

C-V2X 拥塞控制研究

2021年7月

摘 要

国内 V2X 应用层标准《合作式智能运输系统 车用通信系统应用层及应用数据交互标准》于 2017 年和 2020 年分别发布了第一阶段和第二阶段的研究成果，分别重点概括了基本安全类和效率增强类应用的典型场景，以及用于支持相应应用场景的消息集。基本安全消息（Basic Safety Message）和感知共享消息（Sensor Sharing Message）作为第一和第二阶段的典型消息，在其实际应用中，由于空口资源的限制，在其传输过程中需同时引入拥塞控制机制以减少传输冗余，降低空口负荷。

本白皮书介绍了分 V2X 的几类典型场景及其应用层消息设计，根据应用的特性分析其对系统资源的占用和拥塞控制机制的必要性；并进一步地概括了目前典型的应用层和接入层拥塞控制机制及仿真性能分析。

参与单位：高通无线通信技术（中国）有限公司

参与人员：

目 录

C-V2X 拥塞控制研究	1
摘 要	2
目 录	3
1 范围	4
2 概述	4
3 典型场景及相关应用层消息	4
3.1 交通安全与效率类基本应用	4
3.1.1 场景描述	4
3.1.2 应用层消息	5
3.2 感知共享	6
3.2.1 场景描述	6
3.2.2 应用层消息	6
3.3 其他场景	7
4 拥塞控制策略	8
4.1 接入层	8
4.2 应用层	8
4.2.1 基本安全应用的拥塞控制	8
4.2.2 感知共享应用的拥塞控制	10
5 总结	17
缩略语	18
参考文献	18
致谢	19

1 范围

本报告介绍 C-V2X 中的典型应用场景进行描述，分析不同应用对拥塞控制机制的需求。并针对典型场景中的基本安全应用和感知共享应用，总结目前拥塞控制的算法研究和仿真结果。

2 概述

C-V2X 拥塞控制是指在 V2X 系统中针对空口资源有限但负载过重的情况，在接入层和应用层采取一定的策略，对占用资源（子信道，功率等）进行限制，以及对高层生成消息的速率和消息长度进行自适应调整。

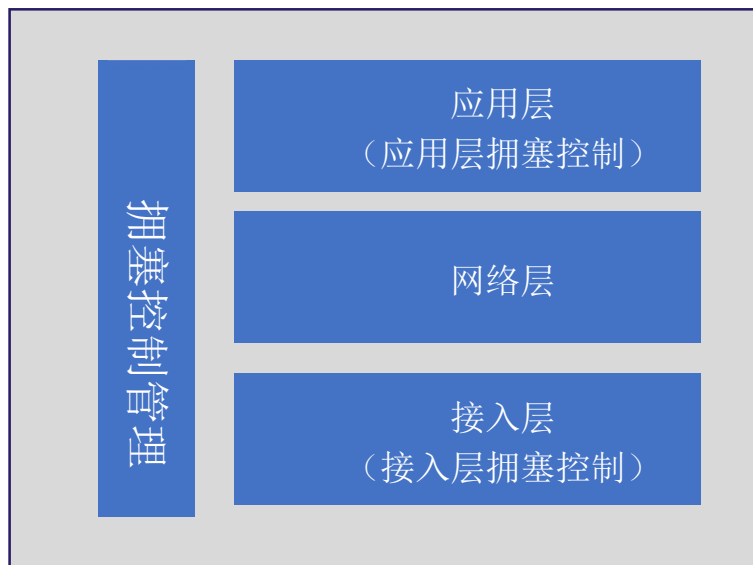


图 2-1 拥塞控制管理架构

3 典型场景及相关应用层消息

本章节选取 V2X 中典型场景，从应用场景的需求出发，结合其关联的应用层消息传输特性，分析不同场景下的对系统负载及拥塞控制策略的必要性。

3.1 交通安全与效率类基本应用

3.1.1 场景描述

C-V2X 拥塞控制研究

《智能网联汽车基本应用白皮书》中汇总了交通安全及交通效率类的大量基本应用，包括前向碰撞预警、紧急制动预警、变道辅助、车速引导等。在这些典型场景中，确保交通安全及效率的关键在于车辆安全状态信息的即时交互，即 V2X 车辆周期性地广播地自身状态，周边 V2X 车辆以及智能路侧设施实时地获取车辆状态信息，进行安全协同。以前向碰撞预警为例，如图所示，HV 和 RV 为配备了 V2X 的车辆，即使有遮挡车辆，HV 可通过接收 V2X 信息获知 RV 的位置、速度等状态信息，确保在前车突然变道的情形下，也不会发生于 RV 的碰撞。

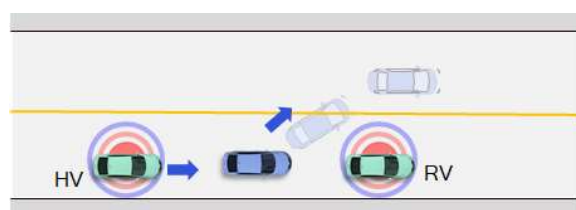


图 3-1 基本安全应用示例

3.1.2 应用层消息

BSM 和 CAM 是基本安全类场景中最重要应用层交互消息，BSM 是美国 SAE 和国内 CCSA/CSAE 定义的基本安全消息，CAM 协同意识消息则源自于欧洲 ETSI 标准。虽然具体的消息格式不完全相同，但其作用都是周期性广播车辆关键状态信息，使消息接收车辆或路侧设备可以跟踪其他车辆的位置等动态信息。

以 BSM 为例，BSM 由车载单元 OBU 发送，消息由基本数据单元和扩展数据单元构成，基本数据单元承载用户关键状态信息，包括用户位置、速度、加速度、移动方向、刹车状态等。扩展部分则包括车辆特殊事件状态、历史轨迹、车灯状态以及紧急或特种车辆状态指示等。

Basic Safety Message in SAE J2735		Basic Safety Message in C-SAE Phase I	
Part I (CoreData)		Part I (CoreData)	
Part II (Extensions)	VehicleSafetyExtensions	Part II (Extensions)	VehicleSafetyExtensions
	SpecialVehicleExtensions		VehicleEmergencyExtensions
	SupplementalVehicleExtensions		

图 3-2 BSM 消息结构

根据国内外标准定义，BSM 和 CAM 的最小传输周期为 100 毫秒，考虑安全证书开销在内的常规

C-V2X 拥塞控制研究

消息总长度约 300Byte。因为其周期性广播传输特性，在高密度交通环境下，基本安全消息对整个系统资源的占用是非常可观的，在同一区域内高频次的消息传输会导致空口资源频繁碰撞，产生大量误包与重传。因此，在定义 BSM 和 CAM 的应用层发送规则时，需要同时考虑拥塞控制策略。

3.2 感知共享

3.2.1 场景描述

感知共享是典型的 V2X 增强型应用，如图所示，车辆或路侧设备通过自身传感器（摄像头、雷达、激光雷达等）检测周边交通环境，包括其他 V2X 或非 V2X 交通参与者（车辆、行人等）、障碍物、交通标志等，将感知获取的上述目标信息以及道路交通事件通过感知共享消息通知到周围 V2X 设施，以扩展其他 V2X 车辆及路侧设施的感知范围，辅助驾驶决策，从而改善交通安全与效率。

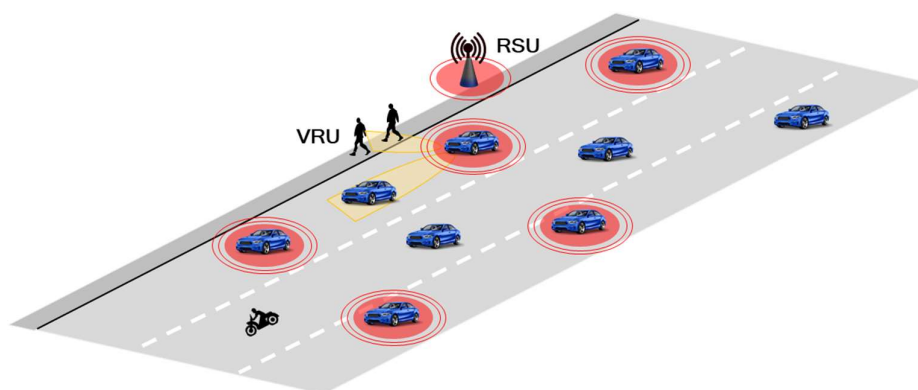


图 3-3 感知共享场景

3.2.2 应用层消息

国内标准《合作式智能运输系统 车用通信系统应用层及应用数据交互标准 第二阶段》中定义了感知共享消息 SSM 用于感知扩展场景，消息可由 OBU、RSU 以及 VRU 发送。SAE 定义的感知数据共享消息 SDSM 和 ETSI 定义的协同感知消息 CPM 与国内 SSM 的设计目标相同，且具有类似的消息结构。

以 SSM 和 SDSM 为例介绍感知共享的消息内容，其结构如图 3-4 所示。除了消息发送者的基本信息单元，SSM 根据其类型将发送目标划分为交通参与者、障碍物和交通事件三个部分。每个部分都可包含一个或多个该类型目标的基本信息，基本信息包括位置、移动方向、移动速度、目标尺寸等等，每种类型对应的信息字段会因其特性有所不同。交通参与者可进一步划分为机动车类型和非机动类型。SDSM 与 SSM 主要不同之处在其目标类型划分上，SDSM 并不包含交通事件信息的共享，且将目标划

分为车辆、行人（VRU）及障碍物三种。

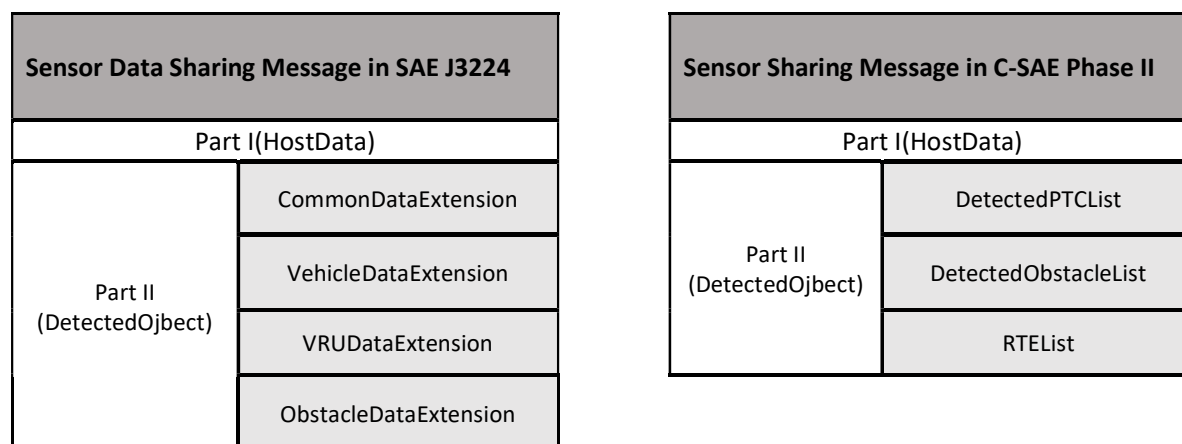


图 3-4 感知共享消息结构

3GPP 22.186 协议中定义感知共享消息的典型长度为 1600 Bytes。实际应用中，感知共享消息是变长的，主要取决于每次传输时该消息内承载的目标类型与数目，而用户实时感知获取到的目标显然是随交通环境动态改变的。对于 SSM 消息，假设消息内承载 50 个车辆类型目标的信息，则消息长度至少为 1100 Bytes（只考虑 mandatory 字段）。ETSI 中定义协同感知消息的最小发送周期为 100ms。感知扩展作为最典型的增强型应用，在高密度交通环境下，根据上述周期和长度预估，感知共享消息对系统资源的占用远大于基本安全消息。因此，拥塞控制机制在感知共享应用中尤为重要。

3.3 其他场景

V2X 其他典型应用包括协同驾驶、车辆编队等。协同驾驶典型场景如协作式变道、协作式路口通行等，主要是基于事件触发，通过车辆之间的协调，或 RSU 对车辆的协调控制，完成协作驾驶。考虑到其事件触发特性，协同过程仅限于协商者之间的一轮或多轮协调，并不持续占用系统资源，协同驾驶应用对拥塞控制机制的需求并不明显。与协同驾驶不同，车辆编队应用除基于事件触发的车辆编队管理类场景（编队创建、加入、离开等），还包括稳定的编队行驶场景，涉及领航车辆与成员车辆之间的周期性状态交互，由于车辆编队内较小的车间距，该状态交互的时延要求远小于基本安全和感知共享的时延要求。即使车辆编队应用中需要频繁的车队内部信息交互，在实际应用中，系统也会对每个车辆编队的成员数目会进行限制，因此在一定程度上，编队应用对拥塞控制的需求并不像 BSM 或 SSM 明显，本报告暂时不考虑车辆编队的拥塞控制。

4 拥塞控制策略

C-V2X 的拥塞控制管理模块包括接入层的拥塞控制、应用层拥塞控制以及层间的参数传输。接入层上报至高层的 CBR、CR 等参数可直接用于应用层的拥塞控制算法，而应用层则下发的优先级与 range 等参数则影响接入层的拥塞控制策略。本报告侧重于应用层拥塞控制机制的分析。

4.1 接入层

3GPP 中定义的接入层拥塞控制机制主要有基于信道拥塞程度的子信道资源限制。即根据 CBR（信道忙闲率，指示空口拥塞程度）和 PPPP（单包优先级，指示消息对应的优先级）/PQI（指示消息优先级、延时和可靠性要求）计算 CR limit（1s 内可占用的最大子信道数目），从而限制用户可占用的时频资源。另外，接入层的拥塞控制机制还包括基于 CBR 对系统消息（SL-CBR-CommonTxConfigList 和 SL-CBR-PPPP-TxConfigList）中携带的以下参数进行限制：重传次数、MCS、子信道个数以及发送功率。

CCSA 中针对 10MHz 带宽系统，定义 CBR/PPPP 与 CR limit 的映射关系如下表所示：

表 4-1 CBR/PPPP 与 CR limit 映射关系

	PPPP1-PPPP2	PPPP3-PPPP5	PPPP6-PPPP8
CBR measured	CR limit	CR limit	CR limit
$0 \leq \text{CBR} \leq 0.3$	No limit	No limit	No limit
$0.3 < \text{CBR} \leq 0.6$	No limit	0.03/150	0.02/100
$0.6 < \text{CBR} \leq 0.80$	0.02/100	0.006/30	0.004/20
$0.8 < \text{CBR} \leq 1$	0.02/100	0.004/20	0.002/10

4.2 应用层

4.2.1 基本安全应用的拥塞控制

对于基本安全类消息 BSM/CAM，其拥塞控制通过应用层动态调整消息的发送周期实现，即在各用户的应用层消息生成过程中根据拥塞控制原则调整生成间隔。国内标准组织（CCSA/CSAE/NTCAS）和国外标准组织（SAE/ETSI）对基本安全类信息的拥塞控制策略已经有了明确的定义。

4.2.1.1 CAM

根据 ETSI EN302 637-2 标准的定义，满足以下两个条件任意一个即可触发 CAM 传输：

- 1) 距上次生成 CAM 的时间 T_0 超过 T_1 ，且

C-V2X 拥塞控制研究

- a. 当前航向角（Heading）与前一次 CAM 中的航向角之差 超过 4° 或
- b. 当前位置（Position）与前一次 CAM 中的位置之差 超过 4m or 或
- c. 当前速度（Speed）与前一次 CAM 中的速度之差 超过 0.5m/s;

2) 距上次生成 CAM 的时间 $T_0 \geq T_2$

Note:

- a. 每次 CAM 生成后，更新 T_2 ，若此次 CAM 由条件 1) 触发，则 $T_2 = T_0$ ；若连续 3 次 CAM 由条件 2) 触发，则 $T_2 = 1s$ 。
- b. T_1 取值范围为 100ms~1s，取决于接入层拥堵状态以及消息优先级。

由上述 CAM 消息的生成规则可知，欧标中 CAM 的生成间隔为 100ms~1s，其拥塞控制的原则在于根据用户的状态变化调整发送间隔，即用户航向角、位置和速度超过一定门限的变化会缩短发送间隔，如果用户持续维持稳定状态，则 CAM 会保持最大发送间隔（1s）。

4.2.1.2 BSM

针对 BSM，SAE[9]和国内的车载系统系统技术标准[3]也分别定义了拥塞控制机制。

首先，BSM 可分为两类，常规 BSM 消息和事件触发 BSM 消息。事件触发 BSM 消息由车辆的紧急状态触发，该状态由 BSM 扩展部分中的一系列对应标志指示，其发送不受到常规 BSM 消息的周期约束。因此，BSM 的拥塞控制机制主要针对常规 BSM 消息。

SAE 标准中定义的拥塞控制策略主要是根据车辆密度调整 BSM 的发送间隔（ITT）。车辆密度的统计范围为周边 100m，车辆间的距离可通过解析 BSM 中的位置信息获取，系统对该范围内的车辆数目进行平滑统计，基于平滑后的车辆数目 vN 计算 BSM 的发送间隔：

$$Max_ITT = \begin{cases} ITT_{ref} & vN \leq B \\ ITT_{ref} \times \frac{vN}{B} & B < vN < \frac{ITT_{max}}{ITT_{ref}} \times B \\ ITT_{max} & vN \geq Th_2 \end{cases}$$

其中， Max_ITT 是当前的消息发送间隔， ITT_{ref} 和 ITT_{max} 分别是发送间隔的下限和上限值 100ms 和 600ms， B 为车辆密度参考值 25。

此外，作为常规 BSM 消息生成规则的补充，两个标准中都提供了基于跟踪误差（tracking error）的动态消息发送规则。跟踪误差是指根据传输时延和误包率等因素造成的远车对本车位置的估计值与本车实际位置之间的差异。根据实时的 tracking error 采用以下公式计算生成 BSM 的概率，再通过伯努利试验判定是否触发 BSM。

C-V2X 拥塞控制研究

$$p(k) = \begin{cases} 1 - \exp(-\alpha \times |e(k) - T|^2) & \text{if } T \leq e(k) < S \\ 1 & \text{if } e(k) > S \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

其中， $e(k)$ 为估计的跟踪误差 tracking error， T 和 S 分别为误差下限和上限，0.2m 和 0.5m。 α 为误差灵敏度值，75。

由以上设计规则可知，BSM 的拥塞控制机制是基于周边车辆密度的 BSM 发送周期调整，周边车辆密度越高，BSM 发送周期越长，反之，则发送周期缩短。基于 tracking error 的动态触发则是作为常规发送规则的补充，在误包场景下中及时触发 BSM 传输确保其他车辆可实时跟踪当前车辆的状态。

国内标准除引入 SAE 的拥塞控制策略外，还定义了基于 CBR 和车辆行驶速度的发送周期计算机制。这两种拥塞控制机制在国内标准中都是可选方案。第二种方案的发送周期计算如下表所示：

表 4-2 BSM 消息周期

CBR 范围	BSM 消息生成周期			
	0km/h~5km/h	5km/h~10km/h	10km/h~25km	>25km/h
$0 \leq \text{CBR} \leq 0.3$	100 ms	100 ms	100 ms	100 ms
$0.3 < \text{CBR} \leq 0.6$	100 ms	100 ms	100 ms	100 ms
$0.6 < \text{CBR} \leq 0.80$	1000 ms	500ms	200ms	100 ms
$0.8 < \text{CBR} \leq 1$	1000 ms	500 ms	400 ms	100 ms

对于基本安全类消息，以上所述的拥塞控制策略均已形成标准。因此本报告并未对上述机制重新进行仿真验证。关于其在 C-V2X 系统中的性能分析，可参考文献[11]。

4.2.2 感知共享应用的拥塞控制

感知数据共享过程不仅仅涉及目标数据的感知、抽象和消息封装。在密集交通环境下，V2X 用户感知到大量目标物信息并进行传输，对于感知数据共享消息的接收用户来说，从这些位置相近的用户接收到的信息存在明显的重复，因此，在消息发送端可以进行感知共享消息的拥塞控制处理，即在每个消息发送时机，通过对每个检测到的目标物的类型、动态以及有关该目标物的信息收发等情况决定是否将其抽象信息封装到当前消息中。

与基本安全消息的拥塞控制机制不同，感知共享消息的拥塞控制主要针对消息长度进行调整，消息的发送周期并不是重点的研究方向。国内外标准组织对感知共享信息的拥塞控制机制的研究还处于讨论和仿真阶段，目前未形成正式的标准。原则上，感知共享的拥塞控制算法是通过对待传输的感知

目标信息进行优先级判定与筛选，对消息长度进行控制，以减少对同一目标信息的重复传输。

4.2.2.1 消息拥塞控制算法

- 消息发送规则

ETSI 关于感知共享的技术报告 TR 103 562 中定义了 CPM 消息的发送规则，其中动态判决原则也一定程度上体现了拥塞控制的思想。其动态判断规则与 4.2.1.1 中的条件 1) 类似，根据感知到的目标动态参数的改变是否超过门限，判定是否将该目标加入当前传输。具体地，符合如下所述任意条件的目标可加入当前 CPM 传输的目标列表：

1. 如果目标类型并非人或动物：
 - a. 既上次 CPM 传输之后，传感系统首次感知到该目标的存在，或
 - b. 当前感知的目标物的移动方向角度与该目标上次被 CPM 传输时的移动方向角度之差超过 4° 或
 - c. 当前感知的目标物的位置与该目标上次被 CPM 传输时的位置之差超过 4m 或
 - d. 当前感知的目标物的速度与 该目标上次被 CPM 传输时的速度之差 超过 0.5m/s 或
 - e. 距上次 CPM 传输该目标信息超过 1s。
2. 如果目标类型为人或动物（VRU）：
 - a. 既上次 CPM 传输之后，传感系统首次感知到该目标的存在，或
 - b. 如果考察目标列表中包含至少一个该类型目标满足距上次被 CPM 传输超过 500ms 的条件，则将目标列表中所有人或动物类型的目标都加入当前 CPM 传输中。

对于不是人或动物类型的目标，若其动态特征不满足条件 1，则可进一步地可根据其移动参数预估在下一轮的 CPM 传输机会到来时，其方向、位置、速度变化是否满足 1 中所述的 3 个动态条件，若满足，则可将其加入当前 CPM 传输中，该机制的目的是为了减少 CPM 整体传输次数。

- 冗余消除规则

为了进一步减少重复传输，降低系统内目标信息分享的冗余度，TR 103 562 中还列举了以下拥塞控制准则对目标进行筛选：

- a. **Object self-announcement:** 认为非 V2X 目标比 V2X 目标具有更高优先级。V2X 车辆会通过 CAM 或 BSM 广播状态信息，因此若目标为 V2X 车辆，则不将该目标加入到消息中，以减少信息传输冗余。该策略可显著降低系统负载，但如果出现 CAM/BSM 丢包的情况，则部分车辆会失去对该目标的感知。
- b. **Frequency-based rule:** 当前车辆如果在规定的时间内收到过目标信息的次数超过门限值，则不将该目标加入到消息中，以减少对目标信息的重复传输；

C-V2X 拥塞控制研究

- c. **Distance-based rule:** 在规定的时间内，如果曾接收到特定距离范围内的车辆共享的该目标信息，则不将该目标加入到消息中，以减少该距离范围内的信息冗余，从而降低资源碰撞概率。适当的距离值的选取是决定性能的关键，如果距离取值太小，则无法有效降低系统负载；若距离取值太大，则对当前车辆的感知扩展的作用提升有限。
- d. **Dynamics-based:** 该准则与 CPM 的动态触发规则类似，但用于计算差异的参照状态并不是目标上次由用户发出的 CPM 中指示的状态，而是用户接收到的 CPM 中最近一次关于该目标的状态指示，如果动态信息（速度、位置）均未出现明显变化（门限分别为 0.5m/s 和 4m），则不将该目标加入到消息中；
- e. **Confidence-based:** 如果当前检测到的目标的置信度不高于之前保存的该目标的可信度，则不将该目标加入到消息中；
- f. **Entropy-based:** 预估用户周边特定范围内的 V2X 车辆对该目标状态的跟踪，计算发送该目标时周边 V2X 车辆可获得信息熵的增益，如果增益都低于门限，则不将该目标加入到消息中。该算法在估计其他车辆对目标的跟踪时，需要根据位置信息估计一系列消息的丢包情况，这些消息包括特定时间窗内用户发送和接收到的所有 CPM，从计算量考虑，算法复杂度较高。

4.2.2.2 消息拥塞控制仿真

关于感知共享应用的拥塞控制策略，国内外组织暂时未形成明确的标准，为进一步分析和获取最优的拥塞控制策略，本报告选取上一章节中的冗余消除准则中的部分策略进行仿真验证其对系统性能的影响。

- 性能指标定义

首先定义两个性能指标用于评估拥塞控制算法的性能：PRR（Packet Reception Ratio）用于指示系统内消息的正确到达率，OAR（Object Awareness Ratio）用于指示系统整体的感知性能。

OAR 具体定义如下：

$$OAR[d] = \frac{\text{number of sensed objects at dist range } d}{\text{number of total objects at dist range } d}$$

其中，d 为与用户与目标的距离。

- 仿真场景与参数

设置仿真场景：ETSI model。场景配置的参数如表 4-3 所示。目前 NR-V2X 在各区域的频谱规划并未完全确定，因此仿真中采用的带宽参数仅作为仿真假设进行算法性能评估。

表 4-3 仿真场景参数

C-V2X 拥塞控制研究

Configuration	ETSI model
Lane	6 lanes
Vehicle speed	Varied speed in lanes, ~70kmph
TTC	2s
# UEs	280 vehicles
V2X car %	25%
Sensor range	360°, 150m radius

表 4-4 仿真场景参数

Drop	<ul style="list-style-type: none"> 25% V2X
Sensor range	<ul style="list-style-type: none"> 360°, R=150m
SDSM	<ul style="list-style-type: none"> $P_{SDSM}=100$ ms, $PDB=50$ms Packet size = $(35+72*N)$ bytes N is number of perceived objects
Redundancy mitigation rule	<ul style="list-style-type: none"> CC off: SA CC on: SA + Frequency-based CC on: SA + Distance-based CC on: SA + Dynamics-based <p>SA: self- announcement</p>
Mitigation rule configuration	<ul style="list-style-type: none"> $\gamma=100$ms Time window for statistic $t = 0$ Time threshold for frequency-based rule $r = 100$m Distance threshold for frequency-based rule
Phy parameters	<ul style="list-style-type: none"> 20MHz BW, 30kHz SCS Subchannel size: 10RB SE target=3.1 b/s/Hz
OAR stat	<ul style="list-style-type: none"> updatePeriod= winSize =100ms

C-V2X 拥塞控制研究

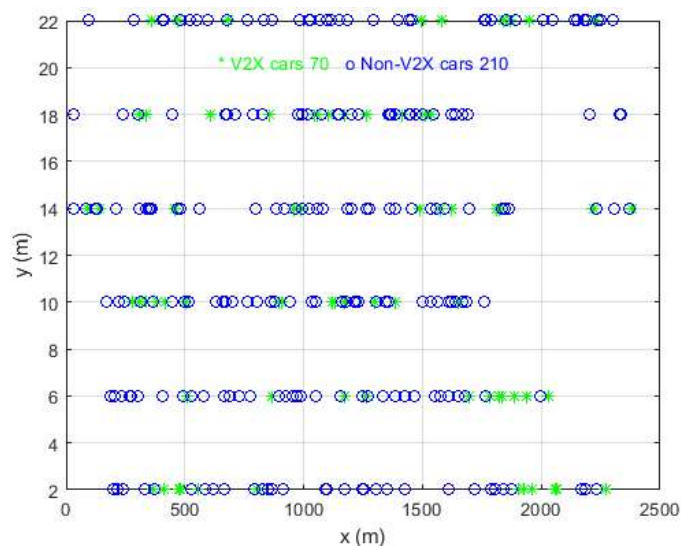


图 4-1 仿真场景示意图

• 仿真算法及性能

根据 4.2.2.1 中的拥塞控制策略，仿真图 2 所示算法组合对系统性能的影响

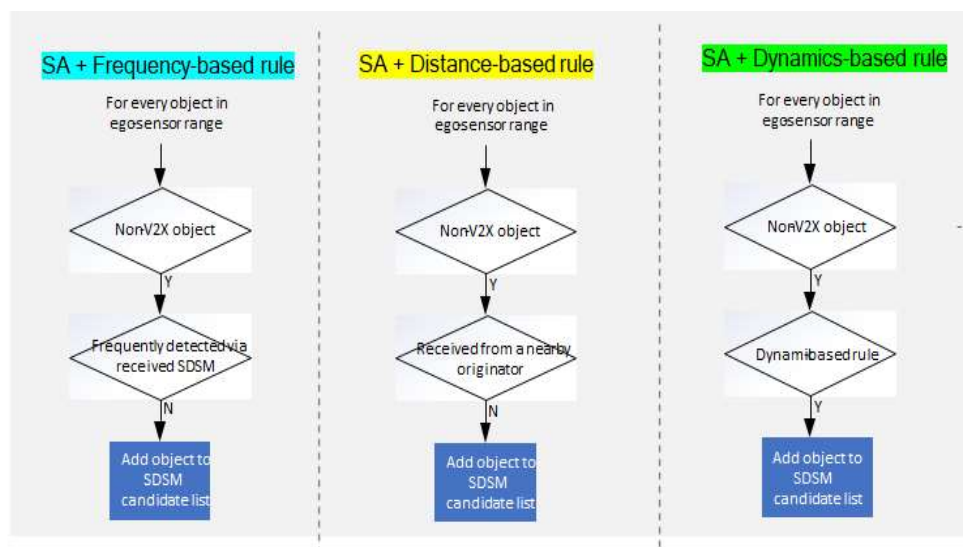


图 4-2 仿真算法流程

仿真得到的 PRR 和 OAR 曲线如下图 4-3 所示

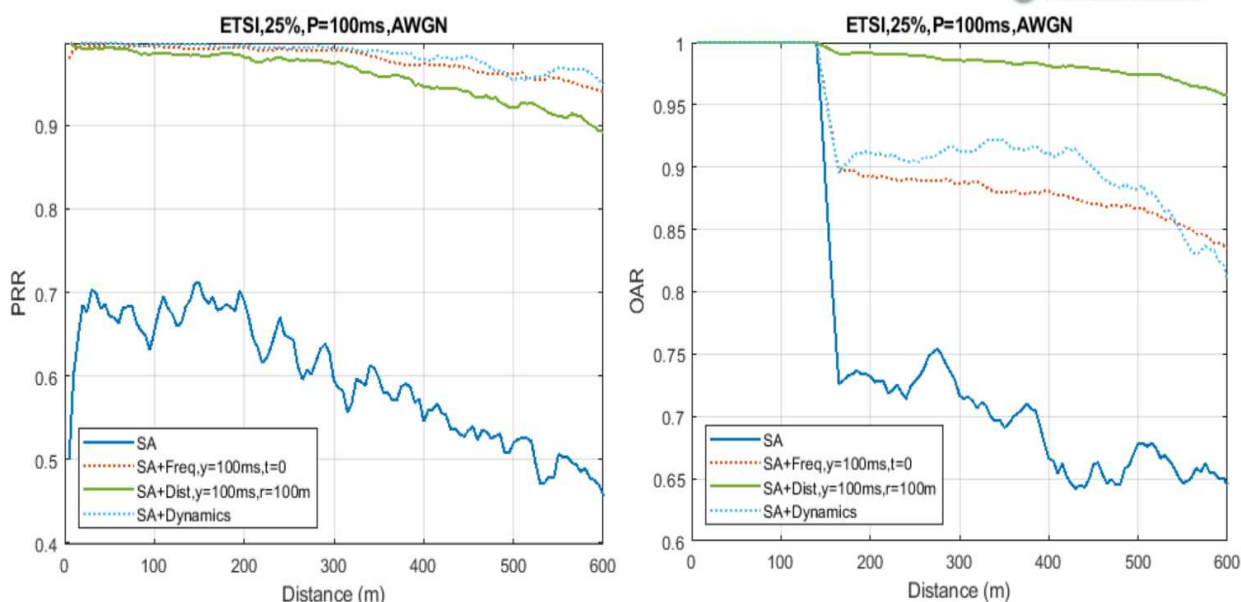


图 4-3 仿真性能曲线

从仿真曲线可得到以下结论，

- Self-announce rule (a) 和 Distance based rule (c)的组合性能最优；
- Self-announce rule (a) 和 Frequency based rule (b)或 Dynamic based rule(d)的组合性能次之。

4. 2. 2. 3 感知共享应用中的距离控制

在 NR-V2X 中，接入层的组播技术将与感知共享应用紧密结合。感知共享消息的发送端通过组播中的距离控制来调整消息的覆盖范围，在确保安全性的基础上，减少不必要的重传从而降低资源冲突，也可认为是一种有效的拥塞控制机制。

‘Range’作为 NR V2X 中重要的 QoS 参数之一，由业务或应用层的 QoS 需求动态确定，下发至接入层，用于指示组播传输中的消息可靠传输范围。在感知共享应用中，‘Range’指示的范围内消息的接收可靠性有所保障，从而确保在关联的接收端留有足够的机动距离和时间对感知共享消息进行反应。在下图所示的高速场景和十字路口场景下，由于车速和环境差异，感知共享应用对 Range 参数的需求也不同。在高速移动场景下，为确保安全驾驶，感知共享消息需要覆盖的距离远超过十字路口场景。

C-V2X 拥塞控制研究

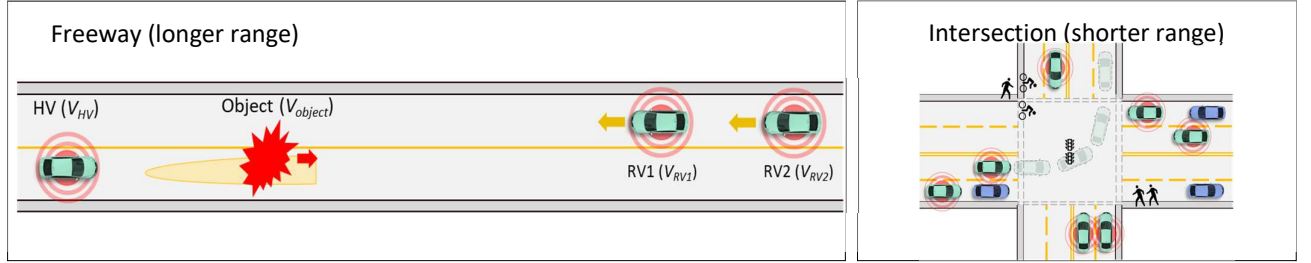


图 4-3 不同场景下的 Range 需求

将停车视距 SSD 作为组播 Range 参数的计算参考之一。SSD 最初的定义为车辆在与某静止物体碰撞前所需到的最小停车距离，由反应距离及刹车距离两部分组成。反应距离是指从车辆检测到目标物体到车辆开始刹车这段时间内的行驶距离，刹车距离指车辆从开始刹车到最终停止的行驶距离。SSD 的计算如图所示，其中 V_{ego} 表示车辆的行驶速度，单位 km/h ， t 为感知反应时间， $2.5s$ ； a 为最大减速度， $3.4m/s^2$ 。

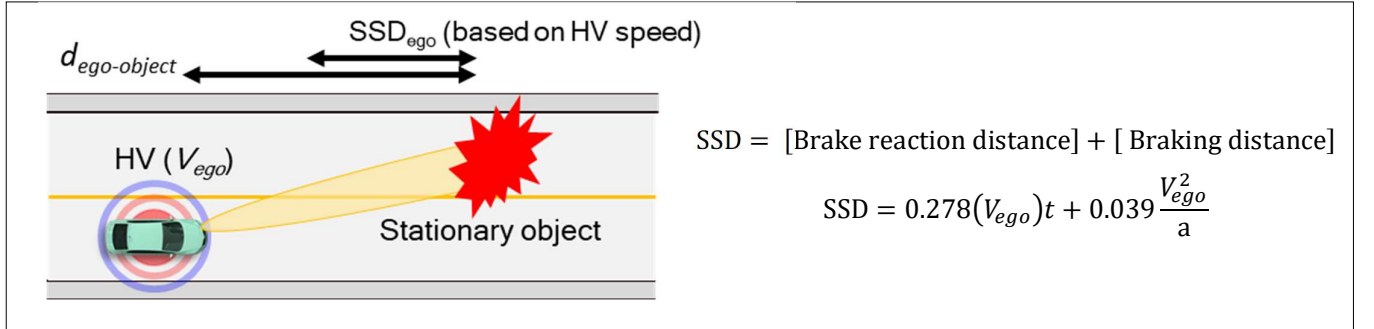


图 4-4 SSD 定义

对于移动目标物，SSD 的计算需进一步考虑目标物的速度，因此

$$SSD_{SDSM} = 0.278(V_{BSMs, MAX} + V_{object, MAX})t + 0.039 \left(\frac{(V_{BSMs, MAX} + V_{object, MAX})^2}{a} \right)$$

其中， $V_{BSMs, MAX}$ 为 HV 通过 BSM 获知的周边所有 V2X 车辆的速度最大值； $V_{object, MAX}$ 为当前被检测到且待传输的所有目标的速度中的最大值。按照以下公式计算配置给接入层的最小传输

Range:

$$\text{Minimum Transmission Range} = (d_{ego-object} + \text{SSD}_{SDSM})$$

其中 $d_{ego-object}$ 如下图所示，表示主车与移动目标的当前距离。

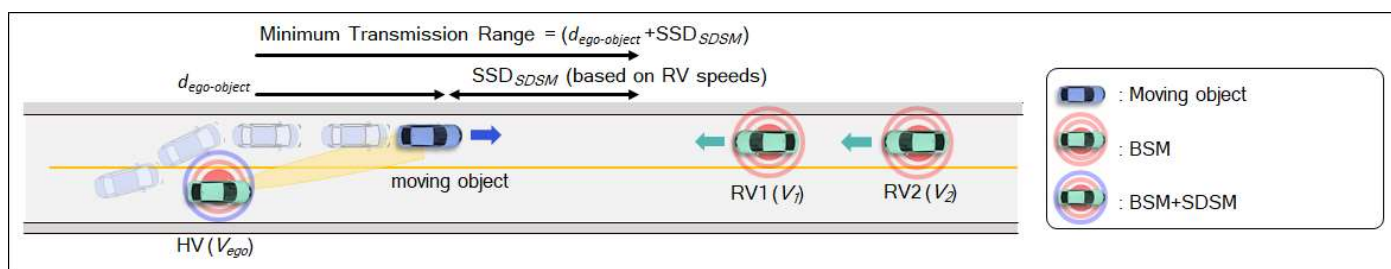


图 4-5 最小传输距离定义

5 总结

本报告分析了 V2X 基本安全及增强型应用中的典型场景，重点分析基本安全和感知共享应用的数据需求以及对应的应用层消息定义，并考虑拥塞控制机制在典型场景中的必要性。在此基础上进一步系统接入层和应用层的拥塞控制管理机制，并重点讨论基本安全消息和感知共享消息拥塞控制机制在国内外的研究以及标准化进展，并给出了感知共享应用中部分拥塞控制算法的性能评估。

缩略语

3GPP	The 3 rd Generation Partnership Project	第三代合作伙伴项目
BSM	Basic Safety Message	基本安全消息
CAM	Collective Awareness Message	协同感知消息
CBR	Channel Busy Rate	信道忙闲率
CPM	Collective Perception Message	协同感应消息
CR	Channel Rate	信道占用率
C-SAE	China-Society of Automotive Engineers	中国汽车工程师学会
C-V2X	Cellular Vehicle to Everything	蜂窝车联网
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	欧洲电信标准化协会
NTCAS	National Technical Committee of Auto Standardization	全国汽车标准化技术委员会
OBU	On Board Unit	车载单元
PPPP	ProSe Per-Packet Priority	单包优先级
PQI	PC5 QoS identifier	PC5 QoS 指示
RSU	Roadside Unit	路侧单元
SAE	Society of Automotive Engineers	汽车工程师学会
SDSM	Sensor Data Sharing Message	感知数据共享消息
SSD	Stopping Sight Distance	停车视距
SSM	Sensor Sharing Message	感知共享消息
VRU	Vulnerable Road User	弱势交通参与者

参考文献

- [1] T/CSAE 53-2017 合作式智能运输系统 车用通信系统应用层及应用数据交互标准
- [2] T/CSAE 157-2020 合作式智能运输系统 车用通信系统应用层及应用数据交互标准（第二阶段）
- [3] GB/T xxxx-xxxx 基于 LTE-V2X 直连通信的车载信息交互系统技术要求
- [4] 李俨等. 5G与车联网-基于移动通信的车联网技术与智能网联汽车. 电子工业出版社
- [5] T_ITS 0113.2+营运车辆+合作式自动驾驶货车编队行驶+第2部分：驾驶场景和行驶行为要求
- [6] 3GPP TR22.186 v16.1.0, Enhancement of 3GPP support for V2X scenarios

C-V2X 拥塞控制研究

- [7] 3GPP TR22.886 v16.2.0, Study on enhancement of 3GPP Support for 5G V2X Services
- [8] SAE J2735 Dedicated Short Range Communications (DSRC) Message Set Dictionary
- [9] SAE J3161 On-Board System Requirements for LTE-V2X V2V Safety Communications
- [10] SAE J3224 V2X Sensor-Sharing for Cooperative & Automated Driving
- [11] Analysis of Distributed Congestion Control in Cellular Vehicle-to-everything Network

致谢

诚挚感谢如下人员对白皮书做出的贡献：