

文章编号: 2095-2163(2020)12-0126-03

中图分类号: TP389.1

文献标志码: A

# 十字路口类人行为的自动驾驶决策框架

郭鹏宇

(上海工程技术大学 机械与汽车工程学院, 上海 201620)

**摘要:** 本文提出一个自动驾驶的决策框架,使得自主车辆能够安全、高效地通过十字路口。该框架首先使用数字地图来预测观测自动驾驶车辆和行人的未来路径,使用预测的未来路径来识别潜在的威胁(行人)和碰撞区域;其次,在一个独立的分布式推理结构下,通过威胁测度、贝叶斯网络,系统可靠、稳健地评估潜在的威胁,利用这些信息,通过模拟器学习人类驾驶行为,为自动驾驶车辆确定适当的机动,以安全有效地行驶在十字路口。该算法具有很好的实验结果,能够成功地决定在行人通过道路之前或之后行驶。

**关键词:** 自动驾驶; 决策; 十字路口

## Automatic driving decision algorithm for humanoid behavior at intersections

GUO Pengyu

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

**[Abstract]** This paper proposed an autonomous driving decision-making framework to enable autonomous vehicles to safely and efficiently pass through intersections. The framework used digital maps to predict the future paths of observed autonomous vehicles and pedestrians, and then used the predicted future paths to identify potential threats (pedestrians) and collision areas. Secondly, under an independent distributed reasoning structure, potential threats were systematically, reliably and stably assessed through threat measure and Bayesian network. Then the information is used to learn human driving behavior through the simulator to enable the appropriate movement for the autonomous vehicle to drive safely and effectively at the intersection. The algorithm shows good results and can successfully decide whether to drive before or after pedestrians pass the road.

**[Key words]** Autonomous driving; Decision making; Intersection

### 0 引言

交叉路口既复杂又危险,每年致命交通事故中,车辆在过马路时撞到行人的事故占了大多数。因此,防止有行人参与的交通事故发生,会降低死亡人数。驾驶车辆是一种自适应操作,驾驶员具有先发制人的行为(如调整车速、调整安全裕度),以避免与静止物体和其他道路使用者发生碰撞<sup>[1]</sup>。这种先发制人的行为是基于司机对交通环境预期和感知。因此,如果司机对周围环境的风险有充分的预期,那么发生碰撞的风险就会降低。本文试图使用一个详细的、精确的数字地图来预测人行横道上所有行人可能的未来运动路径的算法,该算法将观测车辆未来运动路径与行人路径相交的交叉口处的物理区域识别出来,并将其分类为潜在碰撞区域(CAs)<sup>[2]</sup>。利用一个独立的分布式推理结构来有效和系统地评估给定的交通状况,利用威胁措施和贝叶斯网络可靠地评估有关行人碰撞的可能性,并通过模拟器学习人类驾驶车辆的决策行为,高效安全的通过交叉路口。整体决策框架如图1所示。

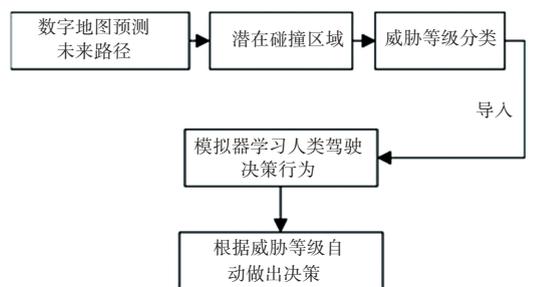


图1 决策框架图

Fig. 1 Decision frame diagram

### 1 环境信息获取

本文提出的框架使用一个详细的、精确的数字地图来预测所有观察车辆和行人在车道及人行横道上所有可能的未来运动路径(以下称为未来路径)。这种地图中包含的上下文信息(即交叉口的几何和拓扑特征)可以为每辆被观察的自动驾驶车辆(AV)和行人的意图提供有用的指示。因此,该框架将观测到的车辆和行人投影到详细、精确的数字地图上,可以为每一辆观测到的车辆确定一组有限的未来路径。如果被观察的车辆位于交叉路口内,由

作者简介: 郭鹏宇(1995-),女,硕士研究生,主要研究方向:智能网联汽车。

收稿日期: 2020-09-17

于交叉路口的特点,在确定车辆未来的有限路径时,建议的框架将额外考虑车辆的航向,即路径可以在交叉中分离、交叉或连接。由于本文所提出的框架在车道水平上预测了所有观测车辆未来可能的路径,因此可以用于任何交叉路口,该框架可以被认为是一个通用框架。给定观察车辆和行人通过给定交叉口时的未来路径的有限集,如图 2 所示。该框架使用这些有限集来识别潜在的威胁。

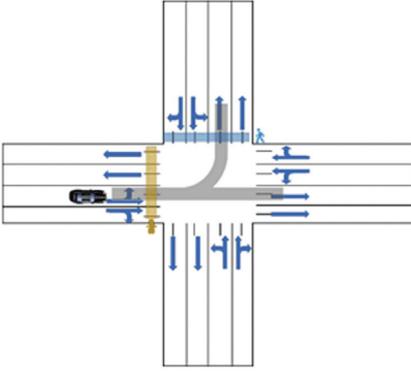


图 2 车辆行人数字地图投影轨迹预测图

Fig. 2 Vehicle pedestrian digital map projection trajectory prediction map

## 2 态势评估

### 2.1 独立的分布式推理结构

在独立分布式推理结构下,根据 CA 对相关车辆分组,即具有相同碰撞区域(CCA)的相关车辆组成一个组,每组被分配一个独立的推理代理(IRA),每个 IRA 在考虑任何不确定性时,通过威胁度量和贝叶斯网络,为其指定组内的每个相关行人,推断出一个威胁级别。每个 IRA 确定最迫在眉睫的威胁来自其指定组内的相关行人,即对应威胁等级危险的概率值最大的相关行人。最后,每个 IRA 使用其分配组中最紧迫威胁推断威胁级别作为当前交通情况的威胁级别。

所述结构将已知的相关车辆按照 CA 分组,假设有 7 组,从而识别出 7 个 CCA 的集合  $\{c_1, \dots, c_7\}$ 。该结构随后分配了 7 个 IRAs  $\{\alpha_1, \dots, \alpha_7\}$ ,即从  $\alpha_1 \sim c_1, \alpha_2 \sim c_2, \alpha_3 \sim c_3$  等等。 $r_i^k$  代表的是分配给 IRA  $\alpha_k$  的相关车辆,而不是分配给 CCA  $ck$  的相关车辆。一个相关车辆可以分配给一个或多个 IRA。

### 2.2 威胁的推断

本文利用一种称为进入时间(TTE)的准则来评估在给定交通情况下在路口处的相关行人。对于与 CA  $ck$  相关的行人  $r_i^k$ , TTE 定义为  $r_i^k$  从当前位置以当前速度到达  $ck$  所需要的时间。为了避免 CAs 内

部的碰撞,本文修改了 TTE 准则,引入了一个约束,当  $r_i^k$  位于其关联的  $ck$  内时, TTE 值为零。修正后的 TTE 的公式定义为式(1):

$$y_i^k(ck) = \begin{cases} \frac{d_i^k(ck)}{v_i^k}, & v_i^k > 0, d_i^k(ck) > 0 \\ 0, & d_i^k(ck) \leq 0 \\ +\infty, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $y_i^k(ck)$  是随机变量,表示 CA  $ck$  在  $t$  时刻相关行人  $r_i^k$  的修正 TTE 值;  $t$  时刻相关行人  $r_i^k$  当前位置沿人行横道到 CA  $ck$  的距离表示为  $d_i^k(ck)$ ;  $t$  时刻相关车辆  $r_i^k$  的速度用  $v_i^k$  表示。

### 2.3 基于贝叶斯网络的概率推理

为了解决不确定性,本文利用贝叶斯网络来可靠地评估在十字路口给定的交通情况下,甚至在不确定的噪音数据下的相关行人(即潜在威胁)。根据修正的 TTE 定义了 3 个威胁等级,每一个都代表碰撞可能性的整体威胁等级:  $z \in Z = \{Dangerous, Attentive, Safe\} = \{D, A, S\}$ ,其中  $z$  为随机变量,表示相关车辆的威胁等级或给定交通情况下的威胁等级。

假设相关车辆  $P(z)$  威胁等级的先验概率质量函数服从均匀分布,利用贝叶斯定理可以确定给定修正 TTE 值下相关行人威胁等级的概率分布如式(2)所示:

$$P(Z_i^k | y_i^k) = \frac{P(y_i^k | Z)}{\sum_{j=1}^{N_Z} P(y_i^k | Z(j))}. \quad (2)$$

式中,  $P(Z_i^k | y_i^k)$  表示给定修正 TTE 值  $y_i^k$  在  $t$  时刻相关车辆  $r_i^k$  威胁等级的概率分布;集合  $Z$  的第  $j$  个元素记为  $Z(j)$ ;参数  $N_Z$  表示  $Z$  中威胁级别的数量。

通过以下论证最大限度地利用威胁等级概率分布产生的概率来确定相关行人的威胁等级,式(3):

$$\hat{z}_i^k = \underset{Z_i^k}{\operatorname{argmax}} P(Z_i^k | y_i^k) \in Z. \quad (3)$$

式中,  $\hat{z}_i^k$  表示  $t$  时刻相关行人  $r_i^k$  的威胁级别推断。

## 3 实验

实验车辆有几个传感器来估计其姿态和感知其环境。一个 GPS 辅助的 NovAtel 虚拟参考站被安装在车顶来估计车辆的姿态。GPS 与 IMar IMU 相结合,提供增强的实时运动学性能。77 GHz Delphi 多模 ESR 雷达连接到前保险杠,两个多层 LD-MRS 激光雷达在最前端,两个二维的 LMS 激光雷达在后

(下转第 136 页)