

基于SideLink的LTE-V2X联合切换方案设计

申 滨* 周晓勇 徐 浪 黄晓舸

(重庆邮电大学通信与信息工程学院 重庆 400065)

摘 要: 在LTE-V2X系统中, 针对车载用户切换过程中蜂窝链路及SideLink(SL)链路质量不高以及SL辅助切换过程中SL链路易中断的问题, 该文提出一种基于SL的联合切换方案, 主要包含: 联合切换流程设计、联合切换信令流程设计以及联合切换判决算法设计。首先, 在联合切换流程中利用SL技术实现联合切换, 并对执行联合切换的SL链路质量进行筛选, 以保证联合切换的可靠性; 其次, 对联合切换信令流程进行了完善, 以优化SL辅助切换过程中SL链路易中断问题; 最后, 在联合切换判决算法中将车载用户的移动方向纳入切换判决条件, 从而减少不必要的切换。仿真结果显示, 该文所提方案能有效提升切换成功率, 与此同时还能有效减少执行LTE切换的次数。

关键词: 移动通信; LTE-V2X系统; 联合切换; SideLink链路; 链路质量; 移动方向

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2020)02-0511-08

DOI: 10.11999/JEIT190120

A SideLink-assisted Joint Handover Scheme for Long Term Evolution -Vehicle to Everything System

SHEN Bin ZHOU Xiaoyong XU Lang HUANG Xiaoge

(School of Communication and Information Engineering, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: For LTE-V2X(Long Term Evolution-Vehicle to Everything) system, the cellular link and the SideLink (SL) are usually unstable in the handover process, and the situation is even deteriorating when the SL is employed to assist the normal handover process. To solve these problems, an SL-assisted joint handover scheme is proposed for vehicles in the network, which mainly includes: joint handover procedure design, signaling design, and the joint handover decision algorithm. Firstly, the SL is established for the vehicles that are about to request for handover. The SL is set up between the pair of vehicles with the best channel quality to ensure the link reliability. Secondly, in order to tackle the perplexing problem of SL being vulnerable in the fast changing radio environment, the joint handover signaling procedure is optimized with respect to two different realistic circumstances. Finally, the vehicle's moving direction is further included in making the handover decision, thus reducing unnecessary handover operations. Simulation results illustrate that the SL-assisted joint handover scheme can effectively ameliorate the handover success rate and reduce significantly the number of LTE handovers.

Key words: Mobile communication; Long Term Evolution-Vehicle to Everything (LTE-V2X) system; Joint handover; SideLink (SL); Link quality; Direction of movement

1 引言

通过为车载用户提供具有可靠性、低延迟的服务, V2X通信系统可提高智能交通系统的安全性和

有效性^[1]。由于车载用户的快速移动性以及信息的实时性需求, 所有V2X传输需要保证大约1600 Byte大小的消息在端到端传输时延小于5 ms^[2]。因此, 传统的2G, 3G移动通信技术无法很好满足V2X场景下的高可靠性和低时延需求, 而LTE-V2X技术被视为V2X通信的可行性解决方案之一^[3]。在5G中, LTE eV2X和新空口(New Radio, NR) V2X将作为实现V2X的联合解决方案。

3GPP版本12中引入了LTE的接近服务(Proximity

收稿日期: 2019-02-27; 改回日期: 2019-12-08; 网络出版: 2019-12-10

*通信作者: 申滨 shenbin@cqupt.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金(61571073)

Foundation Item: The National Nature Science Foundation of China (61571073)

Services, Pro Se)技术,能够在不依赖基站进行协调的情况下,直接发现并通过SL(SideLink)与附近用户进行直接通信,其中SL在时域上周期性地地进行通信[4]。V2X系统通过PC5接口支持V2V SL通信,使得车载用户之间可以直接通信[5]。SL的帧结构与LTE TDD模式下的帧结构类似,复用UL频谱资源[6];与LTE不同的是,在SL中信道的资源分配都是以资源池为单位[7]。

由于车载用户的快速移动性,使得网络拓扑结构变化频繁,车载用户往往需要频繁进行切换。因此,传统的LTE切换算法已经不能很好地适应这一场景。文献[8]采用D2D(Device to Device)技术改善用户终端(User Equipment, UE)在小区边缘区域的切换性能,UE可以提供中继的作用,但是没有考虑用户同步和多链接共存的问题,切换过程中的同频干扰严重。文献[9]提出了5G网络中D2D通信的两种移动性管理方案: D2D感知切换解决方案和D2D触发切换解决方案,但主要针对解决慢速移动的UE切换问题。文献[10]提出利用双资源分配来辅助切换,为了避免切换过程中UE与网络断开连接,在切换过程中UE需同时调用两个频谱资源,导致资源利用率降低。文献[11]中提出D2D联合切换方案,当触发联合切换时,所有D2D用户对一起切换到目标基站。在联合切换过程中,将D2D用户对中UE之间的链路信号质量作为触发条件,因此D2D用户对之间的链路质量稳定性直接影响切换性能。

受文献[8-11]启发,本文考虑将SL链路引入切换过程,提出一种基于SL链路的LTE-V2X系统联合切换方案,主要包含联合切换流程设计、联合切换信令流程设计以及联合切换判决算法设计,力求解决LTE-V2X系统车载用户切换过程中蜂窝链路及SL链路质量不高以及SL辅助切换过程中SL链路易中断的问题。

2 问题描述

在LTE-V2X网络中,由于支持SL链路的引入,使得网络中的干扰场景和链路类型相对于传统的LTE网络而言均有所增加, LTE-V2X系统的信号传输与接收所面临的情况更为复杂,如图1所示。

SL辅助切换方案思路如图2所示[12]:当UE2满足切换条件时,通过SL链路控制,为了使SL用户对(UE1-UE2)的服务基站一致,UE2推迟从源基站(eNB1)切换到目标基站(eNB2)。当SL用户对的两个用户的服务基站为两个不同的基站时,将会出现很多问题,例如增加额外的信令开销、增大时延、两个服务基站为异步基站等,最终导致SL链路中

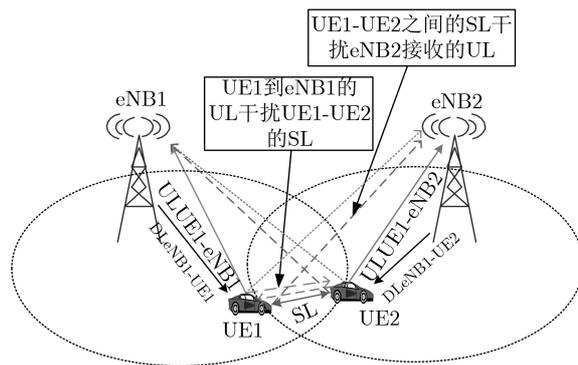
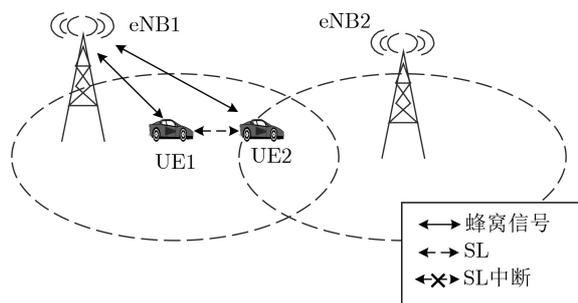
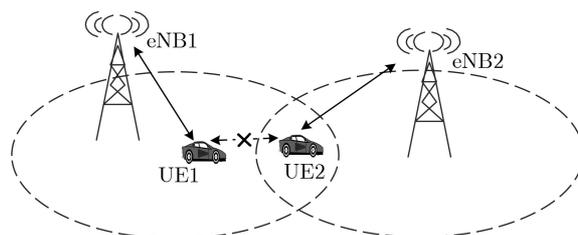


图1 SL与蜂窝链接相互干扰场景



(a) UE2从eNB1切换到eNB2前



(b) UE2完成切换后

图2 SL辅助切换场景

断,如图2(b)所示。具体地,若SL用户对(UE1-UE2)中的其中一个车载用户(UE2)先成功切换到目标基站,另一个车载用户(UE1)还未从源基站分离,此时,UE1与UE2之间的SL对将断开连接,SL辅助切换失败。

目前,基于SL链路的联合切换方案主要面临两方面困难。一是由于LTE-V2X网络拓扑的快速动态变化以及由于SL链路的引入所带来的各种干扰,蜂窝链路和SL链路的链路质量在切换过程中往往不够稳定可靠,严重影响联合切换的有效实施。二是在切换过程中,当SL链路对的两个UE对应的服务基站不同时,额外增加的信令开销及时延增大、两个服务基站为异步基站等,均容易导致SL链路中断。对此,本文提出的基于SL的联合切换方案首先将车载用户的移动方向纳入联合切换判决条件,以减少不必要的无用切换。这是由于SL链路对的用户在完成联合切换时,需要保证用户对

之间运动趋势的协调性与一致性，亦即保证SL链路对的两个UE在移动过程中保持相互之间SL信道环境的相对稳定性，因此，运动方向的实时监测反映了SL链路质量的相对稳定性，对于SL联合切换条件的满足至关重要。其次，利用SL技术实现联合切换，并对执行联合切换的SL链路的信号质量(信号强度)进行筛选，确保SL链路工作在满足QoS的信号质量之上，从而使得联合切换过程中的SL链路可靠性得以保证。基于此方案设计，在UE移动方向和SL链路信号质量两个方面，可对于执行联合切换的SL链路质量进行有效筛选，以解决SL链路对存在的质量有可能不高的问题。

另一方面，针对SL链路在联合切换过程中易中断的问题，当UE用户对之间形成用于联合切换的SL链路时，设计了两种切换方式：一是SL链路在源基站控制下建立完成，然后两个车载用户同时从源基站分离，最后完成切换；二是SL链路在目标基站控制下建立，原本需要切换的UE通过SL链路间接地获得目标基站的同步信息，最后完成切换。在此方案下，以上两种方式都不会出现SL用户对中的一个UE先成功切换到目标基站、另一个UE仍然连接在源基站上，从而导致SL链路发生中断的情况。因此，可保证在联合切换过程中SL链路的稳定性，解决了在SL联合切换过程中SL链路易中断的问题。

3 系统模型

3.1 信号模型

假设网络中有 W 个基站、 K 个车载用户(UE)，分别构成基站集合 $\mathbf{M}(\|\mathbf{M}\|_0 = W)$ ，UE集合 $\mathbf{U}(\|\mathbf{U}\|_0 = K)$ ，这里 $\|\cdot\|_0$ 为向量零范数，即某向量中的元素个数。且UE在网络中的物理位置服从空间泊松分布。

(1) $\text{UE}_k(k \in \mathbf{U})$ 与服务基站连接，假设目标基站为 $M_n(n = 1, 2, \dots, W)$ ，则 UE_k 接收基站 M_n 的信号为

$$y_{n,k} = \sqrt{P_n} h_{n,k} s_n + \sum_{m=1, m \neq n}^W \sqrt{P_m} h_{m,k} s_m + n_k \quad (1)$$

其中， $h_{n,k}$ 、 $h_{m,k}$ 分别表示基站 n 、 m 到 UE_k 的信道系数； P_n 、 P_m 分别表示基站 n 、 m 的发送功率； s_n 、 s_m 分别代表基站 n 、 m 所发送的下行序列符号，且 $\text{E}\{|s_j|^2\} = 1, j \in \mathbf{M}$ ； n_k 表示 UE_k 在对应的高斯加性白噪声。

UE_k 在 t 时刻接收的基站 M_n 信号的信干比 $\text{SINR}_{k,n,t}$ 为

$$\text{SINR}_{k,n,t} = \frac{P_n G_{k,n}}{\sum_{m \in \mathbf{M}_t^a \setminus n} P_m G_{k,m} + N_0 B_s} \quad (2)$$

其中， $G_{k,n}$ 、 $G_{k,m}$ 分别表示基站 n 、 m 与 UE_k 之间的信道功率增益； \mathbf{M}_t^a 表示在 t 时刻发送参考信号的基站集合， $\mathbf{M}_t^a \setminus n$ 表示将集合中第 n 个元素删除； B_s 为车载用户的带宽， N_0 为噪声单边功率谱密度。

(2) $\text{UE}_k(k \in \mathbf{U})$ 通过SL与附近其他用户组合SL用户对时，假设SL用户对另外一个UE为 $\text{UE}_i(i \in \mathbf{U}, i \neq k)$ ，则 UE_k 接收的SL信号为

$$y_{i,k}^* = \sqrt{P_i^*} h_{i,k}^* s_i^* + \sum_{j \neq i} \sqrt{P_j^*} h_{j,k}^* s_j^* + n_k^* \quad (3)$$

其中， $h_{i,k}^*$ 表示 UE_i 到 UE_k 的信道系数， $h_{j,k}^*$ 表示 UE_j 到 UE_k 的信道系数； P_i^* 、 P_j^* 分别表示 UE_i 、 UE_j 的发送功率； s_i^* 、 s_j^* 分别代表 UE_i 、 UE_j 所发送的SL信号序列符号，且 $\text{E}\{|s_b^*|^2\} = 1, b \in \mathbf{U}$ ； n_k^* 表示 UE_k 在SL链路上对应的高斯加性白噪声。

UE_k 在 t 时刻接收的SL信号(SL用户对为 $\text{UE}_k - \text{UE}_i$)的信干比 $\text{SINR}_{k,i,t}^*$ 为

$$\text{SINR}_{k,i,t}^* = \frac{P_i^* G_{k,i}^*}{\sum_{j \in \mathbf{U}_t^a \setminus i} P_j^* G_{k,j}^* + N_0^* B_s^*} \quad (4)$$

其中， $G_{k,i}^*$ 、 $G_{k,j}^*$ 分别表示 UE_i 、 UE_j 与 UE_k 之间的信道功率增益； \mathbf{U}_t^a 表示在 t 时刻发送参考信号的UE集合， $\mathbf{U}_t^a \setminus i$ 表示将集合中第 i 个元素删除； B_s^* 为车载用户的带宽， N_0^* 为噪声单边功率谱密度。

3.2 测量模型

(1) 假设 t_{i-1} 和 t_i 时刻 UE_i 的位置分别在 $P_{i-1}(x_{i-1}, y_{i-1})$ 和 $P_i(x_i, y_i)$ 点，如图3所示。其中， $O(x_0, y_0)$ 为基站位置，小区覆盖半径为 r_s ，则 UE_i 的移动方向与水平线的夹角 β_i ($\beta_i \in [0, 180^\circ]$)为

$$\beta_i = \begin{cases} \arctan \frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1} - 1}, & x_{i-1} < x_i \\ 180^\circ + \arctan \frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1} - 1}, & x_{i-1} \geq x_i \end{cases} \quad (5)$$

因此，在 P_i 处， UE_i 的移动方向与基站的夹角 θ_i ($\theta_i \in [0, 180^\circ]$)为

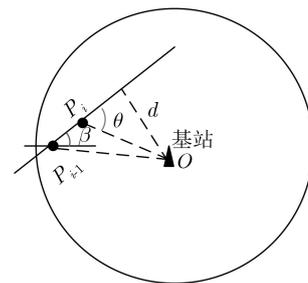


图3 车载用户移动模型

$$d = \frac{|\tan\beta_i \cdot (x_i - x_0) + (y_i - y_0)|}{\sqrt{(\tan\beta_i)^2 + 1}} \quad (6)$$

$$\theta_i = \arcsin \frac{d}{\sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}} \quad (7)$$

其中 d 为基站 O 到 P_{i-1} 和 P_i 两点间的垂线距离。

(2) 在LTE系统中,参考信号接收功率(Reference Signal Receive Power, RSRP)是小区切换判决的主要参数之一,因此本文中采用车载用户的RSRP作为切换判决参数。UE $_k$ 在 t 时刻接收基站 M_n 的RSRP $_t$ 为

$$\text{RSRP}_t = \text{RSSI} - 10\lg(12\text{PRB}_{s_0}) \quad (8)$$

其中, PRB_{s_0} 表示接收信号中物理资源块个数; RSSI 表示UE $_k$ 接收到基站 M_n 的信号强度指示值,其表达式为^[13]

$$\text{RSSI} = P_n - P_L + X_0 \quad (9)$$

其中, P_n 表示基站 M_n 的发送功率; P_L 表示基站 M_n 信号的路径损耗功率; X_0 是服从均值为零、标准差为8 dB的高斯随机变量。

同理可得, UE $_k$ 在 t 时刻接收的SL信号(SL用户对为UE $_k - \text{UE}_i$)的RSRP $_{\text{SL},t}$ 为

$$\text{RSSI}_{\text{SL},t} = P_i^* - P_L^* + X_0^* \quad (10)$$

$$\text{RSRP}_{\text{SL},t} = \text{RSSI}_{\text{SL},t} - 10\lg(12\text{PRB}_{s_1}) \quad (11)$$

其中, $\text{RSSI}_{\text{SL},t}$ 表示UE $_k$ 接收到UE $_i$ 的SL信号强度指示值; P_i^* 表示UE $_i$ 的发送功率; P_L^* 表示UE $_i$ 的SL信号路径损耗功率; X_0^* 是服从均值为零、标准差为8 dB的高斯随机变量。 PRB_{s_1} 表示SL信号的物理资源块个数。

4 联合切换方案设计

4.1 联合切换方案

针对车载用户切换过程中蜂窝链路及SL链路质量不高以及SL辅助切换过程中SL链路易中断等问题,本文提出一种基于SL的联合切换方案。首先,将车载用户的移动方向纳入切换判决条件,以减少不必要的切换。其次,利用SL技术实现联合切换,并对执行联合切换的SL链路的链路质量进行筛选,以保证联合切换过程中链路的可靠性。联合切换方案的具体步骤如下:

步骤1 初始状态下,车载用户(UE1)连接在源基站。UE1附近存在很多其他的车载用户。

步骤2 当UE1移动到满足触发蜂窝切换条件的区域时,源基站对UE1上报的移动方向进行判决。

移动方向判决依据为:UE1的移动方向与源基站的夹角 θ 的大小。仅当UE1的移动方向与源基站

的夹角 $\theta > 90^\circ$ 时,方可触发切换命令。其中, $\theta > 90^\circ$ 时,表示UE1正远离基站; $\theta < 90^\circ$ 时,表示UE1正靠近基站。 θ 的取值范围为 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。

步骤3 当UE1满足以上切换判决条件时,UE1对附近其他车载用户进行筛选,以组成联合切换SL链路对。

此时,UE1附近车载用户的初始服务基站存在两种情况,即附近车载用户的初始服务基站是UE1的源基站或附近UE的初始服务基站不是UE1初始连接的源基站。

当附近车载用户与UE1初始状态都连接在源基站时,UE1选择与其移动方向一致、SL信号质量大于阈值的附近车载用户形成联合切换SL用户对;当附近车载用户初始状态不是连接在与UE1相同的源基站时,UE1选择连接在目标基站上、SL信号质量大于阈值的附近车载用户形成联合切换SL用户对。后文将与UE1形成联合切换SL用户对的一个车载用户用UE2表示。

步骤4 若出现满足步骤3的联合切换SL用户对(UE1~UE2),则触发联合切换;否则,UE1执行单独切换。

此时,联合切换SL用户对中UE2的初始服务基站有两种情况。分别是UE2的初始服务基站是UE1的源基站、UE2的初始服务基站是UE1的目标基站。

步骤5 联合切换SL用户对(UE1~UE2)执行联合切换流程;其中,联合切换信令流程详情见下一小节。

步骤6 联合切换完成。

4.2 联合切换信令流程

根据联合切换SL用户对初始服务基站状况,切换流程分为两种类型。第1类是联合切换SL用户对的两个车载用户初始服务基站都为源基站的切换信令流程,第2类是联合切换SL用户对中一个车载用户初始服务基站为源基站,另一个车载用户初始服务基站为目标基站的切换信令流程。

第1类联合切换信令流程,如图4所示。

步骤1 切换准备阶段,源基站完成与目标基站的切换准备。如图4中的(1)~(6)。

步骤2 触发联合切换,源基站向联合切换SL用户对(UE1~UE2)发送联合切换命令。如图4中的(7)。

步骤3 联合切换SL用户对(UE1~UE2)收到联合切换命令之后,立刻建立/更新SL链路;且都与源基站分离。源基站将序列号(Serial Number, SN)状态转移信息转发到目标基站。如图4中的(8), (9)。

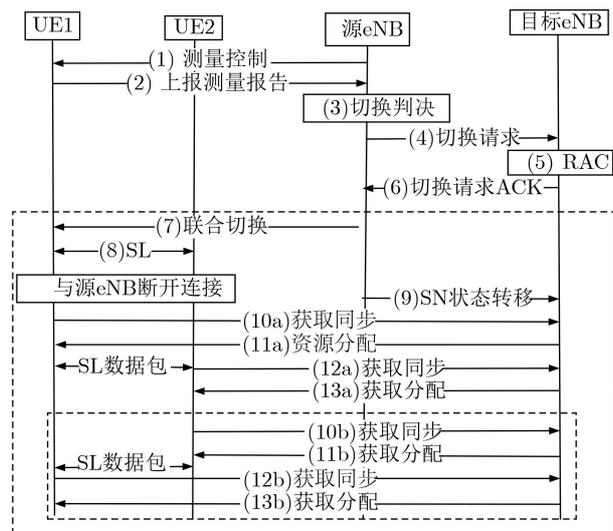


图4 第1类信令流程

步骤4 一旦联合切换SL用户对中的其中一个车载用户成功接入到目标基站，该车载用户便可从目标基站接收/发送数据包，同时联合切换SL用户对中的另外一个车载用户通过SL链路间接地与目标基站获取同步，直到目标基站满足其接入条件，完成该车载用户到目标基站的接入，联合切换完成。如图4中的(10)~(13)。

第2类联合切换信令流程，如图5所示。

步骤1 切换准备阶段，源基站完成与目标基站的切换准备。如图5中的(1)~(6)。

步骤2 触发联合切换，源基站向连接在该基站上的联合切换SL用户对其中一个车载用户(UE1)发送联合切换命令，如图5中的(7)。与此同时，目标基站向另外一个车载用户(UE2)分配联合切换资源，如图5中的(8)。

步骤3 连接在源基站上的联合切换SL用户对的车载用户(UE1)接收到联合切换命令消息后，立刻从源基站分离，并与连接在目标基站上的联合切换SL用户对的车载用户(UE2)建立/更新SL链路。如图5中的(9)。

步骤4 初始状态连接在源基站上的联合切换SL用户对的车载用户(UE1)通过SL间接地通过另一个车载用户(UE2)获取目标基站的同步，直到目标基站满足该车载用户的接入条件，完成该车载用户到目标基站的接入，联合切换完成。如图5中的(10)~(12)。

4.3 联合切换判决算法

根据联合切换流程，联合切换判决具体步骤如下。

步骤1 基站下发测量配置信息。

步骤2 当车载用户(UE1)测量得到服务小区

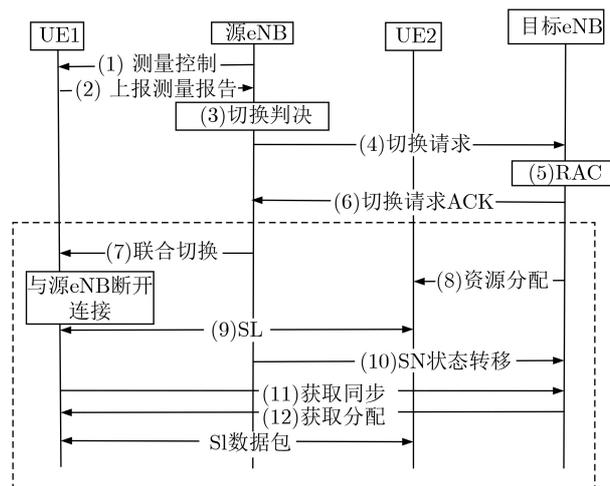


图5 第2类信令流程

接收功率低于设定的门限值 $RSRP_{Th_{LTE}}$ 时，UE1应向服务基站发送一个事件的测量报告。

步骤3 当触发测量报告上报后，需要判断测量报告是否满足联合切换(UE1~UE2)的触发条件：

(1) 当UE2连接在源基站上时，判决算法为

$$\left. \begin{aligned} \theta_1 > 90^\circ \\ RSRP_t > RSRP_s + HOM \\ \theta_2 > 90^\circ \\ RSRP_{SL} > RSRP_{Th_{SL}} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

其中， $RSRP_t$ 表示目标小区的参考信号接收功率； $RSRP_s$ 表示源小区的参考信号接收功率； HOM 表示迟滞因子； $\theta_i (i=1,2)$ 表示UE_i的移动方向与其服务基站的夹角； $RSRP_{SL}$ 表示SL用户对链路信号功率； $RSRP_{Th_{SL}}$ 表示SL用户对链路信号功率的阈值。若满足式(12)，则UE1执行与UE2的联合切换；若不满足，则进入步骤4中(1)；

(2) 当UE2连接在目标基站上时，判决算法为

$$\left. \begin{aligned} \theta_i > 90^\circ \\ RSRP_t > RSRP_s + HOM \\ RSRP_{SL} > RSRP_{Th_{SL}} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

若满足式(13)，则UE1执行与UE2的联合切换；若不满足，则进入步骤4中(2)。

步骤4 不满足联合切换触发条件，用户执行单独切换：

(1) UE1和UE2各自执行单独切换，单独切换判决算法为

$$\left. \begin{aligned} \theta_i > 90^\circ, i=1,2 \\ RSRP_t > RSRP_s + HOM \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

(2) UE1执行单独切换，算法为

$$\left. \begin{aligned} \theta_i > 90^\circ \\ RSRP_t > RSRP_s + HOM \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

若单独切换失败则重新接入,若切换成功则返回步骤1。

5 仿真验证与分析

5.1 仿真场景及参数设置

仿真场景参考3GPP TR36.885建议的高速公路场景,如图6所示。路径损耗模型为^[13]

$$L_s = 128.1 + 37.6 \lg_{10}(R) \quad (16)$$

其中, R 为目标车载用户与服务基站的距离(单位为km)。

为了与传统切换算法进行比较,选取切换成功率、执行LTE切换的平均次数、无线链路失败(Radio Link Failure, RLF)率3个指标进行性能评估。切换成功率为在一段时间内切换成功次数占总切换次数比例的统计平均值。执行LTE切换的平均次数可以反映算法的稳定性,过高的切换次数会带来较大的网络切换开销^[14]。RLF率的判定根据文献^[15]设定。由于本文主要针对移动速度小于等于120 km/h的车载用户,根据文献^[16]选取TTT=30 ms。其他仿真参数为:基站发送功率为46 dBm,车载用户发送功率为23 dBm,噪声功率密度为-174 dBm/Hz,载波频率为2 GHz,信道带宽为10 MHz, HOM设定为3 dB, RSRP_{Th_{LTE}}与RSRP_{Th_{SL}}分别设置为-100 dBm和-50 dBm, DL/SL帧结构采用常规CP,仿真结果为随机场景下运行100 s取性能平均值。

5.2 仿真结果对比分析

为方便仿真结果的分析与对比,本文的对比方案设置如下

方案1:基于A3事件的传统切换方案(A3传统算法)。

方案2:基于信号强度与车辆速度的切换判决算法^[17](动态迟滞参数算法)。

方案3:联合切换方案(本文所提方案)。

图7给出两种车载用户密度场景下不同移动速度的车载用户在上述3种方案中的切换成功率。当车载用户密度相同时,A3传统算法的切换成功率受车载用户移动速度的影响较大,在车载用户速度为50~70 km/h时切换成功率最高(约94%),在其他情况下的切换成功率则明显降低,这是由于

HOM=3 dB, TTT=30 ms的参数设置在该速度区间的切换性能最优;动态迟滞参数算法的切换成功率在95%~96%之间波动,这是因为该算法根据移动速度动态调整HOM值,以适应不同的车载速度;本文方案的切换成功率相比前两种方案有明显提升,且受车载用户移动速度影响较小,保持在98%左右波动,这是由于基于SL技术实现联合切换,并对执行切换的链路进行筛选,尽量保证切换链路的可靠性,从而提高了切换成功率。图8为本文方案的500个车载用户密度场景下车载用户移动速度、切换算法HOM值与切换成功率的3维关系图。当HOM=3 dB时,车载用户移动速度在50~70 km/h范围内切换性能最优,成功率可达99%;随着车载用户移动速度增大(降低),为了使得切换成功率达到最优,则HOM值需减小(变大)。

图9、图10为两种车载用户密度场景下不同移动速度的车载用户在上述3种方案中执行LTE切换的平均切换次数对比图。由图可知,A3传统算法、动态迟滞参数算法执行LTE切换的平均切换次数在20~80 km/h范围内成增加趋势,80~120 km/h范围内呈下降趋势。切换次数增加是因为随着车载用户速度的增加,单位时间内移动到切换区域车载用户数增加的概率也增大;切换次数降低是因为对于高速移动的车载用户来说,HOM和TTT值较大,切换较难触发。结合图7,执行LTE切换的次数减少的同时切换成功率也下降。相比之下,本文所提算法执行LTE切换的平均切换次数明显下降,这是基于SL技术实现联合切换的优势。例如有2个车载用户需要执行切换,则A3传统方案和动态迟滞方案需执行2次LTE切换;本文方案的2个车载用户通过SL执行联合切换,在满足联合切换的条件下只需执行1次LTE切换,从而有效降低执行LTE切换的次数。除此之外,将车载用户的移动方向作为触发判决条件,能减少不必要的切换。当车载用户移动速度大于80 km/h时,切换次数会相对增加。这是因为高速移动的车载用户能成功匹配SL用户对并且执行联合切换的概率降低,当车载用户不能执行联合切换时,便只能单独执行LTE切换,所以执行LTE切换的次数会增加。

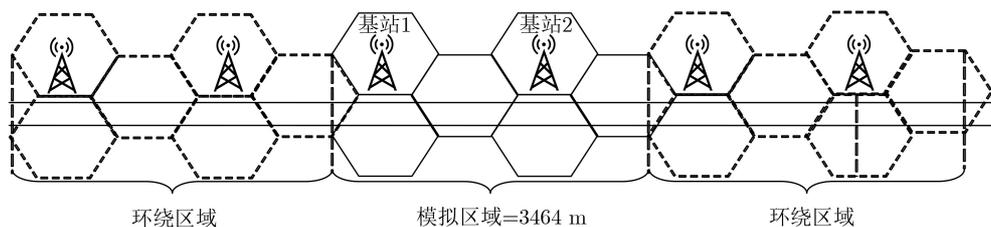


图6 仿真场景

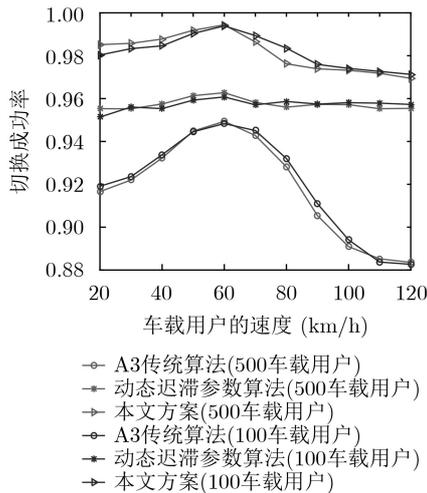


图 7 切换成功率

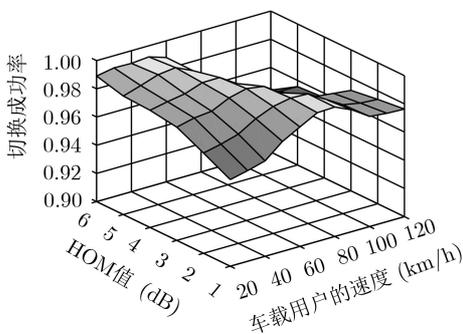


图 8 SL联合切换方案之切换成功率

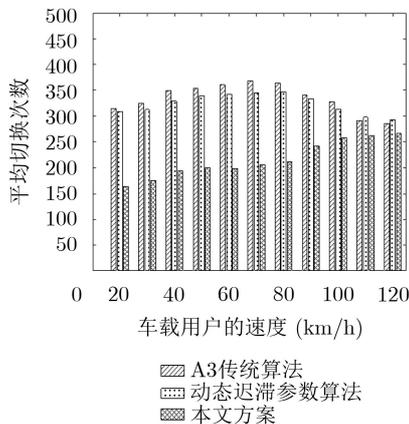


图 9 执行LTE切换次数(500车载用户场景)

图11为不同移动速度下的车载用户在上述3种方案中RLF性能对比。A3传统算法随着车载用户移动速度的变化，其对应的RLF率比动态迟滞参数算法波动更大，这是因为A3传统算法的切换参数为固定参数，而移动速度为动态值，容易恶化RLF率；动态迟滞参数算法根据移动速度动态调整HOM值，以适应不同的车载速度，其RLF率受移动速度影响较小。本文方案的RLF率相比前两种方

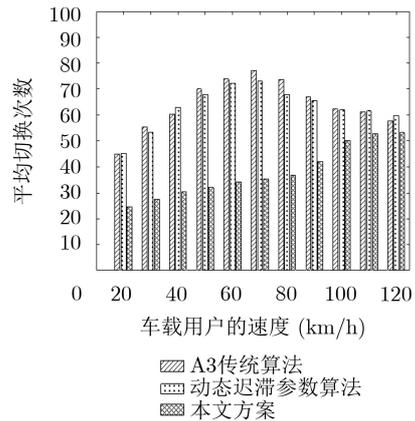


图 10 执行LTE切换次数(100车载用户场景)

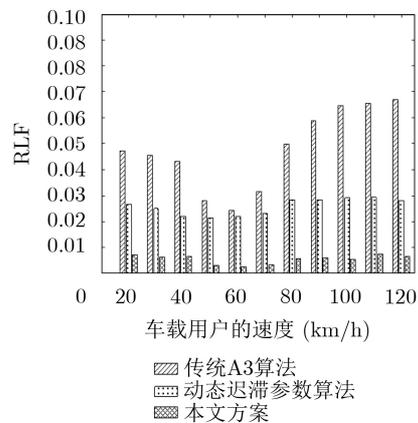


图 11 RLF性能

案有明显降低，且均能保持在1%以下，因为联合切换可以使得车载用户通过SL实现与基站实现间接连接，从而降低RLF。

6 结束语

本文提出了一种适用于LTE-V2X系统的基于SL的联合切换方案。该联合方案将车载用户的移动方向纳入切换判决条件，能减少不必要的切换。利用SL技术实现联合切换，并对执行联合切换的SL链路的链路质量进行筛选，能有效保证联合切换过程中链路的可靠性。此外，通过对联合切换信令流程的完善，优化了SL辅助切换过程中SL链路易中断问题。因此，本文方案可作为LTE-V2X系统车载用户的切换方案之一。

参考文献

[1] LUOTO P, BENNIS M, PIRINEN P, *et al.* Vehicle clustering for improving enhanced LTE-V2X network performance[C]. 2017 European Conference on Networks and Communications, Oulu, Finland, 2017: 1-5. doi: 10.1109/EuCNC.2017.7980735.

[2] STRÖM E and SVENSSON T. EU FP7 INFSO-ICT-317669 METIS, D1.1: scenarios, requirements and KPIs for 5G

- mobile and wireless system[EB/OL]. <https://research.chalmers.se/publication/213055>, 2013.
- [3] 卓文斌, 缪照滨, 高月红, 等. V2X技术发展历程及应用研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2016, 29(2): 20–24. doi: [10.3969/j.issn.1008-5599](https://doi.org/10.3969/j.issn.1008-5599).
- ZHUO Yibin, MIAO Zhaobang, GAO Yuehong, *et al.* Technology development and application research of V2X[J]. *Telecom Engineering Technics and Standardization*, 2016, 29(2): 20–24. doi: [10.3969/j.issn.1008-5599](https://doi.org/10.3969/j.issn.1008-5599).
- [4] Qualcomm. Study on LTE device to device proximity services[R]. 3GPP RP-12209, 2012.
- [5] 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. doi: [10.1109/MCOM.2016.7432168](https://doi.org/10.1109/MCOM.2016.7432168).
- [6] CHAVVA A K R and SRIPADA K. Low-complexity LTE-D2D synchronization algorithms[C]. The 13th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference, Las Vegas, USA, 2016: 156–163. doi: [10.1109/CCNC.2016.7444749](https://doi.org/10.1109/CCNC.2016.7444749).
- [7] 3GPP. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); physical channels and modulation[R]. TS 36.211, 2017.
- [8] ORSINO A, GAPEYENKO M, MILITANO L, *et al.* Assisted handover based on device-to-device communications in 3GPP LTE systems[C]. 2015 IEEE Globecom Workshops, San Diego, USA, 2015: 1–6. doi: [10.1109/GLOCOMW.2015.7414095](https://doi.org/10.1109/GLOCOMW.2015.7414095).
- [9] YILMAZ O N C, LI Zexian, VALKEALAHTI K, *et al.* Smart mobility management for D2D communications in 5G networks[C]. 2014 IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops, Istanbul, Turkey, 2014: 219–223. doi: [10.1109/WCNCW.2014.6934889](https://doi.org/10.1109/WCNCW.2014.6934889).
- [10] YE Changlong, WANG Ping, WANG Chao, *et al.* Mobility management for LTE-based heterogeneous vehicular network in V2X scenario[C]. The 2nd IEEE International Conference on Computer and Communications, Chengdu, China, 2016: 2203–2207. doi: [10.1109/CompComm.2016.7925091](https://doi.org/10.1109/CompComm.2016.7925091).
- [11] CHEN H Y, SHIH M J, and WEI H Y. Handover mechanism for device-to-device communication[C]. 2015 IEEE Conference on Standards for Communications and Networking, Tokyo, Japan, 2015: 72–77. doi: [10.1109/CSCN.2015.7390423](https://doi.org/10.1109/CSCN.2015.7390423).
- [12] MANOLAKIS K and XU Wen. Sidelink-assisted handover for cellular network[C]. The 18th IEEE International Symposium on A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, Macau, China, 2017: 1–5. doi: [10.1109/WoWMoM.2017.7974359](https://doi.org/10.1109/WoWMoM.2017.7974359).
- [13] 王淡宜. 高速移动场景下蜂窝无线网络群切换策略研究[D]. [硕士学位论文], 西南交通大学, 2014.
- WANG Danyi. An investigation on group handover strategy of cellular wireless network under high mobility scenarios[D]. [Master dissertation], Southwest Jiaotong University, 2014.
- [14] 马彬, 汪栋, 谢显中. 车辆异构网络中基于决策树的稳健垂直切换算法[J]. 电子与信息学报, 2017, 39(7): 1719–1726. doi: [10.11999/JEIT161182](https://doi.org/10.11999/JEIT161182).
- MA Bin, WANG Dong, and XIE Xianzhong. Robust vertical handoff algorithm based on decision tree in vehicle heterogeneous network[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2017, 39(7): 1719–1726. doi: [10.11999/JEIT161182](https://doi.org/10.11999/JEIT161182).
- [15] 3GPP. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); protocol specification[R]. TS 36.331, 2017.
- [16] 栾林林. 支持高速切换的TD-LTE信令的设计及其优化的研究[D]. [博士学位论文], 北京邮电大学, 2013.
- LUAN Linlin. Research on designing and optimization of signalling of TD-LTE based on high-speed handover[D]. [Ph.D. dissertation], Beijing University of Posts and Telecommunications, 2013.
- [17] 宁珍妮. 基于信号强度与车辆速度的切换判决算法[J]. 中国新通信, 2017, 19(4): 8–11. doi: [10.3969/j.issn.1673-4866.2017.04.007](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-4866.2017.04.007).
- NING Zhenni. Handover decision algorithm based on signal strength and vehicle speed[J]. *China New Telecommunications*, 2017, 19(4): 8–11. doi: [10.3969/j.issn.1673-4866.2017.04.007](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-4866.2017.04.007).
- 申 滨: 男, 1978年生, 教授, 研究方向为大规模MIMO系统、认知无线电等.
- 周晓勇: 女, 1994年生, 硕士生, 研究方向为LTE-V2X关键技术研究.
- 徐 浪: 男, 1993年生, 硕士生, 研究方向为异构网络融合.
- 黄晓舸: 女, 1982年生, 副教授, 主要研究方向为无线通信、移动通信系统5G前沿技术.