超过常规 CP (5.2 μ s) 长度时，同步优先级为 1 的车载用户可直接获取基站的同步，同步优先级 ≥ 1 的车载用户可间接地获取基站的同步，从而实现车载用户与基站的通信。此外，当定时误差不超过 5.2 μ s 时还可抑制 SL 与 UL 之间的干扰。如图 7~图 9 为不同同步优先级的车载用户对应的定时误差值累计概率分布对比。

图 7 为同步优先级为 1（即目标车载用户的同步源为基站）的车载用户在两种车载用户密度场景下的定时误差值累计概率分布对比。由图 7 可知，两种车载用户密度场景下，车载用户的定时误差值在 1~2.8 μ s 范围内，满足车载用户从基站获取同步的需求。同时可见，该场景下车载用户的定时误差与车载用户密度无直接关系，因为，此时的车载用户是通过 DL 获取基站的 SRS，故车载用户密度对同步精度无直接影响。

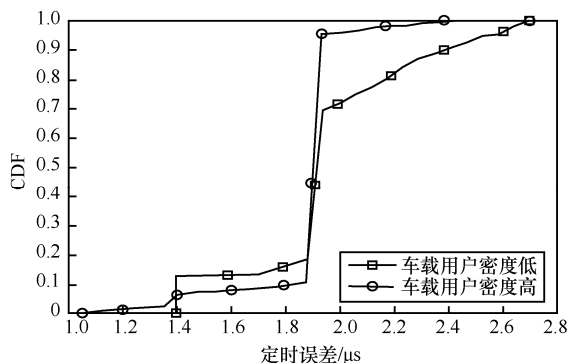


图7 同步优先级为 1 的车载用户定时误差对比

图 8 为同步优先级为 2（即目标车载用户的同步源为同步优先级 1）的车载用户在两种车载用户密度场景下的定时误差值累计概率分布对比。由图 8 可知，在车载用户密度低场景下，目标车载用户的定时误差值范围为 1.8~3.9 μ s；车载用户密度高场景下，目标车载用户的定时误差值范围为



0.9~3.6 μs 。因此,随着车辆密度的增加,同步优先级为 2 的目标车载用户的定时精度提高。这是由于在相同区域内随着车载用户密度增加,目标车载用户周围满足同步条件的同步优先级更高的车载用户存在的可能性越高;同时,车载用户之间的距离变小,进而信号传输过程中的偏移也减小。并且,目标车载用户的定时误差满足车载用户间接从基站获取同步的需求。

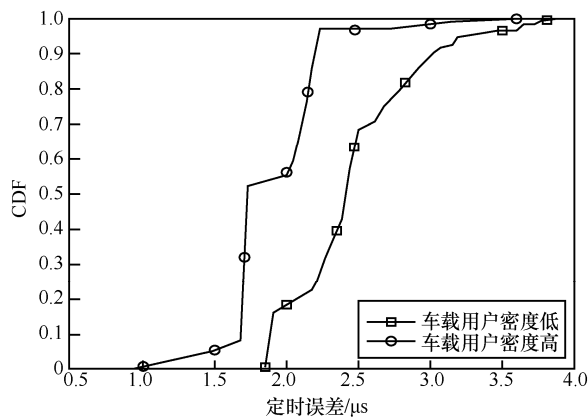


图 8 同步优先级为 2 的车载用户定时误差对比

图 9 为同步优先级为 3 的车载用户在两种车载用户密度场景下的定时误差值累计概率分布对比。由图 9 可知,车载用户密度低场景下,目标车载用户的定时误差值范围为 2~4.3 μs ;车载用户密度高场景下,目标车载用户的定时误差值范围为 0.9~4.1 μs 。因此,随着车辆密度的增加,同步优先级为 3 的目标车载用户的定时精度提高。并且,目标车载用户的定时误差满足车载用户间接从基站获取同步的需求。

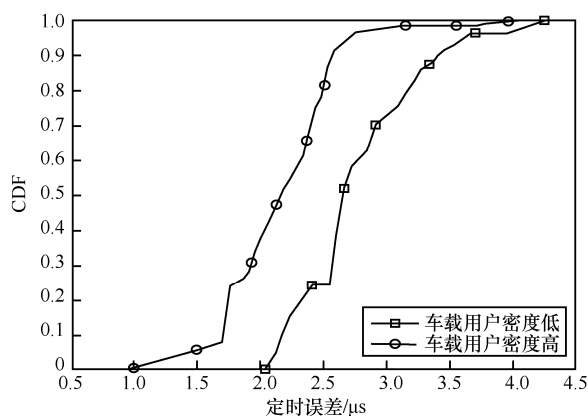


图 9 同步优先级为 3 的车载用户定时误差对比

由图 7~图 9 综合分析可得,随着同步优先级级数的增加,目标车载用户的定时误差也随着增大。若目标车载用户通过 DL 直接获取基站同步时,同步精度与车载用户密度无关;如果目标车载用户通过 SL 获取同步源时,若车载用户密度增加,则其同步精度提高。在上述情况下,车载用户的定时误差均小于 5.2 μs 。综上所述,本文所提的 SL 空口同步方案满足车载用户直接或间接地从基站获取同步的需求,因此,可以实现处于本文所述场景下的车载用户与基站同步,实现与网络通信。

6 结束语

本文提出了适用于 LTE-V2X 系统的一种基于 SRS 优先级划分及时移传输机制的 SL 空口同步方案,本方案解决了处于网络覆盖范围内无法接收良好 DL 信号和处于网络覆盖范围外车载用户的同步问题,实现了这类车载用户与网络通信。所提方案打破了基站覆盖范围对车载用户空口同步区域的限制,增大了空口同步范围。随着车载用户密度的增加,不同同步等级车载用户之间的 SL 同频干扰也将增大,本方案中利用 SRS 时移传输机制,不仅可以有效区分不同同步优先级 SRS,而且还可以有效抑制车载用户之间的同频干扰。因此,本文所提方案可作为 LTE-V2X 系统实现有效可行的空口同步方案之一。

参考文献:

- [1] MOLINA-MASEGOSA R, GOZALVEZ J. LTE-V for sidelink 5G V2X vehicular communications: a new 5G technology for short-range vehicle-to-everything communications[J]. IEEE Vehicular Technology Magazine, 2017, 12(4): 30-39.
- [2] CHEN S, HU J, SHI Y, et al. Vehicle-to-everything (V2X) services supported by LTE-based systems and 5G[J]. IEEE Communications Standards Magazine, 2017, 1(2): 70-76.
- [3] 陈山枝, 胡金玲, 时岩, 等. LTE-V2X 车联网技术、标准与应用[J]. 电信科学, 2018, 34(4): 1-11.
CHEN S Z, HU J L, SHI Y, et al. Technologies, standards and applications of LTE-V2X for vehicular networks[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(4): 1-11.
- [4] 3GPP. Study on LTE support for vehicle to everything (V2X) services: TR 22.885, V14.0.0[S]. 2015.

- [5] SUN S H, HU J L, PENG Y, et al. Support for vehicle-to-everything services based on LTE[J]. IEEE Wireless Communications, 2016, 23(3): 4-8.
- [6] 3GPP. Support for sidelink communication: TS36.300, V 14.4.0[S]. 2017.
- [7] MANOLAKIS K, XU W. Time synchronization for multi-link D2D/V2X communication[C]//Vehicular Technology Conference, Sept 18-21, 2016, Montreal, QC, Canada. Piscataway: IEEE Press, 2017.
- [8] CHEN S, HU J, SHI Y, et al. LTE-V: a TD-LTE-based V2X solution for future vehicular network[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2016, 3(6): 997-1005.
- [9] 韩柳燕, 王磊, 王世光, 等. 小基站同步解决方案研究[J]. 电信网技术, 2016(7): 12-14.
HAN L Y, WANG L, WANG S G, et al. Synchronization solution for nanocell base stations [J]. Telecommunications Network Technology, 2016(7): 12-14.
- [10] ZOU K J, YANG K W, WANG M, et al. Network synchronization for dense small cell networks[J]. Wireless Communications IEEE, 2015, 22(2): 108-117.
- [11] 3GPP. Study on LTE device to device proximity services: RP-12209 [S]. 2012.
- [12] LIEN S Y, CHIEN C C, TSENG F M, et al. 3GPP device-to-device communications for beyond 4G cellular networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2016, 54(3): 29-35.
- [13] 闫彬. TD-LTE 下行时频同步算法研究与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2014.
YAN B. Research and implementation of synchronization algorithm in TD-LTE downlink [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2014.
- [14] CHAVVA A K R, SRIPADA K. Low-complexity LTE-D2D synchronization algorithms[C]//Consumer Communications & Networking Conference, Jan 9-12, 2016, Las Vegas, NV, USA. Piscataway: IEEE Press, 2016: 156-163.
- [15] 3GPP. Physical channels and modulation: TS36.211, V14.4.0[S]. 2017.
- [16] LUOTO P, BENNIS M, PIRINEN P, et al. System level performance evaluation of LTE-V2X network[C]//European Wireless 2016, European Wireless Conference, May 18-20, 2016, Oulu, Finland. Piscataway: IEEE Press, 2016.
- [17] 郭伟. TD-LTE 系统中同步技术的研究与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2015.
GUO W. Research and implementation of synchronization technology in TD-LTE system[D]. Chengdu: University of

Electronic Science and Technology of China, 2015.

- [18] 王淡宜. 高速移动场景下蜂窝无线网络群切换策略研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2014.

WANG D Y. An investigation on group handover strategy of cellular wireless network under high mobility scenarios[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2014.

[作者简介]



周晓勇 (1994-), 女, 重庆邮电大学移动通信重点实验室硕士生, 主要研究方向为 LTE-V2X 系统同步及切换技术。



申滨 (1987-), 男, 博士, 重庆邮电大学教授, 主要研究方向为 LTE 系统、认知无线电及无线通信信号处理等。



徐浪 (1994-), 男, 重庆邮电大学移动通信重点实验室硕士生, 主要研究方向为 WLAN 技术。



黄晓红 (1982-), 女, 博士, 重庆邮电大学副教授, 主要研究方向为无线通信、移动通信系统领域内 5G 前沿技术。