

驾驶员变道模型策略研究

杨良浩

(福建水利电力职业技术学院, 福建 永安 366000)

摘要: 驾驶员变道行为是驾驶员在道路上驾驶的基本行为, 是研究其他交通行为的基础。本文对已有变道模型进行综述研究, 包括常见的 Gipps 类模型、效用选择模型、加速度控制模型、车车通信变道模型、双车头变道模型、重复博弈变道模型、驾驶员类型变道模型、波理论变道模型、竞争协作变道模型等, 分析各模型建立的方式和思考的角度, 提出大数据结合人工智能的变道模型研究思路, 使变道模型更加贴合实际。

关键词: 驾驶员变道; 变道模型; 策略研究

车辆跟驰模型 (Car-Following Model) 与驾驶员变道模型 (Lane-Changing Model) 是从最基本的微观车辆行为、驾驶行为来描述中观、宏观视角下的交通现象。车辆跟驰模型历经 60 多年发展, 成果颇多。相比之下, 驾驶员变道模型由于驾驶员变换车道的行为更加复杂、难以预测, 致使驾驶员变道模型发展远远滞后于车辆跟驰模型。

驾驶员换道模型需要考虑到的因素比较复杂, 目前的研究分别从可穿插安全间隙、换道效用函数、以控制加速度表征驾驶员利益、车车通信协作、车辆横纵向加速度、车辆间反复博弈竞争、不同驾驶员类型换道行为、交通波理论等方面进行分析, 均尝试数学建模。如何科学合理地描述驾驶员驾驶策略及行为, 建立微观仿真模型变得十分重要。

在道路交通中, 若司机变道时未充分观察周围的交通环境或错误决策, 那么变道是最常见的行车行为, 且极易导致交通事故的发生。统计表明, 在交通事故总量中, 因变道引发的交通事故占 4%; 如果在车祸发生前 0.5s 可以警告驾驶者, 那么 60% 的事故是可以避免的; 提前到 1s, 可以避免 90% 的事故。从交通安全的角度来分析驾驶员换道行为, 建立一个准确的驾驶员变道微观仿真模型非常必要。本文对已有的驾驶员变道模型进行逐一考察分析, 试图找到更加合适的建模方法, 让驾驶员变道模型更加贴合实际。

一、变道模型

(一) Gipps 类模型

换道模型最早由 Gipps 提出, 该模型假定在城市道路中驾驶员换道行为考虑了换道风险、障碍物距离、转向需求等影响因素, 设计优先级决定规则, 以判别不同因素对换道行为的影响。在 Gipps 模型中, 目标车辆为了防止前车由于不确定性突然减速保持一个由车辆最大加、减速度和制动性能、驾驶员反应时间决定的安全距离。Gipps 模型采用固定的优先规则, 不能兼顾不同驾驶员行为之间差异所带来的随机性。式中 $gap_{safe,i}$ 表示第 i 、 $i+1$ 车间安全距离, x_i 、 x_{i+1} 表示目标车、前车的位置, l_{i+1} 表示前车车身长度, b_i 、 b_{i+1} 表示第 i 车、 $i+1$ 车最大减速度, τ_i 表示 i 车驾驶员反应时间, v_i 、 v_{i+1} 表示 i 车、 $i+1$ 车行驶速度。

$$x_{i+1}(t) + \frac{v_{i+1}(t)}{2b_{i+1}} - l_{i+1} \geq x_i(t) + v_i(t)\tau_i + \frac{v_i(t)^2}{2b_i},$$

$$gap_{safe,i} = x_{i+1}(t) - x_i(t) - l_{i+1}(t) = v_i(t)\tau_i + \frac{v_i(t)^2}{2b_i} - \frac{v_{i+1}(t)^2}{2b_{i+1}}$$

在 Gipps 模型的基础上, Yang 等考虑了变道概率, 引入随机误差, 提出了考虑变道、选择目标车道、寻找可接受间隙、实施变道等四个阶段的驾驶员变道行为。针对 Gipps 模型中换道行为

仅发生在安全条件下的假设, Hidas 提出了 3 类不同的换道行为: 自由换道、协作换道、强制换道。此外, 在配合变道和强制变道时, 为了提供足够的变道间隙, 目标车道后车主动或被迫减速。

(二) 效用选择类模型

Ahmed 等提出基于效用选择理论的概率模型。模型假定驾驶员选择不同车道的行为和车道的效用函数可以用概率来描述。模型中车道效用函数、选择概率函数如下式。在效用选择模型中, 驾驶员变道行为不再是确定性条件, 在采用概率形式的同时引入随机误差, 将驾驶员行为随意性融入模型。式中: U_{in} 为个体效用值; V_{in} 为可观测要素向量效用固定值; ε_{in} 为不可观察要素向量效用随机值。

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in}, \quad P(X < x) = \exp\left(-\left[1 + k\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)^k\right]\right)$$

在选择概率模型基础上, 增加自由换道与强制换道规则, 可构建更加复杂的驾驶员换道模型结构和参数, 是的模型理论依据更加严谨, Toledo 等人该方向做了大量研究工作。

(三) 加速度控制模型

驾驶员变道模型还可以从加速度控制方向进行研究, 在 MOBILE 模型基础上, 增加车辆加速度控制。Kesting 等提出一种通过判断驾驶员变道前后不同车道上车辆的局部“驾驶收益”来决策是否变道的模型。模型中车辆的加速度值能表示“驾驶收益”, 同时考虑变道规则的对称性和礼让系数。式中, U_r 为目标车辆的换道总效益, a_v 、 a_{TFV} 、 a_{FV} 为目标车、目标车道跟随车、原车道跟随车加速度; $\bar{a}_v$ 、 $\bar{a}_{TFV}$ 、 $\bar{a}_{FV}$ 为换道后目标车、目标车道跟随车、原车道跟随车加速度; Δa_{th} 为换道效益阈值; ρ 为礼让系数。

$$u_r = \bar{a}_v - a_v + \rho[(\bar{a}_{TFV} - a_{TFV}) + (\bar{a}_{FV} - a_{FV})] > \Delta a_{th}$$

(四) 车车通信变道模型

在自动驾驶前提下, 车辆变道行为会影响环境中其他车辆运动状态, 车辆间能进行快速通信, 建模时应考虑车辆获取的参数信息、车车通信, 还可以考虑换道行为下安全性、舒适性和通行效率的提高。自动驾驶模型中, 车辆能通过一系列传感器获取环境车辆的信息, GPS 传感器、速度传感器、摄像头传感器能分析出其他车辆的位置、速度、加速度。向勇等在自动驾驶和车车通信背景下, 建立符合安全性、舒适性、通行效率的换道模型, 利用模型得出的驾驶轨迹, 实现车辆自动换道行为, 其博弈换道决策函数如下式。式中 D 表示安全车距收益函数, S 表示速度收益函数, α 表示安全车距函数对应权重系数 β 表示速度收益函数对应权重系数。

$$G = \alpha \times D + \beta \times S, \quad 0 \leq \alpha, \beta \leq 1, \quad \alpha + \beta = 1$$

(五) 双车头变道模型

驾驶员变道模型通常考虑车辆从 A 车道变道到 B 车道, 变道

过程中必然改变车辆前进方向和垂直方向实时参数信息,同时也会影响驾驶员前后多辆车的正常驾驶过程,因此有必要对变道过程中上述两方面进行分析,从而建立合适的驾驶员变道模型。张志学等考虑目标车前方两辆以上的车辆,同时关注目标车辆横、纵方向的位置、速度、加速度信息变化,建立双车头变道模型。通过计算多辆前车在多方向上的行为来调整车辆间距和速度差,从而得到双车头变道模型。模型中,驾驶员变道的纵向加速度受到目标车道上前方车辆间距和速度差的影响,该部分利用最优速度模型描述驾驶员的加减速行为;而横向加速度则考虑横、纵向速度夹角,通过横向位移确定纵向速度和位移。

(六) 重复博弈变道模型

驾驶员变道行为可以作为一种特殊的博弈行为,这种博弈是以驾驶员的期望速度为决策目标,变道行为发生与否具有一定的概率性。刘小明等以博弈理论为基础,考虑驾驶员变道过程的多阶段性,构建动态重复博弈驾驶员变道模型。

该模型中,驾驶员车辆决策行为可以归纳为一个策略集合。变道过程中,目标车辆和后车之间冲突后做出的决策均可在该策略集合中找到对应元素。通过分析变道行为的多个阶段博弈过程,赋予不同决策期望和概率,可以建立驾驶员变道概率模型。例如,当目标车和后车冲突时两车决策期望均为-1,当目标车加速、后车减速则目标车与后车决策期望为2和0,当目标车和后车均减速则两车决策期望均为0。通过考虑驾驶员行车的速度期望和安全期望得出不同车辆的决策概率,同时考虑影响车辆期望的不同因素,进而分析驾驶员变道速度。

(七) 驾驶员类型变道模型

不同类型驾驶员的变道行为略有不同,因此驾驶员变道模型应当考虑驾驶员类型,可以将驾驶员类型分为保守型、谨慎型、常规型、激进型和冒险型。在传统驾驶员变道模型的基础上考虑驾驶员个体差异,建立更加符合实际的驾驶员变道模型。

许伦辉等在传统驾驶员变道模型中考虑驾驶员类型,描述驾驶员变道行为心理承受度,对不同类型驾驶员评分,保守型、谨慎型、常规型、激进型和冒险型评分为1、3、5、7、9。该模型从驾驶员危险承受度进一步考虑驾驶员行车危险区域和危险值,圈定目标车辆在内的椭圆形区域为危险区域,椭圆的长短轴分别用 L_x 和 L_y ,不同区域表示不同的危险值。

(八) 波理论变道模型

经典跟驰模型考虑了波动场理论,同样的驾驶员变道模型也可以引入波动理论。在交通波传过程中,可以分为集结波和消散波,均考虑驾驶员变道行为的宏观模型。

闫蔚东等在经典STCA模型下引入驾驶员变道不同车道的概率,考虑驾驶员交通环境发生变化形成集结波。模型假设目标车辆速度从 v_1 变为 v_2 ,前方某一车辆在交通波发生 t_1 时间后进行变道,逃离当前交通集结的影响。该车变道后车道上的集结波开始消散后形成交通疏散波,车道逐渐达到新的平衡状态。

(九) 竞争协作变道模型

多名驾驶员变道行为本质上是竞争行为,在竞争同时也存在驾驶员间的协作。因此,可以从驾驶员竞争换道、协作换道的角度建立驾驶员换道模型。李鹏飞等通过对驾驶员变道的车道距离和时间、车辆行驶的距离和时间进行对比,着重分析变道过程中车辆间隙、速度变化、横向位移,建立快速路驾驶员变道的竞争、协作换道模型。该模型在传统驾驶员换道模型的基础上,强调驾

驶员间的竞争和协作行为,通过标定换道过程目标车辆的交通特征参数,提出重合区域的最小值分析法,计算竞争、协作两种类型换道的特征指标临界值和换道概率。

二、总结展望

现有驾驶员变道模型种类较多,Gipps类模型着重考虑车辆加减速性能和驾驶员反应时间,效用选择模型考虑了换道效益和选择概率,加速度控制模型考虑前后车间加速度变化和礼让系数,车车通信变道模型标定安全车距和速度权重,双车头变道模型考虑前进方向和垂直方向加速度,重复博弈变道模型考虑博弈过程中支付概率,驾驶员类型变道模型考虑不同类型驾驶员心理承受度,波理论变道模型考虑波动场理论,竞争协作变道模型考虑竞争与协作特征指标和概率。

每种变道模型的建立都是一个逻辑上自洽的过程,当车辆处于复杂的交通环境中,不同驾驶员变道模型计算出来的结果可能存在差异,单一的变道模型无法作为驾驶员微观仿真行为的依据。为了让微观仿真系统中驾驶员变道行为更加真实合理,需要更加智能的变道模型。大数据结合人工智能技术可以逐步完善该问题,通过让驾驶员变道模型不断学习变道场景、收集变道数据,找到不同情况下的变道模型参数,丰富模型中的驾驶员行为,才能在让模型更加贴合实际道路交通环境。

参考文献:

- [1] 杨刚,张东好,李富强,等.基于车车通信的车辆并行协同自动换道控制[J].公路交通科技,2017,34(1):11.
- [2] 许伦辉,倪艳明,罗强,等.基于最小安全距离的车辆换道模型研究[J].广西师范大学学报:自然科学版,2011,29(4):6.
- [3] 柏海舰,马雪兰,申剑峰,等.城市路段转向换道流量的理论计算方法[J].交通科技与经济,2016,18(6):7.
- [4] 李鹏飞,石建军,刘小明.城市快速路竞争与协作换道行为特征分析[J].公路交通科技,2016,33(12):10.
- [5] 《中国公路学报》编辑部.中国交通工程学术研究综述·2016[J].中国公路学报,2016,29(6):1-161.
- [6] 向勇,罗禹贡,曹坤,等.基于车车通信的自动换道控制[J].公路交通科技,2016,33(3):8.
- [7] 周世杰,宋竹,罗嘉庆.微观交通仿真的安全换道模型研究[J].电子科技大学学报,2015,44(5):6.
- [8] 闫蔚东,杨晓芳.基于交通波理论的换道模型[J].物流科技,2015,38(8):5.
- [9] 丁洁云,党睿娜,王建强,等.驾驶人换道决策分析及意图识别算法设计[J].清华大学学报:自然科学版,2015(7):6.
- [10] 张志学,王昊.基于车辆运行轨迹的换道执行模型研究[J].武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2015(002):354-358.
- [11] 马勇,付锐,郭应时,等.基于实车试验的驾驶人换道行为多参数预测[J].长安大学学报:自然科学版,2014,34(5):8.
- [12] 楼大成.车辆换道过程中目标车辆与周围车辆的安全距离[J].硅谷,2014,7(5):2.
- [13] 刘艳玲,熊辉.基于运动学的换道安全间距研究[J].交通标准化,2014,42(4):118-121.
- [14] 刘小明,郑淑晖,蒋新春.基于动态重复博弈的车辆换道模型[J].公路交通科技,2008,25(006):120-125.