

The Influence of Different Emergency Degrees on Duration of Driver's Lane-Changing Behavior

Zhichao LIU¹, Xichan ZHU¹, Zhixiong MA¹, Lin LI¹

School of Automotive Study, Tongji University, Shanghai, China, 201804

Email: changxiangni@163.com

Abstract: Almost 228 lane-changing use cases were extracted from the naturalistic driving data. In particular, steering wheel angle rate was used as a filter to classify different degrees of emergency lane-change use cases, and 95 typical use cases were divided into two different groups. Distributions of lane-changing duration in two different groups were approximated by using Generalized Extreme Value distribution. The Mann-Whitney u test with statistical significance established at 5% level was employed to detect statistical differences between the duration in these two groups. Results show that the duration of emergency lane-changing is constant, which different emergency degrees make no difference to the duration. The distribution of the duration when driver takes an emergency lane-changing behavior is centered, which the duration of almost 80% drivers is generally in the range of 4.3s to 7.5s. Based on this, the result could be used to build driver models for lane-changing decision and execution with a constant lane-changing duration.

Keywords: template; format; academic conference; proceedings

不同紧急程度对驾驶员变道持续时间的影响

刘智超¹, 朱西产¹, 马志雄¹, 李霖¹

¹ 同济大学汽车学院, 上海, 中国, 201804

Email: changxiangni@163.com

摘 要: 首先从自然驾驶数据中提取了 228 例变道工况, 将方向盘转角变化率作为衡量变道紧急程度的筛选条件, 筛选出 95 例紧急变道工况, 并将紧急变换车道工况按照不同紧急程度分为两组。分别统计两组驾驶员变道持续时间, 采用广义极值分布方法研究两组变道持续时间的分布规律。利用置信区间为 95% 的曼-惠特尼秩和检验方法对两组数据进行相关性验证, 分析紧急程度对变道持续时间分布规律的影响。结果表明驾驶员紧急变道过程中变道持续时间呈集中分布, 不受变道紧急程度的影响。其中有 80% 的紧急变道持续时间集中在 4.3 秒-7.5 秒。本文所得到的结论为后续提出定变道持续时间的驾驶员紧急变道模型提供了理论基础。

关键词: 自然驾驶数据; 紧急变道; 变道持续时间; 曼-惠特尼秩和检验

1 引言

驾驶员变换车道行为指的是在驾驶员驾驶过程中控制车辆从一条车道移动到另一条同向车道的驾驶行为^[1]。驾驶员变换车道行为是一种频繁发生在日常驾驶过程中的驾驶行为。通常驾驶员在变道时会受到多种因素的影响^[2]。成功完成一次变道既需要驾驶员在驾驶过程中关注本车道的交通情况, 同时也需要关注目标车道的交通情况。然而同一时间内, 驾驶员在驾驶过程中仅可以获得一个方向的信息, 这无疑给变道增加了危险^[3]。一些研究表明在紧急情况下, 如自车道前方突然出现障碍物, 或前车突然制动停车等情况下, 有一定比例的驾驶员倾向采取紧急变道的方式避免与障碍物发生碰撞。与此同时, 受到车辆自身盲区以及驾驶员错误感知而导致不正确操作的影响, 每年因变换车道引发的交通事故数量庞大^[4]。根据美国的交通事故统计, 近些年来每年有将近 400000 起交通事故是在驾驶员变换车道过程中发生的, 每年至少有 60000 人因变道引发的事故而导致受伤甚至死亡^[5]。由于变换车道引起的交通事故情节严重, 越来越多的研究人员开始关注驾驶员变换车道行为, 希望通过研究变换车道行为, 给予驾驶员有效辅助, 提高驾驶员在变换车道操作过程的安全性。

在描述驾驶员变换车道行为中，变换车道持续时间是一个非常重要的参数。一些研究表明，驾驶员变道所持续的时间受到道路类型和车辆类型的影响。目前国内外已经开展了大量有关驾驶员变换车道时间的研究，Tijerina 等人研究了城市道路工况下驾驶员变换车道时间^[6]。而 Hetrick 对比了驾驶员在高速公路和城市道路中的变道持续时间，研究道路类型对驾驶员变道持续时间的影响^[7]。Moridpour 等人分别分析了驾驶员驾驶乘用车和重型车辆的变道持续时间，研究不同车辆类型对驾驶员变道持续时间的影响^[8]。然而目前国内外关于紧急变道过程中变道持续时间的研究仍然非常有限。相比一般变道工况，紧急变道工况更加复杂，对驾驶员的操作要求更高。驾驶员不正确的操作更容易导致严重的交通事故，因此有必要对紧急变道的特征以及影响因素予以研究。

2 自然驾驶数据采集

本文研究中使用的自然驾驶数据来源于 China Pilot-FOT 实验，该实验是 China-FOT(China Field Operational Test, 中国大型实车路试)的先行实验。实验于 2013 年 2 月开始至 2013 年 4 月在上海、北京两地部署数辆实验车用以采集驾驶员自然驾驶数据。所有实验车都统一安装了针对本实验所设计的数据采集设备，其中包括四个摄像头以及一个眼动仪。四个摄像头的视角分别为：驾驶员脚踏板、驾驶员座椅、车辆前方、车辆后方，用以全面记录驾驶过程中驾驶员控制方向盘和制动踏板的操作信息，四个摄像头所采集的视频数据如图 1 所示。



Figure 1. Four different views from data acquisition cameras
图 1 四个数据采集摄像头视角示意图

China Pilot-FOT 实验所采集的自然驾驶数据类型以 CAN 总线数据和视频数据为主。在为期两个月的数据采集集中，实验车辆共行驶了 3789 公里，收集了 160 个驾驶片段，得到 5600 分钟的自然驾驶数据。表 1 对本次实验数据采集情况进行了统计。

Table 1. China-Pilot FOT overall data statistics
表 1 China-Pilot FOT 采集数据统计表

采集数据统计	Pilot-FOT 数据
里程(km)	3789
时长 (min)	5600
片段(个)	160
变道工况 (例)	228

3 紧急变道工况提取

分析之前有关驾驶员变道持续时间的研究发现，变道持续时间受多个因素的影响。在实验条件相似的研究中得到的驾驶员变道持续时间也有明显的不同，其中一个重要的原因是不同研究中对变道起始时刻定义不同。一些研究中将驾驶员有转向意图定义为变道开始时刻，而还有一些研究将车辆开始有向其他车道运动特征作为变道的开始时刻。关于变道结束时刻的定义，不同研究中给出了几乎一致的定义，当车辆完全进入另一条车道且横向速度加速度为零时，即视为完成变道操作。

变换车道工况的筛选方法有很多种，可以通过检测车道线变化判断^[9]；可以通过检测方向盘转角变化判断；

可以通过检测车辆航偏角变化筛选^[10]。本文结合 CAN 总线所记录的驾驶数据和摄像头采集的视频数据,从 5600 分钟的数据中通过分析方向盘转角变化初步筛选出所有变道工况,共计 228 例。在变道工况中方向盘转角变化率是衡量变道过程是否紧急的一个重要因素,因此本文将最大方向盘转角变化率(记作: SAR_{Max})作为判定驾驶员是否采取紧急变道的一个重要的筛选条件^[11]。本文定义在驾驶员变道操作过程中 $SAR_{Max} \geq 50^\circ/s$ 时为紧急变道工况。按照紧急变道工况定义条件,从 228 例驾驶员变道工况中共提取了 95 例紧急变道工况,并将其按照紧急程度不同分为 $50deg/s \leq SAR_{Max} < 100deg/s$, $SAR_{Max} \geq 100^\circ/s$, 两类,统计结果如表 2 所示。

Table 2. The statistics of two different groups of emergency lane- changing conditions
表 2 不同紧急程度变道工况统计表

筛选条件	工况数量(例)
$50deg/s \leq SAR_{Max} < 100deg/s$	70
$SAR_{Max} \geq 100deg/s$	25

研究发现仅仅依靠视频中检测车道线变化很难判断驾驶员开始采取变道操作的具体时刻,因此本文中可将视频数据和 CAN 总线数据结合以精确筛选紧急变换车道片段。首先通过视频数据可以清楚地判断实验车是否有变换车道行为,将有变换车道行为的视频片段标记,对应找到 CAN 总线中关于该片段的车辆行驶数据,利用 CAN 总线所记录的方向盘转角和方向盘转角变化率对该片段变道开始时刻与变道结束时刻进行精确定义。图 2 中给出了一例紧急变道过程中方向盘转角与方向盘转角变化率随时间的变化情况。从图中可以看到片段开始时方向盘转角和方向盘转角变化率没有明显变化,随后方向盘转角变化率突然增大,规定方向盘转角突然增大时驾驶员开始变换车道操作,点 A 确定为变换车道初始时刻。当横向速度为零且方向盘转角以及方向盘转角变化率都趋向于零时,定义为变换车道结束时刻,图 2 中用 B 点表示。利用这样的方法,本文将所筛选的 95 例紧急变道工况的变道起始时间与结束时间进行了统一定义,保证问题研究的一致性。

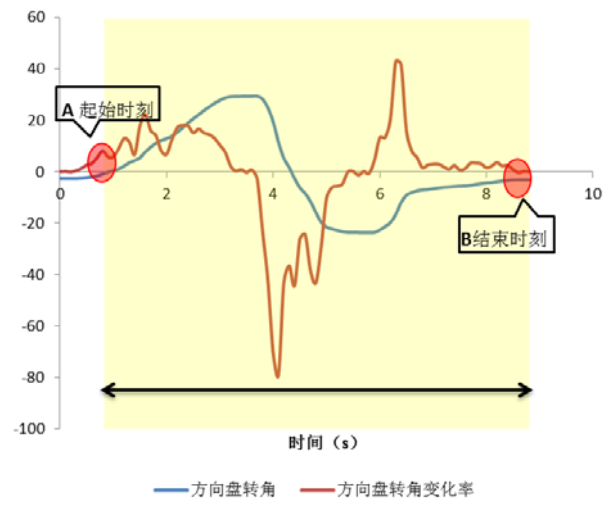


Figure 2. Emergency lane change process
图 2. 紧急变道过程

4 紧急程度对变道持续时间的影响

4.1 不同紧急程度变道时间分布

本文对两种不同紧急程度的变道工况进行了统计分析,用以研究不同紧急程度对驾驶员变道持续时间的影响。由于所收集的驾驶员紧急变道工况中变道持续时间均小于 10s,故将 0s 至 10s 的时间区间分成 10 段,分别对 $50deg/s \leq SAR_{Max} < 100deg/s$ 的一般紧急变道工况和 $SAR_{Max} \geq 100deg/s$ 的紧急变道工况进行分段统计,统计结果如图 3、图 4 所示。

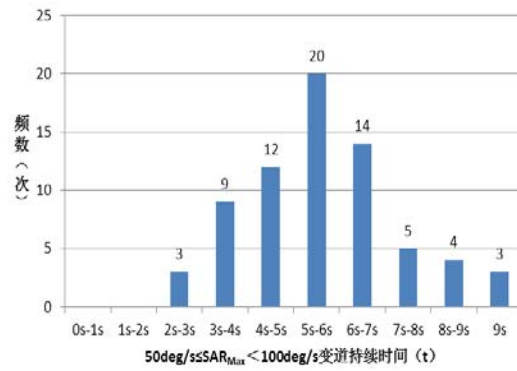


Figure 3. 50deg/s ≤ SAR < 100deg/s lane-changing duration
图 3. 50deg/s ≤ SAR < 100deg/s 变道持续时间分布图

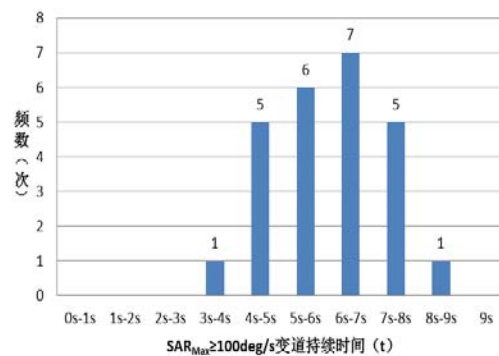
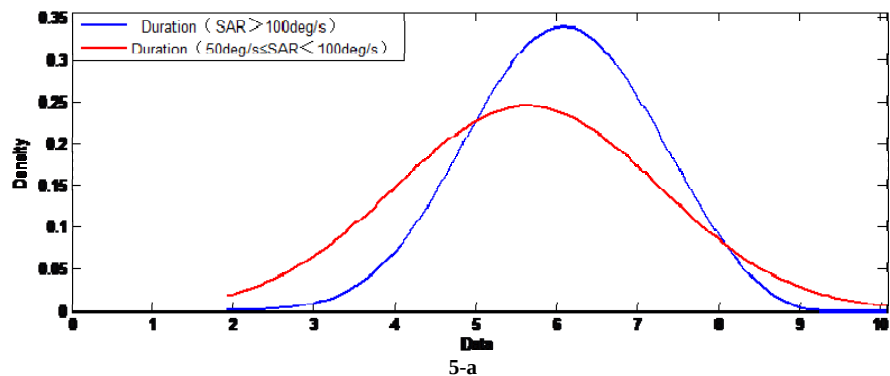
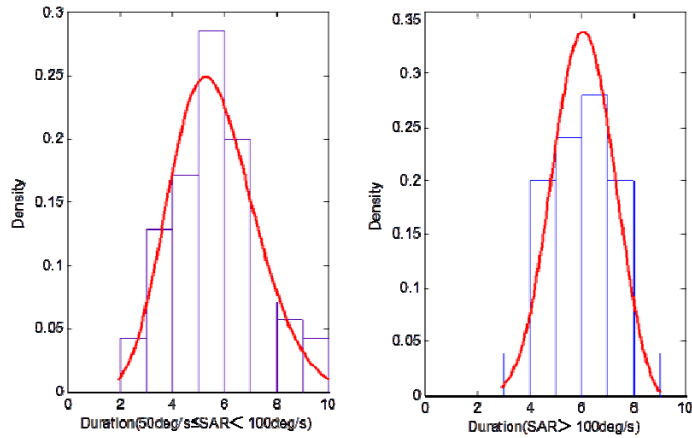


Figure 4. SAR ≥ 100deg/s lane-changing duration
图 4. SAR ≥ 100deg/s 变道持续时间分布

一般地，开始某项有关驾驶员行为的研究时，有关驾驶员行为分布特征并非是已知的，因此为了预测驾驶员行为特征的规律性，广义极值（Generalized Extreme Value, GEV）分布在驾驶员行为研究中被多次使用^[12]。本文采用广义极值分布研究不同紧急程度下驾驶员变道所需时间的分布特征。利用 Matlab 分别提供的广义极值分布模型研究两类不同紧急程度的变道工况中驾驶员变道持续时间，分布特征如图 5 所示。图 5-b 将两类不同紧急程度变道工况的变道持续时间分布进行了比较。表 3 中分别给出了根据两类工况所拟合的广义极值分布模型的具体参数值。





5-b

Figure 5. Curve: Generalized Extreme Value distribution of two different groups

图 5. 两组不同紧急程度下变道持续时间的广义极值分布

Table 3. Parameters of Generalized extreme value distribution

表 3. 广义极值分布参数统计表

工况	一般紧急变道	紧急变道
中位值(s)	5.63	6.04
形状参数(k)	0.08	0.17
尺度参数(sigma)	0.14	0.19
位置参数(mu)	0.2	0.26

从图 5-b 中可以直观地看出驾驶员在进行不同紧急程度变道操作过程中，变道时间的分布有很大的相似性。由表 3 可知所收集的 70 例一般紧急程度下变道操作的变道持续时间中位值为 5.63 秒，而 25 例紧急变道操作中的变道持续时间为 6.04 秒，两者相差不大。同时对比概率密度分布图的其他特征参数发现两种不同紧急程度的变道操作所用的变道持续时间差别不大。这样的结果说明，不同紧急程度对驾驶员变道持续时间的影响并不明显，紧急变道所用时间集中于某一特定范围内。根据数据所反映的特点，文中对不同紧急情况下的变道持续时间规律进行假设：认为紧急变道过程中驾驶员变道所用时间不受紧急程度的影响，即不同紧急情况下驾驶员采取变道操作所需要的时间恒定。

4.2 假设检验

为了验证所提出的假设，本文采用曼-惠特尼 U 检验验证之前所提出假设的正确性。曼-惠特尼 U 检验也称曼-惠特尼秩和检验，是用来检验两个独立变量是否存在显著差异性的一种常用的非参数检验方法^[13]。当两组变量不符合正态分布或分布特征不明显时，可以利用该方法检验两组变量之间的相关性。该检验方法的另一个特点是对样本容量的规模也没有严格的要求。文中所提出的假设以及数据特点完全属于曼-惠特尼秩和检验的应用范畴，故选择该方法对文中的假设进行验证。在利用曼-惠特尼秩和检验过程中，选择置信区间为 95%。表 4 和表 5 列出了曼-惠特尼秩和检验的检验结果。

Table 4. The overall results of Mann-Whitney u test

表 4. 曼-惠特尼秩和检验结果

紧急程度	N	秩均值	秩和
一般紧急	70	45.75	3202.5
紧急	25	54.3	1357.5
总数	95		

Table 5. The indicators of Mann-Whitney u test

表 5. 曼-惠特尼秩和检验指标

指标	数值
Mann-Whitney U	717.5
Wilcoxon W	3202.5
Z	-1.332
渐近显著性 p(双侧)	0.183

文中采取双侧检验，根据检验结果，秩和检验特征指标 Z 值是-1.332 落在了 (-1.96,1.96) 区间内，且显著性指标 $p=0.183>0.05$ ，则原假设成立，即两类不同紧急程度的变道工况中变道持续时间分布没有显著的差别，即紧急变道过程中变道所用时间不受到变道紧急程度的影响，变道时间基本恒定。

4.3 紧急变道变道持续时间分析

根据本文得出的结论，文中对所筛选的 95 例紧急变道工况的变道持续时间进行了统计，表 6 列出了 95 例紧急变道工况中各百分位变道持续时间。为了直观地观察紧急变道过程中驾驶员所需要的变道时间，绘制 95 例紧急变道工况变道持续时间散点分布图，如图 6 所示。结合表 6 与图 6 可以得到在紧急情况下驾驶员变道所用时间并非随机，驾驶员在采取紧急变道行为时所用的变道持续时间程集中分布，有 80%的驾驶员在紧急变道过程中所需要的变道时间集中于 4.3 秒-7.5 秒。

Table 6. Lane-changing duration of different percentile of divers
表 6. 各百分位驾驶员变道持续时间统计

驾驶员分位值	紧急变道持续时间 (s)
5%分位值	3.5
15%位值	4.3
25%位值	4.9
50%位值	5.9
75%位值	6.8
85%位值	7.5
95%位值	8.6

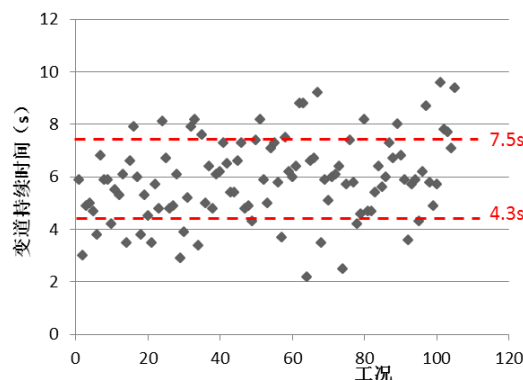


Figure 6. Scatter diagram: distribution of all drivers lane-changing duration at an emergency condition

图 6. 驾驶员紧急变道持续时间散点图

5 结论

本文利用 China-Pilot-FOT 所采集的自然驾驶数据，对紧急变道工况中变道持续时间进行研究。文中从自然驾驶数据中提取所有变换车道工况，以方向盘转角变化率 (Steering Wheel Angle Rate, SAR) 作为衡量变道紧急程度的筛选条件，从 228 例变道工况中筛选出 95 例紧急变道工况用于本文研究。将紧急变道工况按照不同紧急程度分为两组，一组是一般紧急变道工况 ($50\text{deg/s} \leq \text{SAR}_{\text{Max}} < 100\text{deg/s}$)，另一组是紧急变道工况 (SAR_{Max}

>100)。分别统计两种不同紧急程度下驾驶员变道持续时间,采用广义极值分布方法研究不同紧急程度驾驶员变道持续时间。利用广义极值分布分析得到驾驶员在不同紧急程度下变道持续时间的分布规律不受紧急程度。经过分析利用曼-惠特尼秩和检验(Mann-Whitney u test)方法对所提出的假设的正确性进行验证。研究发现紧急变道过程中变道持续时间呈集中分布,数值基本恒定,其中有 80%的紧急变道持续时间集中在 4.3 秒-7.5 秒。本文所得到的结论为后续研究驾驶员紧急变道行为,进而提出定变道持续时间驾驶员紧急变道模型提供了理论基础。

参考文献 (References)

- [1] Ahmed K I. Modeling drivers' acceleration and lane changing behavior[D]. Massachusetts Institute of Technology, 1999.
- [2] Shinar D. Psychology on the road. The human factor in traffic safety [M]. 1978.
- [3] Yang H H, Peng H. *Development and evaluation of collision warning/collision avoidance algorithms using an errable driver model*[J]. Vehicle System Dynamics, 2010, 48(S1): 525-535.
- [4] Yang H H. Driver models to emulate human anomalous behaviors leading to vehicle lateral and longitudinal Accidents[D]. The University of Michigan, 2010.
- [5] Fitch G M, Lee S E, Klauer S, et al. *Analysis of lane-change crashes and near-crashes*[J]. US Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration, 2009.
- [6] Tijerina L, Garrott W R, Glecker M, et al. *Van and Passenger Car Driver Eye Glance Behavior during Lane Change Decision Phase, Interim Report*[J]. Transportation Research Center Report, National Highway Transportation Safety Administration, Washington DC, 1997.
- [7] Hetrick S. Examination of driver lane change behavior and the potential effectiveness of warning onset rules for lane change or “side” crash avoidance systems[D]. Virginia Polytechnic Institute & State University, 1997.
- [8] Moridpour S, Sarvi M, Rose G. *Modeling the lane-changing execution of multiclass vehicles under heavy traffic conditions*[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2010 (2161): 11-19.
- [9] Worrall R D, Bullen A G R. *An empirical analysis of lane changing on multilane highways*[J]. Highway Research Record, 1970 (303).
- [10] Wierwille W W. *Driver steering performance* (Chapter 16)[J]. Automotive Engineering and Litigation, 1984, 1: 407-434.
- [11] Hong T, Kwon J, Park K, et al. Development of a Driver's Intention Determining Algorithm for a Steering System Based Collision Avoidance System[R]. SAE Technical Paper, 2013.
- [12] Hosking J R M, Wallis J R, Wood E F. *Estimation of the generalized extreme-value distribution by the method of probability-weighted moments*[J]. Technometrics, 1985, 27(3): 251-261.
- [13] Navidi W C. Statistics for engineers and scientists[M]. McGraw-Hill Higher Education, 20.