

10.16638/j.cnki.1671-7988.2021.017.007

# 基于 5R1V 的交通拥堵辅助系统切入工况 减速时机策略研究

郑望晓, 周祥祥, 刘建平, 郑磊

(广州汽车集团股份有限公司汽车工程研究院 试验认证部, 广东 广州 510000)

**摘要:** 目前, 智能驾驶辅助系统发展势头迅猛, 市场上量产车型搭载 ADAS (Advanced Driving Assistant System) 系统的比例也越来越高。在城市工况下交通更加复杂, 交通拥堵辅助系统 TJA (Traffic Jam Assist System) 相较于传统的自适应巡航系统 ACC 更具有优势, 但一个前向毫米波雷达和一个摄像头的配置仍具有一定局限性, 由此五个毫米波雷达与一个摄像头的配置 (5R1V) 在量产车辆上得到发展与应用。文章基于 5R1V 的交通拥堵辅助系统, 对于城市工况下的社会车辆并道工况作相关研究。在实际道路使用实车测试切入工况并结合驾驶员主观评价, 得出期望减速度与安全距离。分析 5R1V 的雷达覆盖范围, 并建立车辆切入与减速模型, 通过模型计算得到并道工况的刹车时机, 为 TJA 系统的车辆减速策略提供参考。

**关键词:** 交通拥堵辅助系统; 模型; 切入; 减速时机

中图分类号: U495 文献标识码: A 文章编号: 1671-7988(2021)17-22-04

## Research on the Deceleration Timing Strategy of the Traffic Jam Assist System under Cut in Condition Based on 5R1V

ZHENG Wangxiao, ZHOU Xiangxiang, LIU Jianping, ZHENG Lei

(Test and Certification Department of Automotive Engineering Research Institute of Guangzhou  
Automobile Group Co., Ltd., Guangdong Guangzhou 510000)

**Abstract:** At present, the development of intelligent driving assistance systems is growing rapidly, and the proportion of mass-produced vehicles on the market equipped with ADAS (Advanced Driving Assistant System) systems is also increasing. In urban conditions, the traffic is more complicated. Compared with the traditional adaptive cruise system ACC, the traffic jam assist system has more advantages, but the configuration of one forward millimeter wave radar and a camera still has certain limitations. The configuration of five millimeter wave radars and a camera (5R1V) has been developed and applied in mass production vehicles. Based on the 5R1V traffic jam assistance system, this paper does related research on the combining track of social vehicles under urban conditions. On the actual road, the actual vehicle is used to test the cut in conditions, and combined with the subjective evaluation of the driver, the expected deceleration and safety distance are obtained. Analyze the radar coverage of 5R1V and establish the vehicle cut-in and deceleration model. The braking timing of the combining track is calculated through the model, which provides a reference for the vehicle deceleration strategy of the TJA system.

**Keywords:** Traffic jam assist; Model; Cut in; Deceleration timing

CLC NO.: U495 Document Code: A Article ID: 1671-7988(2021)17-22-04

**作者简介:** 郑望晓, 就职于广州汽车集团股份有限公司汽车工程研究院试验认证部。

## 引言

近年随着智驾技术的发展，目前市场上搭载智能驾驶辅助系统车型的占比逐年攀升，其中日常使用的代表驾驶辅助系统为自适应巡航系统 ACC。在简单的高速工况下，车辆较少，ACC 系统能够很大程度上缓解驾驶员脚部疲劳，驾驶员只需要控制转向即可，但传统 ACC 系统在城市工况下存在较大的不便性，原因在于城市工况下，交通情况复杂，车辆密集，车辆频繁起步与停止。特别是若存在前方并道、道路维修或者交通事故的情况，变道切入的工况非常多，发生碰撞地风险也随之加大。TJA 系统最早由奔驰和宝马公司在 2013 年提出，并在其 2014 款车型上装备，面对城市工况的驾驶辅助需求，交通拥堵辅助系统 TJA 是未来几年大力发展的方向。

TJA 系统可以将车辆保持在本车道中心线一定范围内，并跟随前车行驶与停车。目前市场上的交通拥堵辅助系统，多数采用一个前向毫米波雷达（前保中心）与一个前视摄像头（前挡风玻璃中心）融合的方式。但由于雷达方位角与摄像头视角范围为定值，TJA 系统对于在近距离切入或紧急切入的目标车辆无法及时识别，导致与前车跟车距离较近或减速度过大，给用户强烈的不安全感，或者对于换道切入的车辆识别较晚，有碰撞风险。

搭载更多传感器的驾驶辅助系统，毫米波雷达覆盖周边更大的范围，在一定程度减少变道切入地风险。本文试验车辆模型搭载 5 个雷达（正前向 1 个，车辆四角各 1 个）与 1 个前视摄像头（简称 5R1V），雷达波覆盖范围更广，可以更早探测到相邻车道内的车辆，为 TJA 系统的策略优化与风险规避提供硬件基础。

针对 TJA 系统的验证，目前还没有全面客观的测试评价体系<sup>[1]</sup>。目前国内 i-VISTA 试验规程，在单车道纵向控制能力项目中定义了 3 种前车切入工况<sup>[2]</sup>，为切入工况提供参考。本文基于 5R1V 车辆模型，建立变道切入模型，并参考 ISO 标准<sup>[3]</sup>相关研究，针对 18 km/h~60 km/h 速度区间的 TJA 控制策略进行研究分析，相较原 TJA 控制策略可提升纵向控制的舒适性与用户安全感。

## 1 传感器安装位置

本文车辆模型中角雷达传感器安装位置如图 1 所示。前角雷达方向为与车辆前进方向成 45°~50°的方向。后角雷达方向为与车辆前进方向成 45°~50°的方向。角雷达在水平方向上的锥桶角度为±80°。前向中距毫米波雷达的水平锥桶角度为±30°。

角雷达的安装弥补了单雷达与单摄像头由于角度限制而无法覆盖的范围，对于本车道内的前方区域可以实现基本全

覆盖。

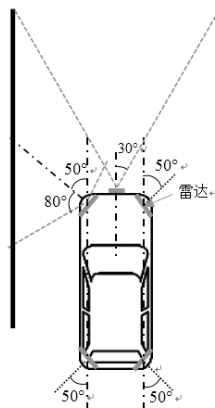


图 1 雷达安装位置与覆盖范围

## 2 减速度曲线与主观评价

### 2.1 减速度曲线

根据 ISO<sup>[3]</sup>标准的推荐，在 0 km/h~18 km/h 时，主车加速度不应大于 0.5 g；在 72 km/h~100 km/h 速度区间，主车加速度不应大于 0.35 g，在 18 km/h~72 km/h 速度区间，加速度的限值成线性变化。在 18 km/h~60 km/h 速度区间，加速度的推荐限值为 3.83 m/s<sup>2</sup>~5 m/s<sup>2</sup>。（加速度为绝对值），具体曲线如图 2。

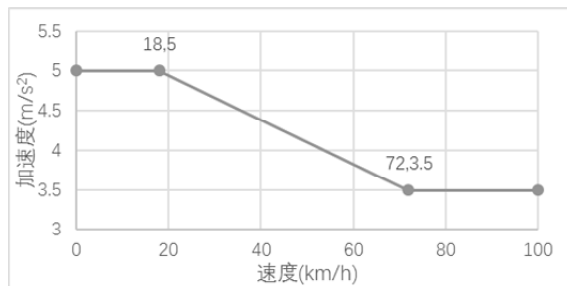


图 2 加速度限值与速度关系图

### 2.2 主观评价

对于 cut in 工况的评价，从舒适性与安全感两方面出发。舒适性主要受减速度的大小影响，安全感主要考虑刹车时机、与目标车辆的纵向距离因素的影响。通过 SAE J1441 2007<sup>[4]</sup>主观评价法进行评价，分值为 1~10，当分值≥6 是期望区间。通过实车切入工况评价，在 18 km/h~60 km/h 速度区间，减速度  $a > -3 \text{ m/s}^2$ ，两车纵向最小距离大于 4.5 m 为期望区间。以此为基础建立减速模型，在上述速度区间减速度下限为  $-3 \text{ m/s}^2$ ，小于 ISO 标准推荐加速度的限值。

## 3 减速模型

### 3.1 变道切入模型

在本文中定义车道宽度  $W_0=3.5 \text{ m}$ ，车道线宽度为  $l_0=0.2$

m。相邻车道内车辆切入本车道，与试验车辆的横向距离不断减小，定义切入车辆的轮胎外缘与本车道的车道线内侧首次重叠为初始越线时刻。当变道车辆切入本车道且纵向中轴线与本车道中轴线重叠，则定义变道切入完成。因此可以计算得到整个变道过程变道车辆的横向移动距离为：

$$W=W_0+l_0 \quad (1)$$

根据王雪松的变道切入行为分析<sup>[5]</sup>，变道切入持续时间均值为  $T=3.82$  s。

为简化变道切入模型，定义变道开始时刻变道车辆中轴线与车道中线重叠，且变道过程中纵向速度不变。则横向偏移距离为  $W=3.7$  m，通过计算可得到变道平均横向速度为：

$$v_c=W/T \quad (2)$$

通过计算得到  $v_c=0.969$  m/s。在本文中定义变道横向速度为匀速  $0.969$  m/s。

### 3.2 车辆减速模型

为保证尽可能短的刹车距离，在模型中定义从试验车辆识别到前方目标车辆（速度低于试验车辆）开始减速至完成减速，整个过程中的纵向减速度  $a$  保持  $-3$  m/s<sup>2</sup>。这样在保证舒适性的前提下尽可能减小刹车距离，以增大纵向间距从而提升用户安全感。

试验车辆在 TJA 减速之前保持匀速向前行驶，速度为  $v_h$  (km/h)，前方变道车辆在切入过程中纵向保持匀速  $v_l$  (km/h)，且  $v_l < v_h$ 。实际变道过程中变道车辆纵向减速度较小，在本模型中忽略变道车辆纵向减速度。定义两车速度差为  $v_d$  (km/h)，则：

$$v_d=v_h-v_l \quad (3)$$

当试验车辆速度从  $v_h$  降低到  $v_l$ ，即速度降为  $v_d$  时，则两车无碰撞风险。

变道车辆越线时刻为初始 0 时刻，从变道车辆越线时刻到试验车辆开始减速时刻，持续时间为  $t_1$ ；从试验车辆开始减速到速度降低  $v_d$  时刻，持续时间为  $t_2$ ，则可得到速度降  $v_d$  与时间的关系公式：

$$t_2=\frac{v_d}{3.6 \times |a|}=\frac{v_d}{3.6 \times 3} \quad (4)$$

变道车辆从开始越线初始 0 时刻到试验车辆完成速度降  $v_d$ ，持续时间为  $t_1+t_2$  (s)。

从初始越线 0 时刻，到试验车辆开始减速，持续时间为  $t_1$ ，在此时间段内试验车辆纵向行驶距离为：

$$d_{h1}=v_h \times t_1 \quad (5)$$

试验车辆开始减速到完成速度降  $v_d$ ，持续时间为  $t_2$ ，在此时间段内试验车辆纵向行驶距离为：

$$d_{h2}=\int_0^{t_2} (\frac{v_h}{3.6}-3t) \quad (6)$$

通过积分计算得到：

$$d_{h2}=\frac{v_h}{3.6}t_2-\frac{3}{2}t_2^2 \quad (7)$$

则从变道车辆初始越线 0 时刻，到试验车辆完成速度降  $v_d$ ，在此时间段内试验车辆纵向行驶距离为：

$$d_h=d_{h1}+d_{h2}=v_h t_1+\frac{v_h}{3.6}t_2-\frac{3}{2}t_2^2 \quad (8)$$

从初始越线 0 时刻，到试验车辆到完成速度降  $v_d$  时刻，在此时间段变道车辆纵向行驶距离为：

$$d_t=v_l \times (t_1+t_2) \quad (9)$$

定义初始越线 0 时刻两车纵向距离为  $d_0$ ，根据两车纵向最小距离应大于  $4.5$  m，则为了让用户体验足够的安全感，则应满足以下公式：

$$d_h+4.5 < d_t+d_0 \quad (10)$$

通过代入简化可得到以下公式 (11)：

$$v_d(t_1+\frac{v_d}{3.6^2 \times 6}) \leq d_0-4.5 \quad (11)$$

式中  $t_1$  为从初始越线时刻到试验车辆开始减速的持续时间，若  $t_1$  越小，则表示试验车辆识别到切入车辆越早。 $v_d$  为两车速度差，若  $v_d$  越大，则表示 (11) 式中左侧越大。

### 3.3 减速时机

在初始纵向距离  $d_0$  一定的情况下，若公式 (11) 成立， $v_d$  越大，则  $t_1$  越小，即两车速度差越大，试验车辆需要更早开始减速。

极端情况是  $t_1=0$ ，也就是变道车辆刚越线时刻，则试验车辆就开始减速。但若  $t_1$  取 0，则易造成较大概率的本车误减速，影响驾驶体验。因此一般情况下定义  $t_1>0$  而不等于 0。目前其中一种策略为：当前方切入车辆与试验车辆在横向达到一定重合度（如 1/3 车宽重合或 1/2 车宽重合），方判定切入车辆为本车道内车辆并执行纵向跟随动作。

本文中为了更加直观体验减速时机，定义切入车辆与试验车辆的车宽  $w$  相同，均为  $w=1.84$  m。车道宽为  $3.5$  m，试验车辆保持在车道中间，变道车辆从左向右切入到本车道，当 1/3 车身宽度重合时，变道车辆越过车道线横向距离定义为  $W_1=1.443$  m。则可计算得到相应的  $t_1$  为：

$$t_1=W_1/v_c=\frac{1.443}{0.969} \text{ s}=1.49 \text{ s} \quad (12)$$

通公式过 (11) 计算得到，当初始纵向距离  $d_0=10$  m，则为了速度差应满足  $v_d<3.58$  m/s，否则会导致最小纵向距离过小甚至发生碰撞，要避免纵向距离过小或碰撞，则需要增大纵向减速度  $a$ ，但此策略会牺牲一定舒适性，且易造成恐慌。显然在此模型中采用定值  $t_1$  的形式，并不符合实际的使用需求。

因此本文建议避免使用定值  $t_1$  的形式，而采用相应的方

程曲线(13)进行代替单一定值。同时为了避免  $t_1=0$  的极端情况,本文设定  $t_1$  为正值。而按照车道宽、车宽、偏离速度的定义值,从变道车辆越线到偏移到本车道中间,时间为 2.76 s,即  $t_1$  最大值为 2.76 s。

$$0.2s \leq t_1 \leq \frac{d_0 - 4.5}{v_d} - \frac{v_d}{3.6^2 \times 6} \quad (13)$$

式中  $d_0$  为初始纵向距离,  $v_d$  为车辆速度差。本文定义试验车辆最早减速时机为变道车辆越过车道线内侧 20 cm, 对应的  $t_1=0.2$  s。

若  $t_1=0.2$  s, 初始纵向距离为  $d_0=10$  m, 则计算而得到速度差  $v_d$  最大为 14.32 m/s, 该值远大于当车身重叠 1/3 开始减速的速度差, 也就是说方程曲线(13)适用的速度差范围更大。

下表 1 为相对速度差  $v_d=20$  km/h 的工况下, 不同初始距离  $d_0$  对应的减速时机(切入车辆越线为初始时刻)。

表 1 不同减速时机

序号	相对速度差 $v_d$ / (km/h)	初始纵向距离 $d_0$ /m	减速时机/s
1	20	13.64	0.2
2	20	20	0.52
3	20	30	1.02
4	20	40	1.52
5	20	50	2.0
6	20	60	2.51
7	20	70	3.02

从表格 1 中可以看出, 固定初始相对速度差, 当纵向距离越大, 减速时机可以越晚。减速时机可以晚于  $t_1$  最大值 2.76 s, 相当于切入车辆完全变至本车道中间, 试验车辆再减速。

## 4 结束语

基于 5R1V 试验车辆模型, 说明传感器的覆盖范围, 为切入车辆的及时识别提供硬件基础。参考 ISO 的减速度推荐上限值, 并主观评价切入工况, 得到期望减速度值  $3 \text{ m/s}^2$  与最小纵向距离 4.5 m。参考已有变道横向速度研究成果, 得到横向变道速度。综合以上相关信息建立变道与切入减速模型, 得到减速时机、速度差、初始纵向距离的关系。随后分析了采用固定车身横向重叠比例识别切入车辆, 具有较大的局限性, 并分析了根据不同的纵向距离、速度差使用不同的减速时机, 以提升用户的舒适性与安全感, 为交通拥堵辅助系统的减速时机提供策略参考。

## 参考文献

- [1] 刘荣.智能汽车交通拥堵辅助系统虚拟主客观评价技术研究[D]. 长春:吉林大学,2020.
- [2] 中国汽车工程研究院股份有限公司.智能行车辅助评价规程: i-VISTA SM-ADAS-ICAR-A0-2019[S].重庆:中国汽车工程研究院股份有限公司,2019.
- [3] International Organization for Standardization. Intelligent transport systems-Full speed range adaptive cruise control (FSRA) systems-Performance requirements and test procedures:ISO 22179:2009(E) [S].Switzerland, ISO,2009.
- [4] Vehicle Dynamics Standards Committee. Subjective Rating Scale for Vehicle Handling: SAE J1441[S]. USA United States: SAE International,2007.
- [5] 王雪松,杨敏明.基于自然驾驶数据的变道切入行为分析[J].同济大学学报(自然科学版),2018,46(08):1057-1063.