



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105329238 B

(45)授权公告日 2017.08.08

(21)申请号 201510883479.2

B62D 15/02(2006.01)

(22)申请日 2015.12.04

审查员 张小慧

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 105329238 A

(43)申请公布日 2016.02.17

(73)专利权人 北京航空航天大学  
地址 100191 北京市海淀区学院路37号

(72)发明人 王云鹏 周彬 余贵珍 于海洋  
吴家轩

(74)专利代理机构 北京永创新实专利事务所  
11121  
代理人 祗志洁

(51)Int.Cl.  
B60W 30/18(2012.01)  
B60W 10/20(2006.01)

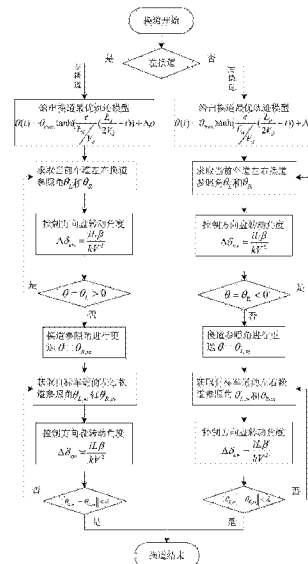
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种基于单目视觉的自动驾驶汽车换道控制方法

(57)摘要

本发明提供了一种基于单目视觉的自动驾驶汽车换道控制方法,属于汽车电子控制技术领域。本方法在自动驾驶汽车的车顶安装摄像头,用于采集车道线图像;通过图像处理模块对车道线图像处理和识别得到拟合的车道线;通过上位机模块计算出方向盘转角增量,输出电机控制信号给执行单元。本方法定义了换道参照角,提供了基于换道参照角的换道最优轨迹模型,通过预测控制理论得出方向盘转角增量,对车辆方向盘进行控制,换道参照角根据需要选取左换道参照角或右换道参照角。本发明仅使用用于路径识别的摄像头即可实现换道闭环控制,换道过程稳定可靠,并且降低了成本,减少了系统的复杂程度。



1. 一种基于单目视觉的自动驾驶汽车换道控制方法,其特征在于,实现过程如下:在自动驾驶汽车的车顶安装摄像头,用于采集车道线图像;通过图像处理模块对车道线图像处理和识别得到拟合的车道线;上位机模块根据拟合的车道线计算方向盘转角增量,输出电机控制信号给执行单元;

其中,上位机模块计算方向盘转角增量的方法是:

首先,定义车辆换道参照角,具体是:在摄像头视野内,存在左右两个换道参照角,分别是车辆所在车道的左侧车道线和右侧车道线同车辆所在的车道中线的夹角。

其次,提供基于换道参照角的换道最优轨迹模型,如下:

$$\theta(t) = \theta_{\max} \tanh\left(\frac{\tau}{L_d/V_d} \left(\frac{L_d}{2V_d} - t\right)\right) + \Delta\rho$$

其中, $\theta(t)$ 为换道参照角随时间 $t$ 变化的函数; $\theta_{\max}$ 为换道参照角最大值; $\tau$ 为时间变化因子; $L_d$ 为车辆换道过程产生的纵向位移; $V_d$ 为车辆换道过程的车速; $\Delta\rho$ 为换道偏离度;

则通过预瞄控制理论得出方向盘转角增量,如下:

$$\beta = \frac{2(\theta(t+T) - \theta - T\dot{\theta}(t))}{T^2}; \Delta\delta_{sw} = \frac{iL\beta}{kV^2}$$

其中, $\beta$ 为车辆弥补误差所需要的参照角加速度, $\Delta\delta_{sw}$ 为方向盘转角增量; $T$ 为设定的预瞄时刻, $\theta(t+T)$ 为由换道最优轨迹模型得到 $t+T$ 时刻的期望换道参照角, $\theta$ 为当前获取的换道参照角, $i$ 为转向系传动比, $L$ 为轴距, $V$ 为车辆速度, $k$ 为车辆的横向位移同换道参照角之间线性关系的比例系数。

2. 根据权利要求1所述的基于单目视觉的自动驾驶汽车换道控制方法,其特征在于,所述的自动驾驶汽车在换道时,包括三个阶段:

第一阶段:车辆启动换道,确定当前的换道参照角 $\theta$ ;若为左换道则当前的换道参照角为当前车道的左换道参照角,若为右换道则当前的换道参照角为当前车道的右换道参照角;实时获得当前的换道参照角 $\theta$ ,根据换道最优轨迹模型确定方向盘转角增量,对车辆方向盘进行控制;当 $\theta$ 小于设定的阈值时进入第二阶段;

第二阶段:车辆方向盘继续跟随 $\theta$ 进行控制,当 $\theta$ 值为0时,转换当前的换道参照角;若为左换道则转换当前的换道参照角为目标车道的右换道参照角;若为右换道则转换当前的换道参照角为目标车道的左换道参照角;

第三阶段:实时获取目标车道的左换道参照角 $\theta_{L,m}$ 和右换道参照角 $\theta_{R,m}$ ,根据换道最优轨迹模型确定方向盘转角增量,对车辆方向盘进行控制,使得车辆继续向左侧车道移动;当满足 $|\theta_{L,m} - \theta_{R,m}| < \lambda$ 时,换道结束, $\lambda$ 为设定的车辆偏离阈值。

3. 根据权利要求1所述的基于单目视觉的自动驾驶汽车换道控制方法,其特征在于,所述的左右两个换道参照角,如下获得:

设感兴趣区域与拟合的左侧车道线相交的上下两端点坐标为A( $x_a, y_a$ )和B( $x_b, y_b$ ),感兴趣区域与拟合的右侧车道线相交的上下两端点坐标为C( $x_c, y_c$ )和D( $x_d, y_d$ );

通过反三角函数公式得到车辆在当前车道的左换道参照角 $\theta_L$ 和右换道参照角 $\theta_R$ :

$$\theta_L = \arctan \frac{x_a - x_b}{y_b - y_a}; \theta_R = \arctan \frac{x_c - x_d}{y_d - y_c}。$$

## 一种基于单目视觉的自动驾驶汽车换道控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及汽车电子控制技术,特别是涉及一种基于单目视觉使用驾驶机器人的自动驾驶汽车换道控制方法。

### 背景技术

[0002] 近年来,中国汽车工业的迅猛发展使得国内汽车数量有着大幅的增长,而汽车在使用过程中的安全可靠性能日益受到重视,安全可靠的车辆可降低交通事故的伤亡,减少事故所造成的经济损失。各大汽车厂家在新车上市之前往往要在汽车综合试验场做大量实车试验,汽车综合试验场可以模拟多种复杂路况,可以对车辆进行动力性能、安全性能以及耐久性能等各方面的试验。车辆试验最直接的方式是人工驾驶,但人工驾驶受到人为因素和环境因素的影响,在进行试验时存在很多不足。

[0003] 而自动驾驶系统能够实现对车辆的准确操纵和控制,具有长时间高强度持续工作、试验效率高、重复性好和测试精度高等优点,能够安全有效地完成各种测试。开发用于车辆试验的驾驶机器人代替驾驶员,可克服人工驾驶存在的不足,较好满足车辆可靠性和安全性道路等试验要求。

[0004] 汽车运动的控制是油门、制动及方向盘的综合动作的结果,汽车换道便是由油门、制动及方向盘综合控制完成的,这些都是汽车控制的基本动作,因此做好自动驾驶汽车的换道控制研究具有重要意义。

[0005] 目前世界上大部分驾驶机器人能控制方向盘但不具有环境识别能力,其代表主要有:英国ABD公司研发的无人驾驶车辆测试系统(DTS),DTS系统的转向控制使用的是基于GPS路径数据;一些文献中也曾提到过运用车辆加速度及速度等车辆姿态参数为基准对智能车辆换道进行控制如:在2012年Guoqing,Xu的“Dynamic Modeling of Driver Control Strategy of Lane-Change Behavior and Trajectory Planning for Collision Prediction”一文提到了动态换道模型,就是居于高精度GPS及车辆姿态进行换道控制;还有学者曾经提出根据前方车辆类型(车的横向纵向尺寸)为换道基准,如2012年Milanés, Vicente的“Intelligent automatic overtaking system using vision for vehicle detection”,其换道控制过程也采用了前面提到的基于车辆姿态参数进行控制。这些换道控制策略均可实现安全平稳换道,但它的实现不仅需要车载摄像头,而且还要加装高精度GPS、加速度传感器、车速传感器等高精密仪器。

### 发明内容

[0006] 针对现有换道控制技术无法进行实时反馈或需要依赖于大量高精度传感器为基础的问题,以及现有换道控制策略依据的是利用车辆姿态参数来计算车辆在两车道的位置,因此误差较大且实时性差的问题,本发明提供了一种基于单目视觉的自动驾驶汽车换道控制方法,换道控制策略基于换道参照角一个参数,且仅使用任何智能车都具有的车载摄像头即可实现。

[0007] 本发明提供的基于单目视觉的自动驾驶汽车换道控制方法,实现过程为:在自动驾驶汽车的车顶安装摄像头,用于采集车道线图像;通过图像处理模块对车道线图像处理和识别得到拟合的车道线;上位机模块根据拟合的车道线计算出方向盘转角增量,输出电机控制信号给执行单元。

[0008] 其中,上位机模块计算方向盘转角增量的方法是:

[0009] 首先,定义车辆换道参照角,具体是:在摄像头视野内,存在左右两个换道参照角,分别是车辆所在车道的左侧车道线和右侧车道线同该车道中线的夹角。

[0010] 其次,提供基于换道参照角的换道最优轨迹模型,如下:

$$[0011] \quad \theta(t) = \theta_{\max} \tanh\left(\frac{\tau}{L_d/V_d} \left(\frac{L_d}{2V_d} - t\right)\right) + \Delta\rho$$

[0012] 其中, $\theta(t)$ 为换道参照角随时间 $t$ 变化的函数; $\theta_{\max}$ 为换道参照角最大值; $\tau$ 为时间变化因子; $L_d$ 为车辆换道过程产生的纵向位移; $V_d$ 为车辆换道过程的车速; $\Delta\rho$ 为换道偏离度。

[0013] 则通过预瞄控制理论得出方向盘转角增量,如下:

$$[0014] \quad \beta = \frac{2(\theta(t+T) - \theta - T\dot{\theta}(t))}{T^2}; \Delta\delta_{sw} = \frac{iL\beta}{kV^2}$$

[0015] 其中, $\beta$ 为车辆弥补误差所需要的参照角加速度, $\Delta\delta_{sw}$ 为方向盘转角增量; $T$ 为设定的预瞄时刻, $\theta(t+T)$ 为由换道最优轨迹模型得到 $T_1=t+T$ 时刻的期望换道参照角, $\theta$ 为当前获取的换道参照角, $i$ 为转向系传动比, $L$ 为轴距, $V$ 为车辆速度, $k$ 为车辆的横向位移同换道参照角之间线性关系的比例系数。

[0016] 自动驾驶汽车在换道时,分为三个阶段:

[0017] 第一阶段:车辆启动换道模式,确定当前的换道参照角 $\theta$ ;若为左换道则当前的换道参照角为当前车道的左换道参照角,若为右换道则当前的换道参照角为当前车道的右换道参照角;实时获得当前的换道参照角 $\theta$ ,根据换道最优轨迹模型确定方向盘转角增量,对车辆方向盘进行控制;当 $\theta$ 小于设定的阈值时进入第二阶段;

[0018] 第二阶段:车辆方向盘继续跟随 $\theta$ 进行控制,当 $\theta$ 值为0时,转换当前的换道参照角;若为左换道则转换当前的换道参照角为目标车道的右换道参照角;若为右换道则转换当前的换道参照角为目标车道的左换道参照角;

[0019] 第三阶段:实时获取目标车道的左换道参照角 $\theta_{L,m}$ 和右换道参照角 $\theta_{R,m}$ ,根据换道最优轨迹模型确定方向盘转角增量,对车辆方向盘进行控制,使得车辆继续向左侧车道移动;当满足 $||\theta_{L,m} - \theta_{R,m}|| < \lambda$ 时,换道结束, $\lambda$ 为设定的车辆偏离阈值。

[0020] 本发明基于单目摄像头获取车道线信息,运用提出的车辆换道参照角判断车身在换道过程中所处的位置,根据预瞄跟随基本理论给出车辆方向盘控制量,从而完成自动驾驶汽车换道的方法。本发明的优点与积极效果在于:

[0021] (1) 本发明基于单目视觉驾驶机器人的自动驾驶汽车换道控制方法可以实时获取车道线的信息,根据换道参照角判断车身在换道过程中所处的位置,可实现换道的闭环控制,使自动驾驶汽车的换道过程稳定可靠。

[0022] (2) 本发明方法在整个换道过程无需借助转角传感器、加速度传感器及高精度GPS

等,仅使用用于路径识别的摄像头即可实现换道闭环控制,降低成本,减少了系统的复杂程度。

[0023] (3) 本发明方法在换道过程中运用新提出的换道标志——换道参照角作为换道依据,简化了换道控制过程,使得整个控制方法简单可行。

[0024] (4) 本发明方法中提出了一个基于换道参照角的换道轨迹模型,该模型源于真人驾驶员的驾驶经验,在换道应用上更加拟人化,更加符合真实换道操作。

[0025] (5) 本发明在换道控制上运用驾驶员预瞄原理,结合换道轨迹对车辆进行精确控制。

## 附图说明

[0026] 图1是本发明自动驾驶汽车驾驶机器人的结构框图;

[0027] 图2是拟合的车道线及换道参照角示意图;

[0028] 图3是自动驾驶车辆一次左换道其参照角变化情况图;(a)为车辆未进行换道前;(b)为车辆开始进行左换道;(c)为车辆处于分界线正上方时;(d)为车辆进入目标车道后;

[0029] 图4是自动驾驶车辆左换道所获取参照角变化情况;

[0030] 图5是本发明自动驾驶车辆换道控制流程示意图。

## 具体实施方式

[0031] 下面将结合附图和实施例对本发明作进一步的详细说明。

[0032] 本发明自动驾驶汽车的换道控制方法参考人工驾驶汽车换道的方法。驾驶员驾驶汽车进行换道时,眼睛主要注视车辆前方的本车道同目标车道。其中两条车道的分界线(一条车道线)是换道过程中的一个重要参照。车辆的换道过程主要分为靠近分界线、骑压分界线及远离分界线并进行姿态调整三个阶段,在这三个阶段中分界线的斜率会随车辆的位置变化,呈现一定的变化规律。因此自动驾驶汽车通过单目摄像头识别车道线信息,根据换道参照角的变化规律建立换道最优轨迹模型,并结合预瞄跟随基本理论,给出方向盘及油门、制动踏板控制机构的控制目标量,从而实现自动驾驶车辆自动换道控制。

[0033] 本发明中自动驾驶汽车依靠单目摄像头感知道路环境信息,通过驾驶机器人实现对车辆的操纵控制,依靠以工控机为主的控制单元建立环境感知端与执行机构端之间的联系,通过控制方法实现对自动驾驶汽车的换道控制。

[0034] 图1是本发明自动驾驶汽车驾驶机器人结构框图,包括:一个能够对道路车道线信息进行采集的摄像头,摄像头安装在车顶;一个对摄像头采集到的车道线图像进行算法分析和处理的图像处理模块,一个接收车道线信息处理结果并给出电机控制信号的上位机模块;根据上位机输出的电机控制信号执行方向盘及油门、制动踏板动作的执行单元。所使用的摄像头安装于后视镜处的车顶上方,为驾驶机器人提供车道线信息。

[0035] 摄像头安装在车顶正中靠近挡风玻璃的位置,以确保车辆循线时能够行驶在车道的正中位置。摄像头获取车辆前方道路图像,通过运用OpenCV获取车道线信息,得出换道参照角,运用预瞄跟随理论结合换道轨迹得出换道参照角偏移量,该角度值会作为换道控制输入,经过换道控制算法计算出当前车辆需要转动的方向盘增量,通过控制转向电机实现对车辆前进方向的控制。

[0036] 图2是本发明自动驾驶汽车拟合的车道线及换道参照角示意图,其中车道线拟合线同车辆感兴趣区域(ROI)交点为A、B、C、D。AB和CD为拟合的车道线,车辆感兴趣区域根据摄像头视野设定,本发明实施例中自动驾驶系统所用车载摄像头分辨率为320\*240,单位是像素。则在图像处理过程中制定如图中所示的坐标系,其中左上方为零点,X轴取值范围为0-320,方向水平向右;Y轴取值范围为0-240,方向垂直向下;如图2中的矩形框所示,该矩形框为本发明实施例的车辆感兴趣区域。

[0037] 定义:设拟合的车道线即分道线,同ROI的交点坐标上端点为 $(x_{ur}, y_{ur})$ 、下端点为 $(x_{dr}, y_{dr})$ ,则存在关系式(1),角度 $\theta$ 称为换道参照角。

$$[0038] \quad \theta = \arctan \frac{x_{ur} - x_{dr}}{y_{dr} - y_{ur}} \quad (1)$$

[0039] 在摄像头视野中,存在左右两个换道参照角,如图2所示, $\theta_L$ 、 $\theta_R$ 分别为车辆左侧车道线同车道中线的夹角——左换道参照角和车辆右侧车道线同车道中线的夹角——右换道参照角,当车辆进行左换道时 $\theta$ 取左换道参照角即 $\theta = \theta_L$ ;车辆进行右换道时 $\theta$ 取右换道参照角即 $\theta = \theta_R$ ,通过反三角函数公式容易得到车辆换道参照角 $\theta_L$ 和 $\theta_R$ 的数值如下式:

$$[0040] \quad \theta_L = \arctan \frac{x_a - x_b}{y_b - y_a}; \theta_R = \arctan \frac{x_c - x_d}{y_d - y_c} \quad (2)$$

[0041] 式中:点A $(x_a, y_a)$ 、B $(x_b, y_b)$ 分别为拟合的左侧车道线同ROI相交的上下两端点坐标;

[0042] 点C $(x_c, y_c)$ 、D $(x_d, y_d)$ 分别为拟合的右侧车道线同ROI相交的上下两端点坐标;

[0043] 且定义 $\theta_L \geq 0$ 和 $\theta_R \leq 0$ 。

[0044] 图3是自动驾驶车辆一次左换道其参照角变化情况图。整个换道过程可分为三个阶段。图3中(a)为车辆未进行换道前,此时自动驾驶车辆行驶在当前车道中央 $|\theta_L| = |\theta_R| > 0$ 。进行换道决策后车辆开始远离当前车道并向左侧移动, $\theta_L$ 开始减小,如图3的(b),此时为第一个阶段。换道过程中当车辆处于两车道分界线正上方时即 $\theta_L = 0$ 或 $\theta_{R,m} = 0$ 时处于第二个阶段,换道参照角会出现一次更迭, $\theta_{R,m}$ 为目标车道的右换道参照角,此时换道参照角 $\theta$ 更迭为 $\theta_{R,m}$ ,即 $\theta = \theta_{R,m}$ ,如图3的(c)所示。车辆经过分界线后开始进入目标车道,进入第三个阶段,并渐渐远离分界线时, $|\theta_{R,m}|$ 开始增大,直至在目标车道内 $||\theta_{L,m}| - |\theta_{R,m}|| < \lambda$ 时,换道结束。 $\lambda$ 为设定的车辆偏离阈值,取值为正数。 $\theta_{L,m}$ 为目标车道的左换道参照角。

[0045] 图4为自动驾驶车辆左换道得到的参照角变化情况,图中所示参照角 $\theta$ 的角度变化为 $(60 \sim 0 \sim -50)$ 。换道过程中参照角的最大值 $\theta_{max}$ 为当车辆行驶在车道正中央时,所固定的摄像头能获取的最大车道线夹角, $\theta_{max}$ 与摄像头安装的俯仰角和左右摆角有关系,当摄像头固定后该角度固定。本发明实施例中最大值 $\theta_{max}$ 为60度。本发明实施例中,在车辆换道完毕后参照角处于-50度时,由于已满足条件 $||\theta_L| - |\theta_R|| < \lambda$ ,因此车辆结束换道任务,此时车辆在当前车道中央靠左行驶。

[0046] 下面说明本发明方法中建立的基于换道参照角的换道最优轨迹模型,以及利用稳态预瞄基本理论对车辆进行方向控制的原理方法。

[0047] 在自动驾驶环境下,不存在驾驶员反应滞后环节并且车辆在换道过程中转向比较缓和,这样的汽车运动服从于“Acklman几何关系”,因此车辆方向控制的稳态特性可以运用线性系统来表示:

$$[0048] \quad \delta_{sw} = \frac{\ddot{y}}{G_{ay}}; G_{ay} = \frac{V^2}{iL} \quad (3)$$

[0049] 式中： $\delta_{sw}$ 为方向盘转角， $y$ 为车辆横向位移， $G_{ay}$ 为横向加速度稳态增益， $V$ 为车辆速度， $i$ 为转向系传动比， $L$ 为轴距。

[0050] 由于车辆在换道过程中，车辆的横向位移同换道参照角 $\theta$ 之间是一一对应的，可表示为线性关系 $\theta(t) = ky(t) + b$ ， $k$ 为比例系数， $b$ 为实参数，因此车辆方向盘转角 $\delta_{sw}$ 使用如下式表达：

$$[0051] \quad \delta_{sw} = \frac{\ddot{\theta}}{kG_{ay}} = \frac{iL\ddot{\theta}}{kV^2} \quad (4)$$

[0052] 其中， $\ddot{\theta}$ 为换道参照角的二阶导数。

[0053] 本发明根据真人驾驶车辆换道数据，分析得出基于换道参照角的换道最优轨迹模型：

$$[0054] \quad \theta(t) = \theta_{\max} \tanh\left(\frac{\tau}{L_d/V_d} \left(\frac{L_d}{2V_d} - t\right)\right) + \Delta\rho \quad (5)$$

[0055] 式中， $\theta(t)$ 为车辆换道参照角随时间 $t$ 变化的函数； $\theta_{\max}$ 为换道参照角最大值； $\tau$ 为时间变化因子，具体变化值可根据经验设定； $L_d$ 为车辆换道过程产生的纵向位移； $V_d$ 为车辆换道过程的车速； $\Delta\rho$ 为换道偏离度。

[0056] 本发明利用稳态预瞄基本理论对车辆进行方向控制，设定预瞄时刻为 $T$ ， $T$ 主要由摄像头安装位置及车速决定，可根据经验来设定值。由换道最优轨迹模型得到 $T_1 = t + T$ 时刻的期望换道参照角为 $\theta(t + T)$ 。摄像头当前获取的换道参照角为 $\theta$ ，通过预瞄控制理论得出方向盘需要改变的角度为：

$$[0057] \quad \beta = \frac{2(\theta(t + T) - \theta - T\dot{\theta}(t))}{T^2} \quad (6)$$

$$\Delta\delta_{sw} = \frac{iL\beta}{kV^2}$$

[0058] 式中： $\beta$ 为车辆弥补误差所需要的参照角加速度； $\Delta\delta_{sw}$ 为方向盘转角增量。

[0059] 下面结合图5说明本发明的基于单目视觉的自动驾驶汽车换道控制方法的实现步骤。

[0060] 步骤1，首先确定当前要进行的左换道还是右换道，确定当前的换道参照角 $\theta$ 。如是左换道则确定当前的换道参照角为当前车道的左换道参照角，若是右换道则确定当前的换道参照角为当前车道的右换道参照角。

[0061] 左换道和右换道的流程是一样的，下面已左换道为例进行说明。

[0062] 步骤2，实时获得当前的换道参照角 $\theta$ ，并结合换道最优轨迹模型，确定参照角加速度 $\beta$ 和方向盘转角增量 $\Delta\delta_{sw}$ ，对车辆方向盘进行控制。

[0063] 本发明实施例中，当车辆获得左换道指令后，驾驶机器人会根据当前环境信息给出换道最优轨迹模型，利用摄像头预瞄作用获取当前左右换道参照角，运用预瞄跟随理论

并计算 $T_1$  ( $T_1 = t + T$ ) 时刻的期望值  $\theta(t+T)$ , 计算当前车辆需要转动的方向盘增量对车辆方向盘进行控制。

[0064] 步骤3, 判断实时获取的当前换道参照角  $\theta$  是否大于0, 若是, 继续转步骤2执行, 若否, 转步骤4进行。

[0065] 步骤4, 将当前的换道参照角进行转换, 采用目标车道上的换道参照角。对于左换道则转换当前的换道参照角为目标车道的右换道参照角。对于右换道则转换当前的换道参照角为目标车道的左换道参照角。

[0066] 本发明实施例中, 当  $\theta = \theta_L < \theta_{\text{阈}}$  时, 车辆换道进入换道第二阶段, 此时方向盘转角继续跟随参照角变小而逐渐向左打, 当  $\theta = \theta_L = 0$  时, 换道参照角会进行一次更迭, 即在下一时刻道参照角  $\theta$  将采用目标车道的  $\theta_{R,m}$ , 此时  $\theta = \theta_{R,m}$ ,  $\theta_{R,m}$  为负数。

[0067] 步骤5, 实时获取目标车道的左换道参照角  $\theta_{L,m}$  和右换道参照角  $\theta_{R,m}$ , 结合换道最优轨迹模型确定参照角加速度  $\beta$  和方向盘转角增量  $\Delta \delta_{sw}$ , 对车辆方向盘进行控制。

[0068] 步骤6, 判断当前获取的目标车道的左换道参照角  $\theta_{L,m}$  和右换道参照角  $\theta_{R,m}$ , 是否满足条件:  $||\theta_{L,m}| - |\theta_{R,m}|| < \lambda$ ; 如果满足, 则说明车辆已正常进入左侧车道并进行了调正, 换道结束, 如不满足, 则转步骤5继续执行。

[0069] 本发明实例中, 驾驶机器人控制中心始终利用预瞄跟随理论对车辆方向盘进行相应控制, 当满足条件:  $|\theta| = |\theta_{R,m}| > \theta_{\text{阈}}$  时, 换道进入第三阶段, 直到满足车辆跟随模型  $||\theta_{L,m}| - |\theta_{R,m}|| < \lambda$  时, 标志着车辆已正常进入左侧车道并进行了调正, 换道结束。

[0070] 整个换道过程, 驾驶机器人对车辆方向的控制量主要来自于最优换到轨迹的期望值同当前时刻车辆获取的换道参照角预瞄值的差值对方向盘进行修正调节。其中预瞄  $T$  时刻的换道参照角为摄像头实时获取的参照角, 期望值来自于换道初始所形成的换道轨迹。



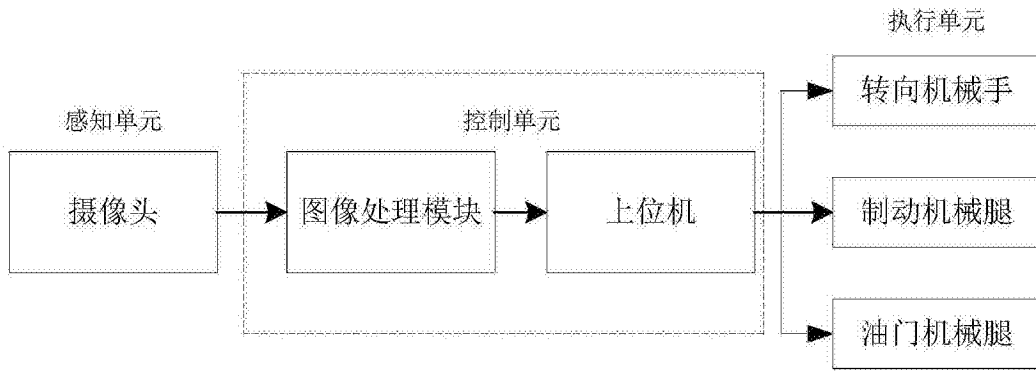


图1

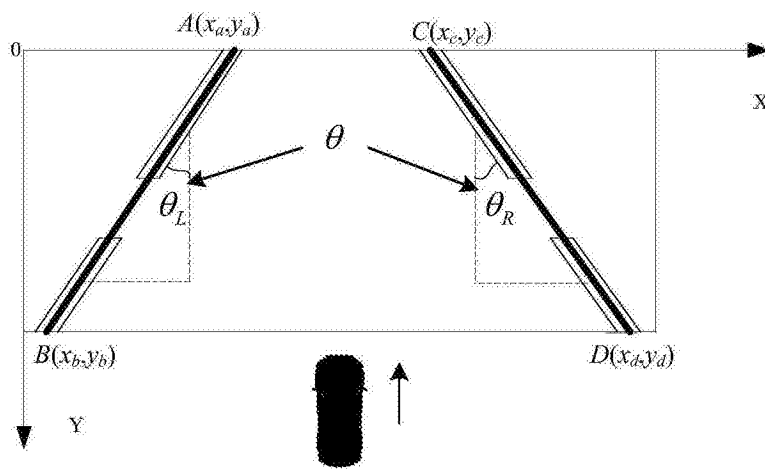


图2

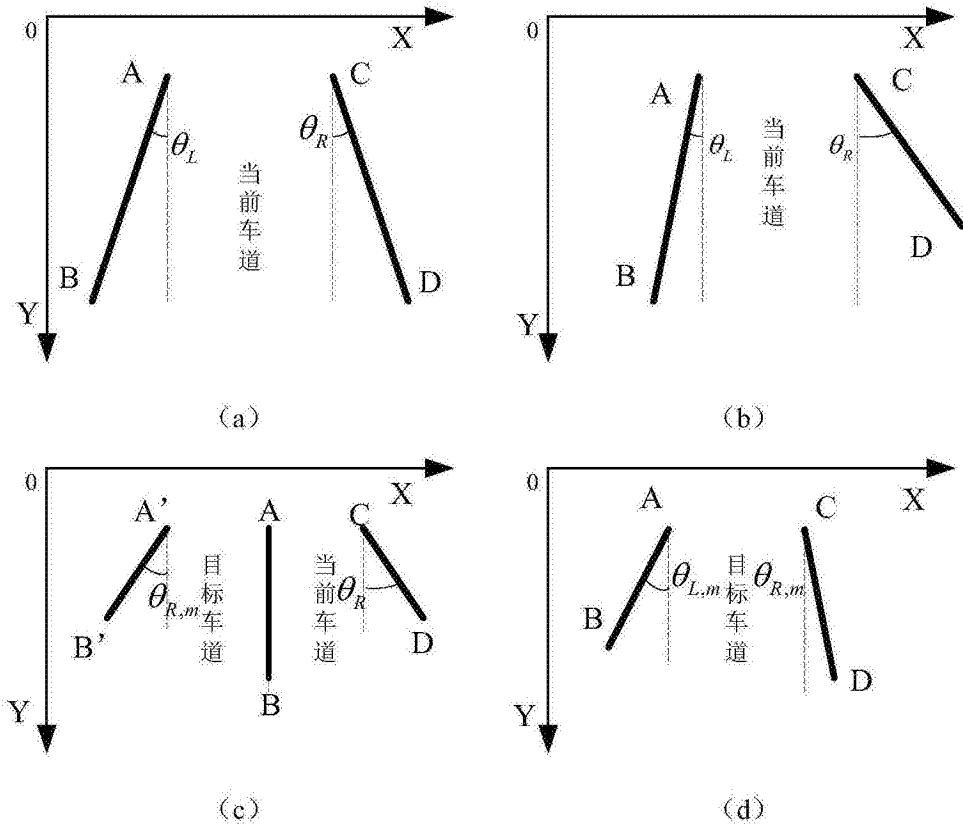


图3

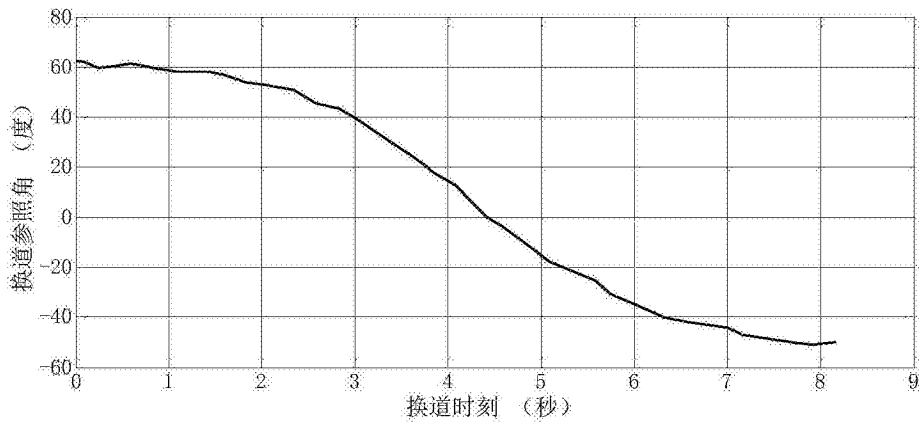


图4

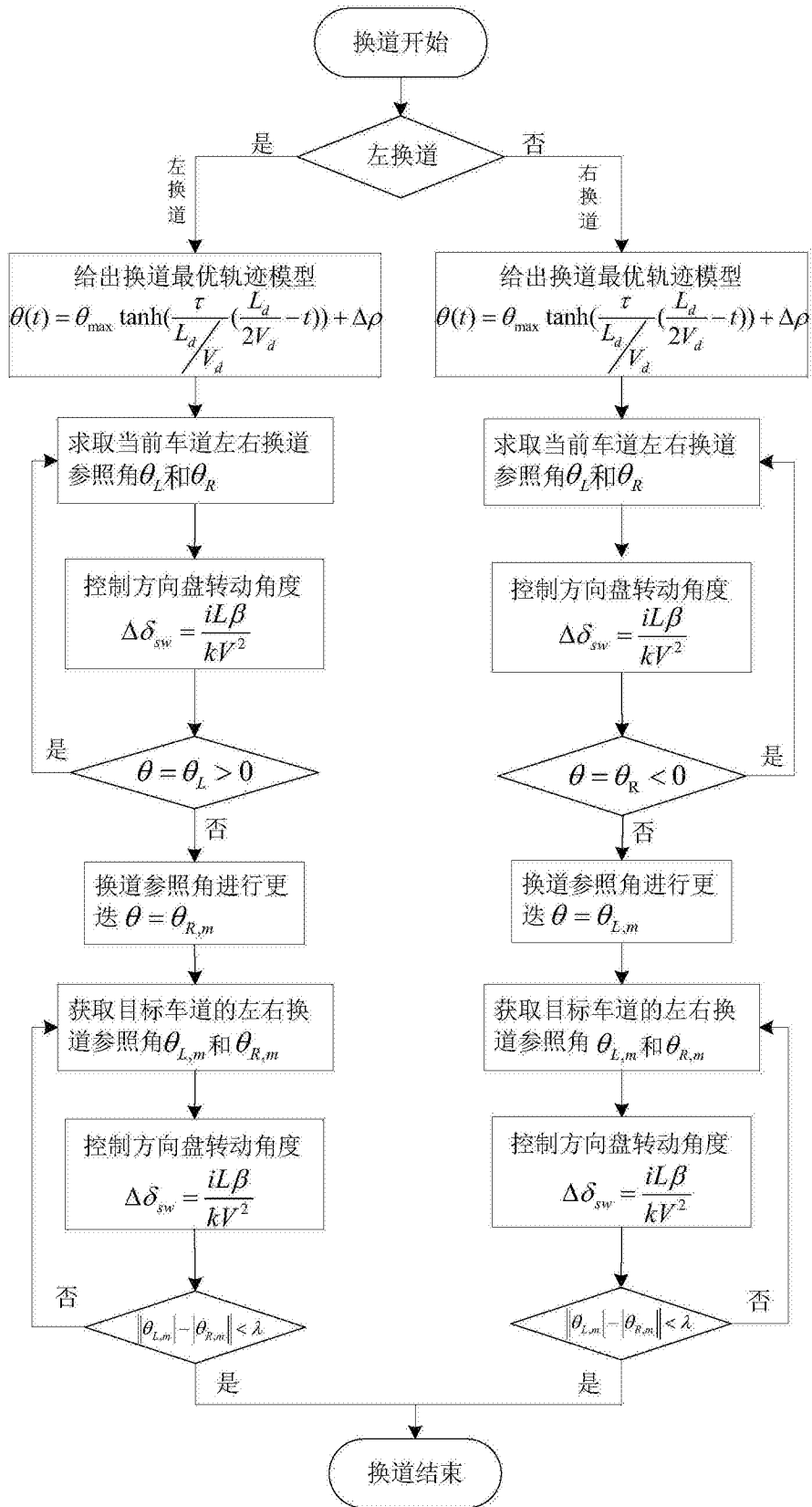


图5