

Study of Evaluation Scenarios for Adaptive Cruise Control based on China-FOT

Lin LIU¹, Qiang Zhang², Xichan ZHU¹, Zhixiong Ma¹

¹School of Automotive Studies, Tongji University, Shanghai, China

²China Automotive Engineering Research Institute Co., Ltd., Chongqing, China

Email: imshirleyll@163.com

Abstract: Adaptive cruise control system has been widely used in vehicles, but the corresponding test and evaluation method is seldom studied. The existing test and evaluation scenarios is of a small number and low difficulty. On the basis of the naturalistic driving data collected in Shanghai, scenarios, in which adaptive cruise control are usually used, are collected. Referring to the existing test and evaluation scenarios, eight scenarios were finally obtained and modeled in PreScan. Research in this paper provides reference for the development and test of adaptive cruise control system.

Keywords: natural driving data; test and evaluation scenario; adaptive cruise control

基于自然驾驶数据的自适应巡航测试评价场景研究

刘霖¹, 张强², 朱西产¹, 马志雄¹

¹同济大学, 上海, 中国, 201804

²中国汽车工程研究院股份有限公司, 重庆, 中国, 401122

Email: imshirleyll@163.com

摘 要: 自适应巡航系统已广泛应用于量产车辆, 但是相应的测试评价方法并不完善, 相关测试评价场景数量少, 难度低。本文依据上海地区采集到的真实道路交通场景数据, 通过筛选和分类, 获得了与自适应巡航系统密切相关的测试场景。结合现有的自适应巡航系统的测试规范, 最终获得了八种测试场景, 并在 PreScan 中建模, 为自适应巡航系统的开发和测试提供了场景基础。

关键词: 自然驾驶数据; 测试评价场景; 自适应巡航

1 引言

目前, 高级驾驶辅助系统(Advanced Driving Assistant System, ADAS)已经广泛应用于量产车辆, 但是真对 ADAS 系统的测试评价起步较晚, 落后于 ADAS 产品的发展^[1]。其中自适应巡航控制(adaptive Cruise Control, ACC)系统在定速巡航的功能基础上, 通过车载雷达自动调整行驶速度, 保持和前车的车距, 可适用于跟车场景, 达到减轻驾驶员驾驶任务的目的^[2]。但是目前针对 ACC 的测试标准或法规主要来源于 ISO^{[3][4]}、SAE^[5]、GB^[6]、FMCSA^[7]等机构组织, 测试集中于性能测试, 包括探测距离, 目标识别能力及弯道适应能力等, 测试场景单一, 不能从多角度考察 ACC 的性能。

自然驾驶研究指使用不引起员注目的观测手段, 在不干扰影响驾驶员行为的前提下记录真实交通环境中驾驶员行为的研究方法^[8,9]。自然驾驶研究采集海量的真实道路交通环境数据、驾驶员驾驶行为数据和车辆参数数据, 可用于车辆的开发, 测试及验证工作。目前各个国家都开展了 NDS 项目, 较有代表性的包括美国的 100-Car Naturalistic Driving Study 项目^[8], SHRP2 项目^[9], 欧洲的 PROLOGUE 项目^[10]等。FESTA 对 FOT 定义如下: “FOT 是为了评价一个或多个产品功能, 设计试验确保驾驶员在真实道路交通环境中正常驾驶, 以验证对应产品功能在真实交通环境中的效果与收益研究”^[11], 现有 FOT 项目包括 Connected Vehicle Test Bed^[12], EcoDRIVER^[13], IMIKASK^[14], ICSI(Intelligent Cooperative Sensing for Improved traffic efficiency)^[15]。本文以自然驾驶数据为基础, 对 ACC 适用的跟

车场景进行统计，获得频率最高的八种场景作为测试场景，构建 ACC 测试评价工况。

2 现有 ACC 测试场景

目前 ACC 测试标准主要来源于国际标准化组织 ISO 和国家标准委员会 GB，两者内容相近。GB 及 ISO 主要考察 ACC 的探测距离、目标识别能力、弯道适应能力。主要测试工况总结如下：

● 探测距离测试工况

将与车辆横截面相近的目标物放置于 $\tau_{\min} \sim \tau_{\max}$ 对应的距离时，在规定的时间内（GB:3s、ISO: 2s）探测到目标物的成功率大于 90%时，说明该测试完成。

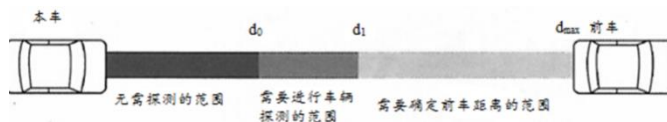
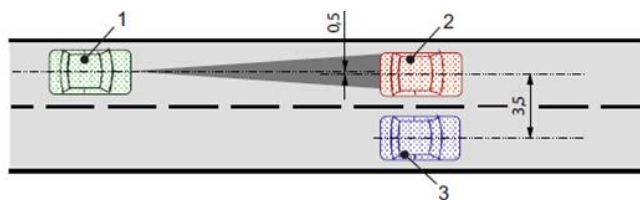


Figure 1. ACC test scenario 1: test acquisition range test

图 1. ACC 测试场景 1: 探测距离测试^[3]

● 目标识别能力测试

当本车前方有两辆以 $v_{\text{vehicle_start}}$ 同向行驶的同型号车时，当目标车加速至 $v_{\text{vehicle_end}}$ ($v_{\text{vehicle_start}} + 3\text{m/s}$)，本车在 $\tau_{\max}$ ($v_{\text{vehicle_end}}$) 下保持跟车（纵轴距离小于 0.5m）并超过相邻车道以 $v_{\text{vehicle_start}}$ 的车，则测试成功。



Key
1 subject vehicle
2 target vehicle
3 forward vehicle

Figure 2. ACC test scenario 2: Curve: target discrimination test

图 2. ACC 测试场景 2: 目标识别能力测试^[3]

● 弯道适应能力测试

在车间时距模式下，在固定半径为 ACCII、ACCI、ACCIV 型系统下的 $(80\% \sim 100\%) * R_{\min}$ 的测试场景中，当目标车进行减速时，本车与目标车的车间时距保持在 $\tau_{\max} (v_{\text{vehicle_start}}) \pm 25\%$ 时，测试合格。

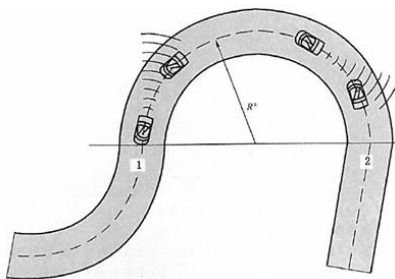


Figure 3. ACC test scenario 3: curve capability test

图 3. ACC 测试场景 3: 弯道适应能力测试^[4]

此外在 SAE J2399 中，设计了本车减速跟车能力。当本车从远处接近前车，并且当时时间间隔 T 满足临界条件时，ACC 系统开始起作用。直到本车速度接近于前车速度，并且满足 $C > 107\text{m}$ ，则测试合格。

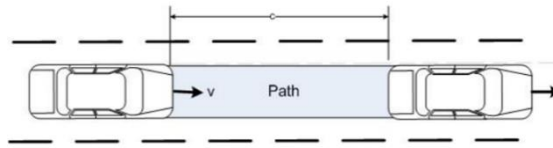


Figure 4. ACC test scenario 4: brake and cruise test

图 4. ACC 测试场景 4: 减速跟车能力测试

上述 ACC 测试场景分别测试了系统的探测距离，目标识别能力，弯道适应能力及减速跟车能力。场景设计主要考虑系统的相应功能，可以用于测试 ACC 是否满足基本要求。但是由于场景类别较少，不能全面反映 ACC 使用过程中会遇到的各种问题，因此用于评价时不能全面反映 ACC 真实使用中的表现。下文考虑基于真实的驾驶数据，提取会使用 ACC 的各类场景，用于测试评价。

3 自然驾驶数据库

本文使用的数据来自于大型的实车路试（Field Operational Tests, FOT），共涉及 32 名驾驶员，试验持续 18 个月。在实验过程中，除了对主动安全系统的收益进行评价外，还同时收集了驾驶过程中的道路环境信息，驾驶员行为信息以及车辆的状态变化，对人-车-路系统的状态进行了全面的监控。在 FOT 测试中，车辆上装有 4 个摄像头，分别记录车辆前方、后方的道路环境、驾驶员面部及脚踏板操作，同时收集车辆 CAN 总线数据。最终 China-FOT 共获得有效数据 7402 段，共计 3594 个小时，129935km。

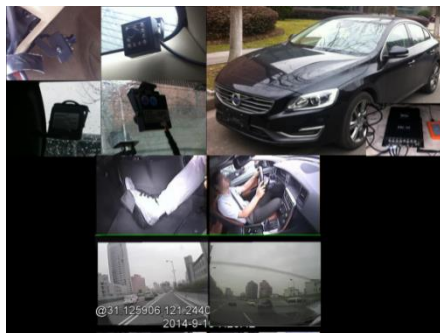


Figure 5. ACC test scenario 3: curve capability test

图 5. 采集设备及视频图像

4 测试场景提取

本文随机选取了某工作日的自然驾驶数据进行分析。八辆试验车中有五辆试验车产生数据，共计 11 段旅程，累计驾驶时长为 5 小时 22 分 24 秒，累计里程为 202.144 公里。

4.1 长时间行车过程

长时间行车过程指车辆在本道内巡航驶的。如图 6 所示，长时间行车过程可包括一个或多个稳定行车状态，长时间行车过程稳定状态，按照有无跟车目标分为两种类型：1) 车辆于本道内跟随固定目标行驶；2) 车辆于本车道内按路规定速行驶。此外，在自然驾驶中因驾驶员的不良习惯车道，长时间行车过程中可能存在车辆压线行驶的情况，本文将车辆压线行驶作为车辆于本车道行驶的特例。

长时间行车过程事件指其他交通参与者改变本车交通参与者改变本车稳定行车状态，包括跟车目标出现、消失及改变。事件使得车辆从某一长时间行过程稳定转变为另一长时间行车过程稳定行车状态。

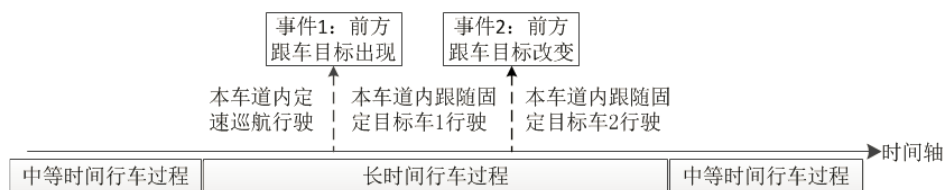


Figure 6. An example of long time driving process

图 6.长时间行车过程举例

长时间过程的开始和结束主要是由于本车进入特定行驶区域，本车执行其他驾驶任务及其他道路交通参与者的运动状态发生变化导致，称为长时间行车过程边界事件。

在 ACC 使用过程中，需要能够在稳定行车过程中完成驾驶任务，事件或边界事件（以下简称事件）则对 ACC 的性能提出了更高的要求。

4.2 测试评价场景

在全部 202 公里中，长时间行车过程（跟车及跟线）共计 162 公里。其中直道里程占比 82%，弯道里程占比 18%。其中跟车过程中事件的统计如表 1 所示：

Table 1. event statistics
表 1. 事件统计结果

事件类型	数量	事件类型	数量
本车变道	150	本车超车	4
前车切入本车道	113	路口本车右转，前车直行切入	3
前车驶出本车道	89	路口红灯，前车远离	3
走停	76	路口前车右转	3
本车接近前方静止车辆	45	路口本车变道	3
路口前车驶出本车前方	24	本车掉头	1
前车急刹	17	路口本车左转	1
路口本车右转	7	非机动车切入	1
路口前车切入本车前方	6	路口前车左转	0
本车出入口通行	5	危险出现	0
前车驶远	4	危险解除	0
总计	555		

排除本车进入特殊区域及本车执行其他驾驶任务的事件后，对其他常见事件（表 1 中阴影部分）进行总结，最终获得 6 种典型事件，此外，添加稳定跟车工况及弯道工况对 ACC 系统进行测试。最终获得用于 ACC 系统的测试评价场景共 8 个，具体如表 2 所示：

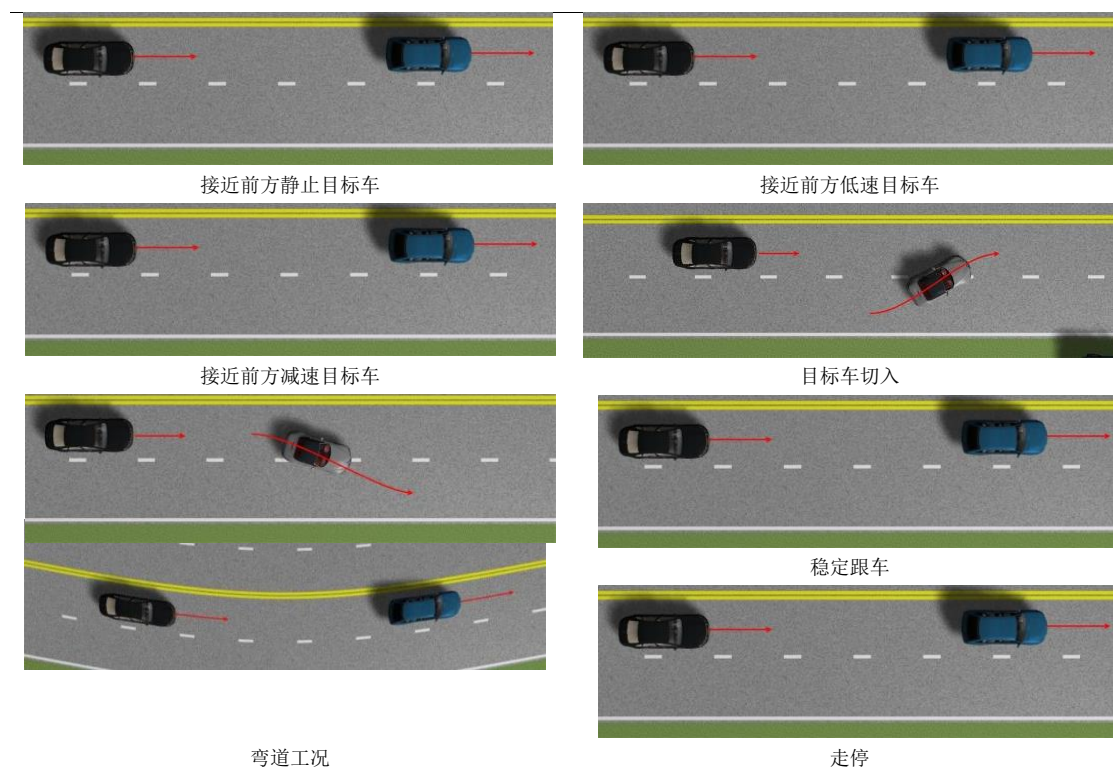
Table 2. test scenarios for ACC
表 1. ACC 测试评价工况

事件类型	道路类型	本车运动状态	跟车目标运动状态
接近前方静止目标车	直道	巡航	静止
接近前方低速目标车	直道	巡航	低速匀速
接近前方减速目标车	直道	巡航	减速
目标车切入	直道	巡航	切入
目标车切出	直道	巡航	切出
稳定跟车	直道	巡航	匀速
弯道工况	弯道	巡航	匀速
走停	直道	巡航	刹停后启动

4.3 ACC 测试评价工况建模

本文使用 PreScan 软件进行场景建模，方便后续对系统进行分析，研究及测试。

Table 3. ACC test scenario modeling
表 1. ACC 场景建模



5 结论

本文使用自然驾驶数据，提取 ACC 相关的长时间行车过程，并对长时间行车过程内的事件及边界事件进行统计，结合现有的 ACC 测试场景，获得了适用于 ACC 系统测试评价的 8 个工况，最后使用 PreScan 软件建模。本文的研究结果可以辅助 ACC 系统的研发、测试及验证。

参考文献 (References)

- [19] Lemmen P, Fagerind H, Unselt, et al. *Assessment of integrated vehicle safety systems for improved vehicle safety[J]*. Proedia-Social and Behavioural Sciences, 2012, 48: 1632
- [20] Zhang Nanfeng, Chen Junhui, Chen Shuguan. *The Research and Development of Adaptive Cruise Control[J]*. A collection of Papers from the Twentieth Annual Conference of the teaching of basis courses in Higher School in electronic and electrical appliances of the ministry of education. 2010/07
- [21] ISO15622. Transport information and control system -Adaptive Cruise Control systems-Performance requirements and test Procedures. 2002
- [22] ISO22179. Intelligent transport systems-Full speed range adaptive cruise control (FSRA) systems – Performance requirements and test procedures.2009
- [23] SAEJ2399. Adaptive Cruise Control (ACC) Operating Characteristics and User Interface.2014
- [24] GB/T20608.Intelligent transportation information systems – Adaptive Cruise Control systems- Performance requirements and test Procedures.2006
- [25] FMCSA. Concept of Operations and Voluntary Operational Requirements for Forward Collision Warning Systems (CWS) and Adaptive Cruise Control (ACC) Systems On-board Commercial Motor Vehicles. 2005
- [26] Dingus TA, Klauer S, Neale V, et al. The 100-car naturalistic driving study, Phase II-results of the 100-car field experiment. 2006.
- [27] Antin, J., Lee, S., Hankey, J., and Dingus, T. (2011). Design of the In-Vehicle Driving Behavior and Crash Risk Study. In Support of the SHRP 2 Naturalistic Driving Study. SHRP2 Report S2-S05-RR-1, ISBN: 978-0-309-12895-7, National Academy of Sciences.
- [28] Sagberg F, Eenink R, Hoedemaeker M, et al. Recommendations for a large-scale European naturalistic driving observation study. PROLOGUE Deliverable D4.1, 2011.
- [29] FESTA Handbook Version 5. Field opErational teSt support Action (FESTA) project,2014
- [30] Connected Vehicle Test Bed, http://www.its.dot.gov/factsheets/connected_vehicle_testbed_factsheet.htm
- [31] EcoDRIVER, <http://www.ecodriver-project.eu/>
- [32] IMIKASK, <http://www.imikask.dk/>
- [33] ICSI, <http://www.ict-icsi.eu/>