

V2X 无线接入技术演进及组网

Research on V2X Radio Access Technology
Evolution and Networking Solution

方案研究

黄陈横(广东省电信规划设计院有限公司,广东 广州 510630)

Huang Chenheng(Guangdong Planning and Designing Institute of Telecommunications Co.,Ltd.,Guangzhou 510630,China)

摘要:

专用短程通信(DSRC)和蜂窝V2X(C-V2X)是目前车联网2种主流的无线接入技术,然而现有的技术版本已逐渐不能满足更多先进车辆应用的通信需求,如全自动驾驶业务。首先简要介绍DSRC和C-V2X(现有LTE-V2X)关键技术及其对比,然后针对其演进,即IEEE 802.11bd和NR V2X,进行深入比较,侧重于解析其物理层和MAC层设计理念,最后在此基础上面向不同建设场景提出了基于PC5-Uu混合组网的V2X组网方案。

关键词:

DSRC;蜂窝V2X;无线接入技术;PC5接口;Uu接口;NR

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2020.11.009

文章编号:1007-3043(2020)11-0046-07

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

Dedicated short-range communication (DSRC) and Cellular V2X (C-V2X) are the two main radio access technologies of V2X. However, the existing technology versions have gradually failed to meet the communication requirements of more advanced vehicle applications, such as fully automatic. It first briefly introduces the key technologies and comparisons of DSRC and C-V2X (existing LTE-V2X), and then makes in-depth comparisons for its evolution, namely IEEE 802.11bd and NR V2X, focusing on the analysis of its physical layer and MAC layer design concept. Based on this, a V2X networking solution based on PC5-Uu hybrid networking is proposed for different construction scenarios.

Keywords:

DSRC; Cellular V2X; Radio access technologies; PC5 interface; Uu interface; NR

引用格式:黄陈横.V2X无线接入技术演进及组网方案研究[J].邮电设计技术,2020(11):46-52.

1 概述

车用无线通信技术(V2X)是将车辆与一切事物相连接的新一代信息通信技术,其中V代表车辆,X代表任何与车交互信息的对象,主要包含车、人、交通路侧基础设施和网络。当前支持V2X通信的2种主流无线接入技术(RAT)是专用短距离通信(DSRC)和Cellular-V2X(C-V2X)。DSRC主要用于5.9 GHz专用频段,该频段已在许多国家专门用于ITS应用,C-V2X则可以在5.9 GHz专用频段以及蜂窝运营商的其他公众

频段中使用^[1]。

DSRC源于IEEE 802.11p标准,其MAC层协议具备简单且能够进行点对点通信的特点。但其在高移动性环境及其广域覆盖下性能较差。与此同时,3GPP也开发了基于C-V2X的LTE-V2X,使得C-V2X既能在没有蜂窝基础设施的情况下以分布式方式运行,同时也可利用运营商向现有的网络基础设施进行广域覆盖。随着V2X用例的服务质量(QoS)要求变得更加严格,如更低的时延要求,更高频次的消息交互,当前这2种V2X RAT无法提供所需的性能。

为了缩小DSRC和C-V2X之间的性能差距,IEEE于2019年1月成立任务组802.11bd(TGbd),计划将

收稿日期:2020-10-16

802.11p 演进至 802.11bd。另一方面,3GPP 也计划将基于 LTE 的 R14 演进到基于新无线电(NR)的 R16 版本。NR V2X 将支持更先进的 V2X 应用,与 LTE-V2X 相比,这些应用可以获得更严格的 QoS 服务保障^[2],其中一些用例要求如端到端延迟低至 3 ms,可靠性为 99.999%,再加上高移动性环境带来的现有挑战,这些额外的需求使得 802.11bd 和 NR V2X 的设计极具挑战。

本文重点解析了 V2X 在无线接入层(物理层和 MAC 层)设计和演进理念,首次深入对比探讨了这 2 种技术演进的设计思路和开发过程,并结合国内行业发展状况为建设方提出相应的组网方案。

2 DSRC 及 V2X 现有版本概述

2.1 关键技术

2.1.1 专用短程通信(DSRC)

DSRC 的物理层和 MAC 层在 IEEE 802.11p 标准中定义,该标准主要源自 Wi-Fi 的 IEEE 802.11a 协议。由于 DSRC 是为具有高移动性的车载网络而设计的,因此引入了增强功能以使 DSRC 适用于此类环境。DSRC 物理层采用正交频分复用(OFDM),其信道带宽为 10 MHz。与 Wi-Fi 相比,DSRC 子载波间隔减少到原来的 1/2。其 MAC 协议采用 CSMA 载波侦听多址接入^[3],没有指数避让,是基于竞争的 MAC 协议,其竞争窗口参数保持固定,原因有 2 个:DSRC 主要为基于广播的系统设计的,没有确认帧返回发射端;二是指数避让可能导致大的竞争窗口,从而导致高延迟。

2.1.2 蜂窝 V2X(C-V2X)

C-V2X 是由 3GPP 在其 R14 中开发的 V2X 无线接入技术,其物理层时频资源结构与 LTE 基本相同,可在现有的蜂窝网络中直接部署。考虑到无法依赖蜂窝基础设施场景的存在,且进一步降低时延,C-V2X 定义了使用 PC5 接口上的侧行链路(Sidelink)实现点对点 V2X 通信。

a) 使用 LTE-Uu 空口的 V2X:LTE-Uu 是 eNodeB 和 UE 之间的传统空口。为了减少与 V2X 上行链路调度开销,eNodeB 可以使用半静态调度,即 eNodeB 不仅为下一次传输而且还为多个后续传输分配资源给 UE。半静态调度对于一些具有周期性流量且数据包大小固定的 V2X 应用是有好处的^[4]。

b) 使用 PC5 空口的 V2X:PC5 空口允许 UE 之间的点对点通信(D2D),而不需要每个分组都通过 eNo-

deB。此时 UE 可以在 eNodeB 存在和不存在的情况下选择使用 PC5 接口。

3GPP R14 包括以下 2 种 PC5 传输模式(Mode-3 和 Mode-4),以支持低延迟 V2X 通信^[5]。

a) Mode-3:侧行链路传输的资源分配由 eNodeB 完成。此模式是针对 eNodeB 覆盖范围内的情况定义的。其使用以下几种调度机制。

(a) 半静态调度:与 LTE-Uu 类似。

(b) 基于 UE 上报的调度:UE 可以主动上报需求,以帮助 eNodeB 进行侧行链路资源分配。

(c) 跨载波调度:如果运营商拥有 2 个或多个载波,则 eNodeB 可以在其中一个载波上调度资源,而通过另外一个载波进行侧行链路传输。

b) Mode-4:蜂窝覆盖范围外的 UE 可以使用 Mode-4,此时 UE 使用资源预留算法自主地预留资源,具体可参考文献[4]。

2.2 性能对比

根据参考文献[6],DSRC 的性能对于大多数车载安全应用是令人满意的,只要车辆密度适中,端到端延迟一般在 100 ms 以内。若车辆密度超过一定限度,则 DSRC 性能由于 2 个主要因素而迅速恶化:同时传输引起的分组冲突和隐藏节点引起的分组冲突。

与 DSRC 相比,C-V2X 是一种较新的技术。参考文献[7]表明,在链路预算方面,C-V2X 侧行链路 Mode-4 的性能优于 DSRC,这可以通过参考文献[6]中的试验得到证实。此外,C-V2X 侧行链路 Mode-3 中通过集中分配资源有效利用频率可获得更好的性能保证,如参考文献[8]中所述。但当流量密度增加时,C-V2X 的性能也会迅速下降^[7],特别是对于 Mode-4。

2.3 演进业务需求

2 种技术演进的一个显而易见的需求是提高现有应用的可靠性,同时确保其时延性能满足需求。3GPP 在参考文献[9]中定义了一些高级车载应用的要求。这些 V2X 应用不仅可以提高道路安全性,还可以帮助改善交通管理,并满足乘客的信息娱乐需求。这些应用分为四大类。

- a) 车辆编队。
- b) 高级自动驾驶。
- c) 扩展传感器。
- d) 远程操控驾驶

表 1 总结了这些应用的 QoS 要求。

如表 1 所示,这些 V2X 应用程序的延迟和可靠性

表1 高级V2X应用QoS需求

应用场景	最大时延/ms	数据包大小/B	可靠性/%	速率/(Mbit/s)	覆盖范围/m
车辆编队	10~500	50~6 000	90~99.99	50~65	80~350
高级自动驾驶	3~100	300~12 000	90~99.999	10~50	360~500
扩展传感器	3~100	1 600	90~99.999	10~1 000	50~1 000
远程操控驾驶	5	-	99.999	UL:25, DL:1	50~1 000

要求较高,为了支持这种多样且具有挑战性的V2X应用,必须对现有的V2X技术进行改进。

3 DSRC演进:IEEE 802.11bd

3.1 演进目标

IEEE 802.11bd演进目标包括^[10]:

a) 实现2倍的802.11p的MAC吞吐量,且相对速度高达500 km/h。

b) 实现802.11p覆盖半径的2倍达到2 000 m。

c) 实现与V2X通信相关的车辆定位。

此外,802.11bd必须支持^[10]:

a) 互操作性:802.11p设备必须能够解码(至少1种)来自802.11bd设备的传输,反之亦然。

b) 共存:802.11bd必须能够检测802.11p传输并推迟信道访问,反之亦然。

c) 向后兼容性:至少有1种802.11bd模式必须可与802.11p互操作。

d) 公平性:在同信道方案中,802.11bd和802.11p必须获得相同的信道接入机会。

3.2 增强技术

3.2.1 中间码(Midambles)

802.11a物理层基于OFDM,具有64个子载波,312.5 kHz的子载波间隔。通过将子载波间隔减少到原来的1/2,即可得到802.11p的物理层配置。对于典型的车速,156.25 kHz子载波间隔获得了抗多径衰落和抗多普勒频移之间的权衡。因此,设计802.11bd物理层的一种方法是使用802.11ac物理层作为基线,并将子载波间隔减半,以便64个802.11bd子载波可以适合10 MHz带宽。然而,在参考文献[11]中已经表明,使用一半的子载波间隔的802.11ac物理层实际上表现不如802.11p,归因于帧内的信道变化。为了解决这

个问题,802.11bd建议使用中间码,其形式和功能与前导码相似,不同在于它们在帧内位置。前导码位于帧开始处,对于快速变化的信道,初始位置的信道估计可能很快就会过时。因此在适当的OFDM数据符号之间引入中间码用于信道跟踪,可有效获得数据符号准确的信道估计。在C-V2X和NR V2X中,DMRS符号扮演类似的角色。

3.2.2 重传

增加可靠性的机制是对数据包进行1次或多次重传。使用如图1所示的帧结构,可以提高802.11p和802.11bd的可靠性。初始传输及其重传可以在相同的信道访问机会内发送,也可以使用单独的竞争过程。IEEE的802.11 TGbd提出了一种自适应重传方案,其中重新发送帧的决定和重传的次数基于拥塞级别。在C-V2X中使用了类似的重传机制来提高其可靠性。

3.2.3 双载波调制

双载波调制(DCM)是802.11ax中引入的一种技术。DCM包括在相隔足够远的子载波上2次发送相同的符号,从而实现频率分集。

3.2.4 其他物理层和MAC层特性

考虑包含在802.11bd中的其他物理层特征如使用LDPC码和多个发射/接收天线以使用空间分集来增加可靠性或使用空间复用来增加吞吐量^[11]。

在MAC层,为了确保802.11bd和802.11p设备具有相同和公平的信道接入机会,802.11bd将重新使用802.11p的竞争参数用于支持不同分布式信道接入场景。

3.2.5 毫米波频段

毫米波频段(60 GHz及以上)具有巨大的潜力,可以满足需要小距离通信但吞吐量非常高的用例(例如视频流,下载高分辨率3D地图等)。毫米波版802.11bd的设计基础有类似802.11ad这样的802.11标准可参考,或者802.11的增强版802.11ay,后者已经在毫米波频段中运行。显然,该频带的一个缺点是局限于不需要大通信范围的应用场景。

3.3 挑战

3.3.1 互操作性和向后兼容性

如前所述,互操作性和向后兼容性是802.11bd必

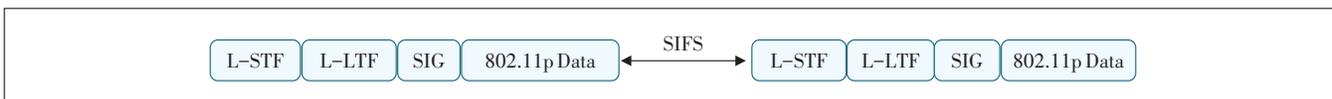


图1 802.11bd重传帧格式

须满足的2个关键要求。但其对802.11bd的物理层和MAC层的设计增加了一些限制。例如,空时编码或替代波形的使用等多种天线方案无法满足互操作性要求。

3.3.2 共存

802.11bd还考虑了802.11p和802.11bd设备共存的场景。共存不同于互操作性和向后兼容性,前者不需要802.11p设备来解码802.11bd帧,而只需将802.11bd传输检测为有效的802.11帧并推迟信道接入。采用如图2所示的帧格式,802.11bd设备仅传输802.11bd(而非802.11p)设备的消息^[12],而传统设备在公共域L-STF,L-LTF和SIG解码后将信道识别为忙碌并推迟信道访问。表2为802.11p和802.11bd总结对比。

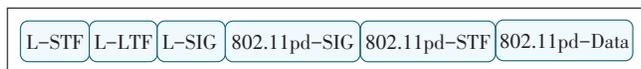


图2 802.11和802.11bd共存帧格式

表2 802.11p和802.11bd对比

特性	802.11p	802.11bd
无线频谱/GHz	5.9	5.9 & 60
信道编码	BCC	LDPC
重传	无	拥塞依赖
抗多普勒频移	无	Midambles
子载波间隔/kHz	156.25	312.5,156.25,78.125
支持移动速度/(km/h)	252	500
空间流数	1	多流

3.4 性能

根据802.11bd的链路级仿真结果^[11],重传可获得3~8 dB的增益(BLER为 10^{-1})。纯802.11bd设备场景中,DCM可用于802.11bd。在吞吐量改进方面,在数据符号之间插入中间码使得更高阶MCS的使用成为可能,其在高速公路NLOS场景中使用中间码和LDPC编码在20 MHz信道上实现吞吐量加倍^[13]。此外高信噪比(SNR)(>20 dB)情况下吞吐量加倍,这在车辆间距离小的情况下可以较容易地实现。

4 C-V2X演进:NR V2X

4.1 演进目标

NR V2X的设计目标不是取代已有C-V2X,而是补充C-V2X以扩展支持更多用例。虽然这些用例中的一部分需要传输周期性数据,但是大量NR V2X用例还是基于非周期性消息的可靠传递。此外,虽然大

量应用需要广播传输,但是也存在通过仅向特定的车辆子集(UE)传输消息来有效地支持诸如车辆编队之类的应用。为此NR V2X引入2种新的通信类型,即单播和组播。与IEEE 802.11bd一样,NR V2X也考虑将mmWave频段用于V2X应用,特别是对于短距离和需要高吞吐量的应用。但是,考虑到R16的时间表,NR V2X对mmWave支持近期无法实现。

NR V2X目标如下。

a) 增强的侧行链路设计。

b) Uu接口增强功能。

c) 基于Uu接口的侧行链路分配/配置。

d) RAT/接口选择:用于识别给定V2X消息传输的最佳接口(在LTE侧行链路、NR侧行链路、LTE Uu和NR Uu之间)的研究机制。

e) QoS管理:研究满足不同无线接口QoS要求的解决方案。

f) 共存:在单个设备中C-V2X和NR V2X共存的可行性研究和技术解决方案,即设备内共存。

4.2 增强技术

a) 基本功能。

(a) NR V2X侧行链路模式:与C-V2X一样,NR V2X定义了2种侧行链路模式。NR V2X侧行链路Mode-1定义了允许在gNodeB覆盖范围内与车辆通信的机制。在该模式中,gNodeB将资源分配给UE。另一方面,NR V2X侧行链路Mode-2支持在覆盖范围外的点对点通信。

(b) 单播、组播、广播:在NR V2X单播中,发送UE与接收UE点对点通信,当发送UE希望与多于一个但仅在其附近的特定UE子集进行通信时,使用组播模式。广播模式使UE能够与其传输范围内的所有UE通信(C-V2X仅支持广播传输)。单个UE可以同时激活多种通信类型。例如,车辆编队UE可以使用组播模式与其编队成员UE进行通信,同时使用广播模式将其他周期性消息发送到不属于该排的另外一部分UE。

b) OFDM参数集。子载波、时隙及调度:支持3GPP Rel.15中引入的灵活参数集和低时延特性,具体参见参考文献[14]。

c) PSCCH和PSSCH的复用。不同于Uu空口中的上下行链路(Uplink和Downlink),侧行链路(Sidelink)是为了支持V2X设备间直接通信而引入的新链路类型,其最早是在D2D应用场景下引入的,V2X体系对

其进行了扩充和增强。NR 侧行链路主要由 PSCCH 控制信道、PSSCH 共享信道、PSBCH 广播信道和 PSFCH 反馈信道组成。在 C-V2X 中, PSCCH 和 PSSCH 在频率上复用(参见图 3(a))。这种方法的缺点是接收器必须缓冲整个子帧的消息,并且只能在子帧的末尾解码消息。为了解决这个问题, PSCCH 和 PSSCH 将在 NR V2X 中时分多路复用,即首先发送 PSCCH,然后发送 PSSCH。如图 3(b)所示,其中标记为“空闲/ PSSCH”的资源的使用仍在考虑之中并且可以保持空闲或用于 PSSCH 的传输。

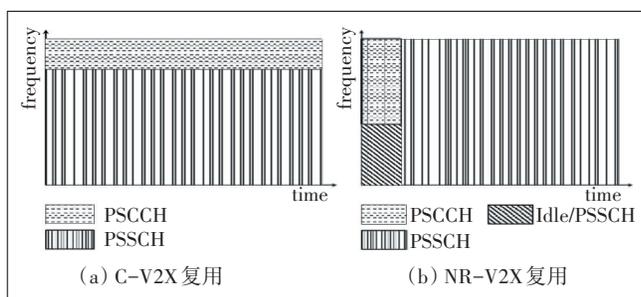


图3 PSCCH和PSSCH复用

d) 新增侧行链路反馈信道(sidelink feedback channel)。尽管 C-V2X 提供对重传的支持,但是这些重传是盲目的,即如果配置了源 UE,则重新发送而不知道周围 UE 是否已经接收到初始传输,显然这种方式的资源利用率低。此外,如果源 UE 可以在其目的地 UE 处访问信道状态信息,则可以利用这一点来调整诸如 MCS 的传输参数。为了促进启用基于反馈的重传和信道状态信息获取, NR V2X 引入了新的反馈信道,即物理侧行链路反馈信道(PSFCH)。

e) 其他物理层改进。除上述功能外, NR V2X 还将在物理层提供许多其他增强功能,其大部分都是从 NR 继承来的。如使用 LDPC 编码、64-QAM 的高阶 MCS 以及每个时隙采用灵活数量的 DMRS 符号。

f) 新增资源调度 NR Mode-2 子模式。NR V2X 支持 2 种资源分配方案: Mode-1 和 Mode-2, Mode-1 即基站调度侧行链路资源给 UE 进行侧行链路传输。与没有子模式的 C-V2X 侧行链路 Mode-4 不同, 3GPP 开始评估 NR V2X 侧行链路 Mode-2 的 4 个子模式如下:

a) Mode-2(a): UE 自主选择用于侧行链路的资源传输。

b) Mode-2(b): UE 辅助其他 UE 选择用于侧行链路的传输资源。

c) Mode-2(c): 由 NR configured grant(和 type1 类

似)对 UE 的侧行链路传输进行配置。

d) Mode-2(d): UE 调度其他 UE 的侧行链路传输。

在随后的 3GPP 会议中,已经同意不再支持模式 2(b)和 2(c)作为单独的子模式^[15]。UE 辅助(即,模式 2(b))可以在模式 2(a)/(d)中使用,以改善资源选择的性能。另一方面,即使不支持模式 2(c)作为单独的子模式,也不排除在模式 2(a)中使用时分资源模式^[15]。模式 2(a)和 2(d)的设计提出了前所未有的挑战。

4.3 挑战

a) C-V2X and NR V2X 共存。NR V2X 并不向后兼容 C-V2X^[16],这种不兼容性源于 NR V2X 中使用多种参数集等因素。因此,较新的车辆将配备 2 种技术模块,即 C-V2X 和 NR V2X,由此必须设计有效的共存机制。对于 C-V2X 和 NR V2X 共存, NR V2X 研究组^[16]仅考虑“非共信道”场景,可通过频分复用(FDM),或者时分复用(TDM)实现。C-V2X 和 NR V2X 对比如表 3 所示。

表3 C-V2X 和 NR V2X 对比

特性	C-V2X	NR V2X
通信类型	Broadcast	Broadcast、Groupcast、Unicast
MCS	QPSK、16-QAM	QPSK、16-QAM、64-QAM
波形	SC-FDMA	OFDM
重传	Blind	HARQ
物理信道	PSCCH、PSSCH	PSCCH、PSSCH、PSFCH
复用	FDM	TDM
参考信号	Four/sub-frame	Flexible
子载波间隔/kHz	15	sub-6 GHz: 15、30、60; mmWave: 60、120
调度粒度	one sub-frame	slot、mini-slot or multi-slot
侧行链路模式	Modes-3 & 4	Modes-1 & 2
侧行链路子模式	N/A	Modes 2(a)、2(d)

b) 通信消息类型和周期的共存。由相同 UE 使用 NR V2X 发送的不同消息可能具有非常不同的 QoS 要求。例如,编队车辆 UE 必须同时支持发送广播、组播和单播消息。此外,这些消息中的一些可能是周期性的,而其他消息则是非周期性的。定期广播的流量可以在覆盖范围外的场景中使用 C-V2X 侧行链路 Mode-4 资源预留算法。而其他流量类别(如非周期性单播)则可能会使用不同的传输机制。

4.4 性能

参考文献[17]中的结果表明,使用 60 kHz 子载波间隔相比 15 kHz 的 C-V2X 可以实现较大的性能增益。为了覆盖较远的距离,使用 60 kHz 子载波间隔需要扩

展循环前缀,这增加了信道开销,但同时可以通过在60 kHz子载波间隔使用更少的DMRS符号/时隙来补偿。此外通过使用多天线技术,在60 kHz子载波间隔下将DMRS符号/时隙数量从4减少到2,使得即使在500 km/h下也几乎没有性能损失。

在高速公路场景下,使用60 kHz子载波间隔和20 MHz信道,所有通信类型(即广播、组播和广播)和消息类型(即周期性和非周期性)的可靠性为99.7%~99.8%。这表明,至少在高速公路方案中,NR V2X基本满足表1中列出的一些性能要求。

然而,在通常以车辆密度较高和路径损耗较大为特征的城市场景中,NR V2X的可靠性能在93%~97%的范围内变化,表明在此环境下其可靠性需要进一步增强。此外,参考文献[17]中给出的结果是针对相对低的消息传输频率(~10 Hz),NR V2X对更苛刻应用的支持性能还有待观察。此外参考文献[17]中显示的结果并未考虑第2章中描述的所有特征。

5 基于PC5-Uu混合组网的V2X组网方案

在技术路径选择上,由于802.11p技术成熟相对较早,产业链相对较成熟,因此车联网起步较早的发达国家如美国、日本等早期均倾向部署802.11p技术^[18-20]。但C-V2X作为后起之秀,以技术先进、性能优越以及可长期演进等优势获得产业界广泛支持^[18],国内企业后续将主推NR/LTE-V2X技术。因此面向不同的建设方及应用场景,本文提出以下2种C-V2X组网方案。

5.1 基于PC5的Mode-4专网

如图4所示,该方案通过RSU(路边单元)组网,车-车之间,车-RSU之间通过PC5接口互联,其架构简单,交通管理部门可完全掌控,可快速闭环,但完全使用RSU组网成本较高,且未来PC5 only的终端的渗透率较低,此外基于UE间竞争获取信道,当城区道路用户密集时,无法保障QoS(如自动驾驶),也不利于开展大带宽业务,组网可扩展性较差,此方案仅适用于特定区域的特定需求场景。

5.2 基于RSU优先部署的PC5 Mode-3/4混合组网

该方案有以下特点。

- a) RSU和V2X server由道路运营方部署。
- b) V2X server连接所有运营商的VCF。
- c) V2X server通过VCF发送PC5到各运营商的终端。

端。

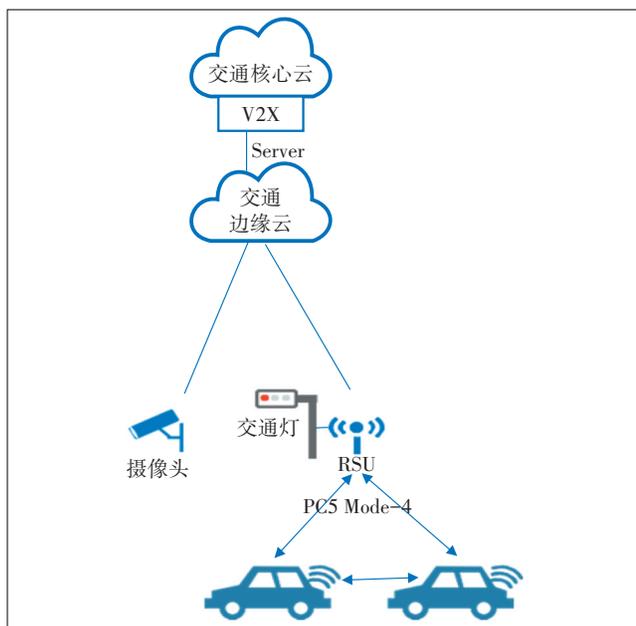


图4 基于PC5的Mode-4专网架构

如图5(a)所示,相比专网方案,该混合组网方案较复杂,涉及道路运营方和电信运营商等多部门管理协同。首先由道路运营方组建以RSU为主的支持PC5接口的专网,再通过电信运营商的公网Uu接口配合满足各种差异化服务和业务需求,其成本也较高,但建网初期也可以通过部分部署RSU的方式快速开展业务,如图5(b)所示。

6 结束语

2类平行演进的V2X无线接入技术为各个国家、行业监管机构及汽车制造商提供了2种技术选择发展车联网。本文重点从接入层(物理层、MAC层)角度阐述两者的演进,并对比其不同特征及其对车联网应用需求的满足。在同一区域内同时采用2种不兼容的演进技术可能会导致冲突和安全问题,这不利于V2X产业链的健康发展,从而无法发挥V2X产业的社会价值。基于国内行业发展趋势和路线,本文针对3GPP的C-V2X技术,面向不同建设场景,提出了基于PC5-Uu混合组网的V2X组网方案,为相关网络建设方提供建设性的参考方案。

参考文献:

- [1] WANG X, MAO S, GONG M X. An Overview of 3GPP Cellular Vehicle-to-Everything Standards [J]. GetMobile: Mobile Computing and Communications, 2017, 21(3): 19-25.
- [2] Study on enhancement of 3GPP Support for 5G V2X Services

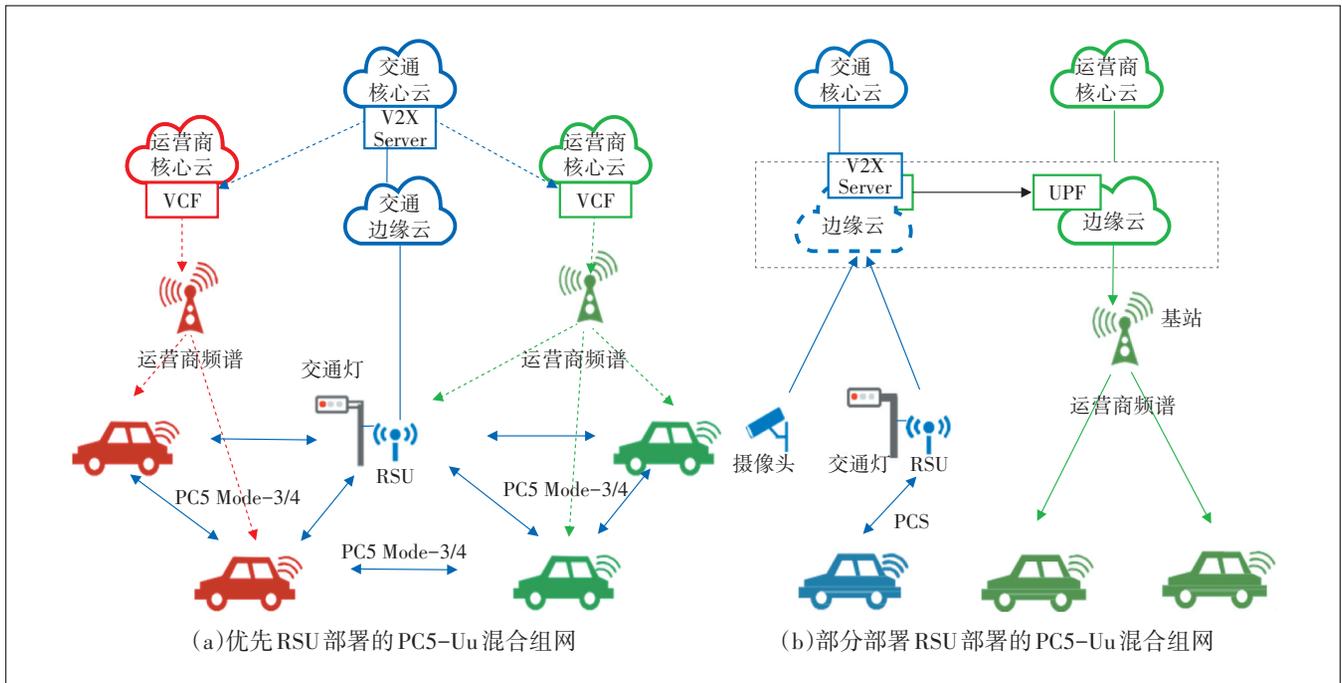


图5 PC5-Uu混合组网示意图

(v16.2.0, Release 16) : 3GPP TR 22.886 [S/OL]. [2020-07-23]. <ftp://ftp.3gpp.org/>.

[3] HASSAN M I, VU H L, SAKURAI T. Performance Analysis of the IEEE 802.11 MAC Protocol for DSRC Safety Applications [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2011, 60(8): 3882-3896.

[4] Study on LTE-based V2X Services (v14.0.0, Release 14) : 3GPP TR 36.885[S/OL]. [2020-07-23]. <ftp://ftp.3gpp.org/>.

[5] Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) ; Physical layer procedures (v14.3.0, Release 14) : 3GPP TS 36.213 [S/OL]. [2020-07-23]. <ftp://ftp.3gpp.org/>.

[6] V2X Technology Benchmark Testing [EB / OL]. [2020-07-23]. <https://www.fcc.gov/ecfs/filing/109271050222769>.

[7] RAFAEL, MOLINA-MASEGOSA, JAVIER, et al. LTE-V for Side-link 5G V2X Vehicular Communications: A New 5G Technology for Short-Range Vehicle-to-Everything Communications [J]. IEEE Vehicular Technology Magazine, 2017.

[8] BAZZI A, MASINI B M, ZANELLA A, et al. On the performance of IEEE 802.11p and LTE-V2V for the Cooperative Awareness of Connected Vehicles [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2017: 1-1.

[9] WANG X, MAO S, GONG M X. An Overview of 3GPP Cellular Vehicle-to-Everything Standards [J]. GetMobile: Mobile Computing and Communications, 2017, 21(3) : 19-25.

[10] SUN B. 802.11 NGV Proposed PAR [R]. IEEE NGV Meeting, Nov. 2019.

[11] HONGYUAN Z. 802.11 for Next Generation V2X Communication [R]. IEEE NGV Meeting, March 2018.

[12] DONGGUK L. Consideration on Features for 11bd [R]. IEEE NGV Meeting, Jan. 2019.

[13] RUI C. Potential PHY Designs for NGV [R]. IEEE NGV Meeting, Jan. 2019.

[14] 黄陈横. 3GPP 5G NR 物理层关键技术综述 [J]. 移动通信, 2018, 42(10) : 5-12.

[15] R1-1903397: Feature Lead Summary for NR-V2X Resource Alloc. Mechanism [EB/OL]. [2020-07-23]. <ftp://ftp.3gpp.org/>.

[16] RP-181480: New SID: Study on NR V2X [EB/OL]. [2020-07-23]. <ftp://ftp.3gpp.org/>.

[17] R1-1813230: Preliminary Link Level Evaluations on Reference Signal for NR V2X [EB/OL]. [2020-07-23]. <ftp://ftp.3gpp.org/>.

[18] 中国通信学会. 车联网技术、标准与产业发展态势前沿报告 [EB/OL]. [2020-07-23]. <https://www.useit.com.cn/thread-21633-1-1.html>.

[19] HAMEED MIR, ZEESHAN, FILALI, FETHI. LTE and IEEE 802.11p for vehicular networking: a performance evaluation [J]. Eurasip Journal on Wireless Communications & Networking, 2014(1) : 89.

[20] FERNANDEZ J, BORRIES A, LIN C, et al. Performance of the 802.11p Physical Layer in Vehicle-to-Vehicle Environments [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 61(1) : 3-14.

作者简介:

黄陈横, 毕业于中国科学技术大学, 工程师, 硕士, 主要从事移动网络咨询设计研究工作。

