



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105691388 B

(45)授权公告日 2017. 11. 14

(21)申请号 201610023691.6

审查员 章渝

(22)申请日 2016.01.14

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105691388 A

(43)申请公布日 2016.06.22

(73)专利权人 南京航空航天大学

地址 210016 江苏省南京市秦淮区御道街
29号

(72)发明人 赵万忠 徐志江 王春燕 崔滔文

(74)专利代理机构 江苏圣典律师事务所 32237

代理人 贺翔

(51) Int. Cl.

B60W 30/09(2012.01)

B60W 30/095(2012.01)

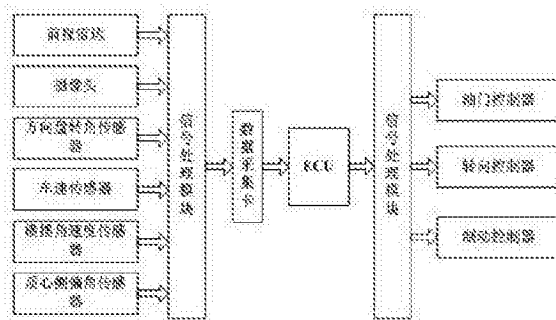
权利要求书3页 说明书8页 附图1页

(54)发明名称

一种汽车主动防撞系统及其轨迹规划方法

(57)摘要

本发明公开了一种汽车主动防撞系统及其轨迹规划方法,系统包括前视雷达、摄像头、车速传感器、横摆角速度传感器、质心侧偏角传感器、信号处理模块、电子控制电源ECU、油门控制器、转向控制器、制动控制器。汽车在行驶过程中,电子控制单元实时采集各个传感器经信号处理模块传来的信号,并实时判断当前时刻汽车所处的路况与车况,如若此时可能发生危险情况,则ECU通过执行内部预先设定的轨迹规划程序产生一条连续无碰的可执行轨迹,并将相关信号输出到油门控制器、转向控制器与制动控制器进行相应操作,以避免危险情况的发生。本发明能够在紧急情况下辅助驾驶员对汽车进行操作,能够提高行车主动安全性能。



1. 一种汽车主动避撞系统的轨迹规划方法,其特征在于,所述汽车主动避撞系统包含前视雷达、摄像头、信号处理模块、车速传感器、横摆角速度传感器、质心侧偏角传感器、方向盘转角传感器、电子控制电源ECU、油门控制器、转向控制器和制动控制器;

所述前视雷达、摄像头通过信号处理模块和所述电子控制电源ECU相连;所述电子控制电源ECU分别和、车速传感器、横摆角速度传感器、质心侧偏角传感器、方向盘转角传感器、油门控制器、转向控制器、制动控制器相连;

所述前视雷达与摄像头均安装在汽车前方,用于检测汽车前方的道路情况,并将所测得的信号经信号处理模块处理后传递给所述电子控制单元ECU;

所述车速传感器、横摆角速度传感器、质心侧偏角传感器、方向盘转角传感器分别用于感应汽车的速度、横摆角速度、质心侧偏角和前轮转向角,并将采集到的信号经处理后送入到电子控制单元ECU;

所述电子控制单元ECU用于根据接收到的信号输出相应的信号到油门控制器、转向控制器、制动控制器,进行相应加速、减速、制动操作,以保证行车安全;

所述汽车主动避撞系统的轨迹规划方法包含以下步骤:

步骤1),通过前视雷达与摄像头获取汽车前方障碍物的距离、速度、加速度和宽度,并将前方障碍物的与汽车之间的距离与预先设定的安全距离阈值对比,如果其小于预设的安全距离阈值,则执行步骤2);

步骤2),通过车速传感器、横摆角速度传感器、质心侧偏角传感器、方向盘转角传感器获取汽车的速度、横摆角速度、质心侧偏角和前轮转向角;

步骤3),根据汽车的横摆角、前轮转向角、纵向速度、前轴与后轴之间的间距、以及后轴中点的纵向坐标和侧向坐标建立汽车三自由度运动学模型;

步骤4),用七次多项式参数化待生成轨迹;

步骤5),根据汽车三自由度运动学模型和参数化的待生成轨迹设置轨迹优化模型约束条件、设定目标函数以及优化变量,并根据汽车的纵向速度、横摆角速度、质心侧偏角、前轮转向角、以及汽车前方障碍物距离、速度、加速度对其进行求解,得到轨迹优化模型;

步骤6),基于动态粒子群优化算法,对所建立的轨迹优化模型进行求解,得到规划轨迹。

2. 根据权利要求1所述的汽车主动避撞系统的轨迹规划方法,其特征在于,根据以下公式建立步骤3)中所述的汽车三自由度运动学模型:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = v \cos(\theta) \\ \dot{y}(t) = v \sin(\theta) \\ \dot{\theta}(t) = v \tan \delta(t) / l \end{cases}$$

其中,x和y分别是汽车后轴中点的纵向坐标和侧向坐标, θ 是汽车的横摆角, δ 是汽车前轮转向角,v是汽车的纵向速度,l是汽车前轴与后轴之间的间距,t是轨迹规划的当前时间。

3. 根据权利要求2所述的汽车主动避撞系统的轨迹规划方法,其特征在于,步骤5)中所述的七次多项式参数化的轨迹方程为:

$$\begin{cases} x_d(t) = x_{d0} + x_{d1}t + x_{d2}t^2 + x_{d3}t^3 + x_{d4}t^4 + x_{d5}t^5 + x_{d6}t^6 + x_{d7}t^7 \\ y_d(t) = y_{d0} + y_{d1}t + y_{d2}t^2 + y_{d3}t^3 + y_{d4}t^4 + y_{d5}t^5 + y_{d6}t^6 + y_{d7}t^7 \end{cases}$$

其中, $x_{d0}, x_{d1}, x_{d2}, x_{d3}, x_{d4}, x_{d5}, x_{d6}, x_{d7}, y_{d0}, y_{d1}, y_{d2}, y_{d3}, y_{d4}, y_{d5}, y_{d6}, y_{d7}$ 是多项式的待定系数, $(x_d(t), y_d(t))$ 为待生成轨迹的纵横坐标。

4. 根据权利要求3所述的汽车主动避撞系统的轨迹规划方法, 其特征在于, 步骤6所述的轨迹优化模型的约束条件为:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_d(t_0) = x_0 \\ \dot{x}_d(t_0) = v_0 \cos \theta_0 \\ \ddot{x}_d(t_0) = \dot{v}_0 \cos \theta_0 - v_0^2 \tan \delta_0 \sin \theta_0 / l \\ x_d(t_f) = x_f \\ \dot{x}_d(t_f) = v_f \cos \theta_f \\ \ddot{x}_d(t_f) = \dot{v}_f \cos \theta_f - v_f^2 \tan \delta_f \sin \theta_f / l \\ y_d(t_0) = y_0 \\ \dot{y}_d(t_0) = v_0 \sin \theta_0 \\ \ddot{y}_d(t_0) = \dot{v}_0 \sin \theta_0 + v_0^2 \tan \delta_0 \cos \theta_0 / l \\ y_d(t_f) = y_f \\ \dot{y}_d(t_f) = v_f \sin \theta_f \\ \ddot{y}_d(t_f) = \dot{v}_f \sin \theta_f + v_f^2 \tan \delta_f \cos \theta_f / l \end{array} \right.$$

$$(R_0 + R_1)^2 \leq [\text{PL}^{-1} (H_1 - Mx_{d6} - Nx_{d7}) + x_{d6}t^6 + x_{d7}t^7 - x_0 - v_x(t-t_0)]^2$$

$$+ [\text{PL}^{-1} (H_2 - My_{d6} - Ny_{d7}) + y_{d6}t^6 + y_{d7}t^7 - y_0 - v_y(t-t_0)]^2;$$

$$\text{其中, } \left\{ \begin{array}{l} \vec{x} = [x_{d0}, x_{d1}, x_{d2}, x_{d3}, x_{d4}, x_{d5}]^T \\ \vec{y} = [y_{d0}, y_{d1}, y_{d2}, y_{d3}, y_{d4}, y_{d5}]^T \\ H_1 = [x_d(t_0), \dot{x}_d(t_0), \ddot{x}_d(t_0), x_d(t_f), \dot{x}_d(t_f), \ddot{x}_d(t_f)]^T \\ H_2 = [y_d(t_0), \dot{y}_d(t_0), \ddot{y}_d(t_0), y_d(t_f), \dot{y}_d(t_f), \ddot{y}_d(t_f)]^T \\ M = [t_0^6, 6t_0^5, 30t_0^4, t_f^6, 6t_f^5, 30t_f^4]^T \\ N = [t_0^7, 7t_0^6, 42t_0^5, t_f^7, 7t_f^6, 42t_f^5]^T \end{array} \right.$$

$$P = [1 \quad t \quad t^2 \quad t^3 \quad t^4 \quad t^5],$$

$$L = \begin{bmatrix} 1 & t_0 & t_0^2 & t_0^3 & t_0^4 & t_0^5 \\ 0 & 1 & 2t_0 & 3t_0^2 & 4t_0^3 & 5t_0^4 \\ 0 & 0 & 2 & 6t_0 & 12t_0^2 & 20t_0^3 \\ 1 & t_f & t_f^2 & t_f^3 & t_f^4 & t_f^5 \\ 0 & 1 & 2t_f & 3t_f^2 & 4t_f^3 & 5t_f^4 \\ 0 & 0 & 2 & 6t_f & 12t_f^2 & 20t_f^3 \end{bmatrix},$$

t_0 为轨迹规划初始时刻, t_f 为轨迹规划终了时刻, $q_0 = (x_0, y_0, \theta_0, \delta_0, v_0, \dot{v}_0)$ 为初始时刻 t_0 汽车的状态, $q_f = (x_f, y_f, \theta_f, \delta_f, v_f, \dot{v}_f)$ 为终了时刻 t_f 汽车的状态;

R_0 为汽车长度的一半, R_1 为与障碍物宽度的一半;

目标函数为 $J(x_d, y_d) = \int_{t_0}^{t_f} \{w_1 [(x_d - x')^2 + (y_d - y')^2] + w_2 a_y^2\} dt$, 其中, w_1 和 w_2 是权重系数, 且 $w_1 + w_2 = 1$; a_y 是汽车侧向加速度;

$$\begin{cases} x^t = \frac{x_f - x_0}{t_f - t_0} (t - t_0) \\ y^t = \frac{y_f - y_0}{t_f - t_0} (t - t_0) \end{cases}$$

优化的变量为 x_{d6} 、 x_{d7} 、 y_{d6} 、 y_{d7} 。

一种汽车主动避撞系统及其轨迹规划方法

技术领域

[0001] 本发明涉及汽车辅助驾驶领域,尤其涉及一种汽车主动避撞系统及其轨迹规划方法。

背景技术

[0002] 随着智能交通在全球范围的兴起,汽车辅助驾驶技术受到了越来越多的关注,其研究的主要目的在于降低日趋严重的交通事故发生率,提高现有道路交通效率。国际上众多的研究机构,工业设计单位对其研发过程正投入大量的人力、物力、财力来进行相关关键技术的研发。

[0003] 主动避撞系统作为汽车辅助驾驶技术的一项重要研究内容,其研究的主要目的是提高车辆驾驶的安全性能,其主要利用现代信息技术、传感技术来扩展驾驶人员的感知能力,将外界信息(如车速、障碍物距离、速度、方向等)传递给驾驶人员的同时综合利用车况与路况信息,判断汽车当前运行状况的安全程度,在紧急情况下能自动的采取措施控制汽车,使得汽车主动地避开危险,保证汽车安全行驶或最大可能的减小事故的伤害程度。汽车只有具备了这样的主动安全性能,才可能从根本上减少交通事故,提高交通安全。

[0004] 轨迹规划技术是主动避撞系统中的一项关键技术,要想实现对车辆的智能控制,其前提条件是就要生成可行的参考轨迹,并将轨迹的参数提供给跟踪控制器,以便于控制器能够控制汽车按照所规划的轨迹行驶,因此,如何在紧急情况下规划一条可行的无碰轨迹显得尤为重要。

发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题是针对背景技术中所涉及到的缺陷,提供一种汽车主动避撞系统及其轨迹规划方法,解决了在紧急情况下主动避撞系统的轨迹规划问题,通过软硬件相结合的方式在保证汽车操纵稳定性的同时有效的避开障碍物,避免交通事故的发生,实现了汽车的主动安全功能。

[0006] 本发明为解决上述技术问题采用以下技术方案:

[0007] 一种汽车主动避撞系统,包含前视雷达、摄像头、信号处理模块、车速传感器、横摆角速度传感器、质心侧偏角传感器、方向盘转角传感器、电子控制电源ECU、油门控制器、转向控制器和制动控制器;

[0008] 所述前视雷达、摄像头通过信号处理模块和所述电子控制电源ECU相连;所述电子控制电源ECU分别和、车速传感器、横摆角速度传感器、质心侧偏角传感器、方向盘转角传感器、油门控制器、转向控制器、制动控制器相连;

[0009] 所述前视雷达与摄像头均安装在汽车前方,用于检测汽车前方的道路情况,并将所测得的信号经信号处理模块处理后传递给所述电子控制单元ECU;

[0010] 所述车速传感器、横摆角速度传感器、质心侧偏角传感器、方向盘转角传感器分别用于感应汽车的速度、横摆角速度、质心侧偏角和前轮转向角,并将采集到的信号经处理后

送入到电子控制单元ECU；

[0011] 所述电子控制单元ECU用于根据接收到的信号输出相应的信号到油门控制器、转向控制器、制动控制器,进行相应加速、减速、制动操作,以保证行车安全。

[0012] 本发明还公开了一种基于以上汽车主动避撞系统的轨迹规划方法,包含以下步骤:

[0013] 步骤1),通过前视雷达与摄像头获取汽车前方障碍物的距离、速度、加速度和宽度,并将前方障碍物的与汽车之间的距离与预先设定的安全距离阈值对比,如果其小于预设的安全距离阈值,则执行步骤2);

[0014] 步骤2),通过车速传感器、横摆角速度传感器、质心侧偏角传感器、方向盘转角传感器获取汽车的速度、横摆角速度、质心侧偏角和前轮转向角;

[0015] 步骤3),根据汽车的横摆角、前轮转向角、纵向速度、前轴与后轴之间的间距、以及后轴中点的纵向坐标和侧向坐标建立汽车三自由度运动学模型;

[0016] 步骤4),用七次多项式参数化待生成轨迹;

[0017] 步骤5),根据汽车三自由度运动学模型和参数化的待生成轨迹设置轨迹优化模型约束条件、设定目标函数以及优化变量,并根据汽车的纵向速度、横摆角速度、质心侧偏角、前轮转向角、以及汽车前方障碍物距离、速度、加速度对其进行求解,得到轨迹优化模型;

[0018] 步骤6),基于动态粒子群优化算法,对所建立的轨迹优化模型进行求解,得到规划轨迹。

[0019] 作为该汽车主动避撞系统的轨迹规划方法的进一步优化方案,根据以下公式建立步骤3)中所述的汽车三自由度运动学模型:

$$[0020] \quad \begin{cases} \dot{x}(t) = v \cos(\theta) \\ \dot{y}(t) = v \sin(\theta) \\ \dot{\theta}(t) = v \tan \delta(t) / l \end{cases}$$

[0021] 其中,x和y分别是汽车后轴中点的纵向坐标和侧向坐标, θ 是汽车的横摆角, δ 是汽车前轮转向角,v是汽车的纵向速度,l是汽车前轴与后轴之间的间距,t是轨迹规划的当前时间。

[0022] 作为该汽车主动避撞系统的轨迹规划方法的进一步优化方案,步骤5)中所述的七次多项式参数化的轨迹方程为:

$$[0023] \quad \begin{cases} x_d(t) = x_{d0} + x_{d1}t + x_{d2}t^2 + x_{d3}t^3 + x_{d4}t^4 + x_{d5}t^5 + x_{d6}t^6 + x_{d7}t^7 \\ y_d(t) = y_{d0} + y_{d1}t + y_{d2}t^2 + y_{d3}t^3 + y_{d4}t^4 + y_{d5}t^5 + y_{d6}t^6 + y_{d7}t^7 \end{cases}$$

[0024] 其中, x_{d0} 、 x_{d1} 、 x_{d2} 、 x_{d3} 、 x_{d4} 、 x_{d5} 、 x_{d6} 、 x_{d7} 、 y_{d0} 、 y_{d1} 、 y_{d2} 、 y_{d3} 、 y_{d4} 、 y_{d5} 、 y_{d6} 、 y_{d7} 是多项式的待定系数, $(x_d(t), y_d(t))$ 为待生成轨迹。

[0025] 作为该汽车主动避撞系统的轨迹规划方法的进一步优化方案,步骤6)所述的轨迹优化模型的约束条件为:

$$[0026] \quad \left\{ \begin{array}{l} x_d(t_0) = x_0 \\ \dot{x}_d(t_0) = v_0 \cos \theta_0 \\ \ddot{x}_d(t_0) = \dot{v}_0 \cos \theta_0 - v_0^2 \tan \delta_0 \sin \theta_0 / l \\ x_d(t_f) = x_f \\ \dot{x}_d(t_f) = v_f \cos \theta_f \\ \ddot{x}_d(t_f) = \dot{v}_f \cos \theta_f - v_f^2 \tan \delta_f \sin \theta_f / l \\ y_d(t_0) = y_0 \\ \dot{y}_d(t_0) = v_0 \sin \theta_0 \\ \ddot{y}_d(t_0) = \dot{v}_0 \sin \theta_0 + v_0^2 \tan \delta_0 \cos \theta_0 / l \\ y_d(t_f) = y_f \\ \dot{y}_d(t_f) = v_f \sin \theta_f \\ \ddot{y}_d(t_f) = \dot{v}_f \sin \theta_f + v_f^2 \tan \delta_f \cos \theta_f / l \end{array} \right.$$

$$[0027] \quad (R_0 + R_1)^2 \leq [PL^{-1}(H_1 - MX_{d6} - NX_{d7}) + x_{d6}t^6 + x_{d7}t^7 - x_0 - v_x(t-t_0)]^2$$

$$[0028] \quad + [PL^{-1}(H_2 - My_{d6} - Ny_{d7}) + y_{d6}t^6 + y_{d7}t^7 - y_0 - v_y(t-t_0)]^2;$$

$$[0029] \quad \text{其中,} \quad \left\{ \begin{array}{l} \vec{x} = [x_{d0}, x_{d1}, x_{d2}, x_{d3}, x_{d4}, x_{d5}]^T \\ \vec{y} = [y_{d0}, y_{d1}, y_{d2}, y_{d3}, y_{d4}, y_{d5}]^T \\ H_1 = [x_d(t_0), \dot{x}_d(t_0), \ddot{x}_d(t_0), x_d(t_f), \dot{x}_d(t_f), \ddot{x}_d(t_f)]^T \\ H_2 = [y_d(t_0), \dot{y}_d(t_0), \ddot{y}_d(t_0), y_d(t_f), \dot{y}_d(t_f), \ddot{y}_d(t_f)]^T \\ M = [t_0^6, 6t_0^5, 30t_0^4, t_f^6, 6t_f^5, 30t_f^4]^T \\ N = [t_0^7, 7t_0^6, 42t_0^5, t_f^7, 7t_f^6, 42t_f^5]^T \end{array} \right.$$

$$[0030] \quad P = [1 \quad t \quad t^2 \quad t^3 \quad t^4 \quad t^5],$$

$$[0031] \quad L = \begin{bmatrix} 1 & t_0 & t_0^2 & t_0^3 & t_0^4 & t_0^5 \\ 0 & 1 & 2t_0 & 3t_0^2 & 4t_0^3 & 5t_0^4 \\ 0 & 0 & 2 & 6t_0 & 12t_0^2 & 20t_0^3 \\ 1 & t_f & t_f^2 & t_f^3 & t_f^4 & t_f^5 \\ 0 & 1 & 2t_f & 3t_f^2 & 4t_f^3 & 5t_f^4 \\ 0 & 0 & 2 & 6t_f & 12t_f^2 & 20t_f^3 \end{bmatrix},$$

[0032] t_0 为轨迹规划初始时刻, t_f 为轨迹规划终了时刻, $q_0 = (x_0, y_0, \theta_0, \delta_0, v_0, \dot{v}_0)$ 为初始时刻 t_0 汽车的状态, $q_f = (x_f, y_f, \theta_f, \delta_f, v_f, \dot{v}_f)$ 为终了时刻 t_f 汽车的状态;

[0033] R_0 为汽车长度的一半, R_1 为与障碍物宽度的一半;

[0034] 目标函数为 $J(x_d, y_d) = \int_{t_0}^{t_f} \{w_1[(x_d - x')^2 + (y_d - y')^2] + w_2 a_y^2\} dt$, 其中, w_1 和 w_2 是权重系数, 且 $w_1 + w_2 = 1$; a_y 是汽车侧向加速度;

$$[0035] \quad \begin{cases} x' = \frac{x_f - x_0}{t_f - t_0} (t - t_0) \\ y' = \frac{y_f - y_0}{t_f - t_0} (t - t_0) \end{cases}$$

[0036] 优化的变量为 x_{d6} 、 x_{d7} 、 y_{d6} 、 y_{d7} 。

[0037] 本发明采用以上技术方案与现有技术相比,具有以下技术效果:

[0038] 1. 本发明所述的轨迹规划方法所生成的轨迹满足各种非完整约束和执行机构约束;

[0039] 2. 本发明所述的轨迹规划方法所生成的轨迹曲率具有连续性,具有动态实时性,能够适应动态变化的道路环境;

[0040] 3. 通过跟踪本发明所述的轨迹规划方法所生成的轨迹能使汽车有效地避开障碍物,防止交通事故的发生。

附图说明

[0041] 图1是本发明主动避撞系统结构示意图;

[0042] 图2是本发明主动避撞过程示意图;

[0043] 图3是本发明的汽车三自由度运动学模型。

具体实施方式

[0044] 下面结合附图对本发明的技术方案做进一步的详细说明:

[0045] 如图1所示,本发明公开了一种汽车主动避撞系统,包含前视雷达、摄像头、信号处理模块、车速传感器、横摆角速度传感器、质心侧偏角传感器、方向盘转角传感器、电子控制单元ECU、油门控制器、转向控制器和制动控制器;

[0046] 所述前视雷达、摄像头通过信号处理模块和所述电子控制电源ECU相连;所述电子控制电源ECU分别和、车速传感器、横摆角速度传感器、质心侧偏角传感器、方向盘转角传感器、油门控制器、转向控制器、制动控制器相连;

[0047] 所述前视雷达与摄像头均安装在汽车前方,用于检测汽车前方的道路情况,并将所测得的信号经信号处理模块处理后传递给所述电子控制单元ECU;

[0048] 所述车速传感器、横摆角速度传感器、质心侧偏角传感器、方向盘转角传感器分别用于感应汽车的速度、横摆角速度、质心侧偏角和前轮转向角,并将采集到的信号经处理后送入到电子控制单元ECU;

[0049] 所述电子控制单元ECU用于根据接收到的信号输出相应的信号到油门控制器、转向控制器、制动控制器,进行相应加速、减速、制动操作,以保证行车安全。

[0050] 本发明还公开了一种基于该汽车主动避撞系统的轨迹规划方法,包含以下具体步骤:

[0051] 步骤1、通过前视雷达与摄像头获取汽车前方障碍物的距离、速度、加速度和宽度,并将前方障碍物的与汽车之间的距离与预先设定的安全距离阈值对比,如果其小于预设的安全距离阈值,则执行步骤2。

[0052] 步骤2、通过车速传感器、横摆角速度传感器、质心侧偏角传感器、方向盘转角传感器获取汽车的纵向速度、横摆角速度、质心侧偏角和前轮转向角。

[0053] 步骤3、建立汽车三自由度运动学模型,如图3所示:

[0054]

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = v \cos(\theta) \\ \dot{y}(t) = v \sin(\theta) \\ \dot{\theta}(t) = v \tan \delta(t) / l \end{cases} \quad (1)$$

[0055] 其中,x和y分别是汽车后轴中点的纵向坐标和侧向坐标, θ 是汽车的横摆角, δ 是汽车前轮转向角,v是汽车的纵向速度,l是汽车前轴与后轴之间的间距,t是轨迹规划的当前时间。

[0056] 步骤4、进入循环。

[0057] 步骤5、设轨迹规划初始时刻为 t_0 ,轨迹规划终了时刻为 t_f ,用七次多项式参数化待生成轨迹:

[0058]

$$\begin{cases} x_d(t) = x_{d0} + x_{d1}t + x_{d2}t^2 + x_{d3}t^3 + x_{d4}t^4 + x_{d5}t^5 + x_{d6}t^6 + x_{d7}t^7 \\ y_d(t) = y_{d0} + y_{d1}t + y_{d2}t^2 + y_{d3}t^3 + y_{d4}t^4 + y_{d5}t^5 + y_{d6}t^6 + y_{d7}t^7 \end{cases} \quad (2)$$

[0059] 其中, x_{d0} 、 x_{d1} 、 x_{d2} 、 x_{d3} 、 x_{d4} 、 x_{d5} 、 x_{d6} 、 x_{d7} 、 y_{d0} 、 y_{d1} 、 y_{d2} 、 y_{d3} 、 y_{d4} 、 y_{d5} 、 y_{d6} 、 y_{d7} 是多项式的待定系数。

[0060] 步骤6、根据汽车三自由度运动学模型和参数化的待生成轨迹设置轨迹优化模型约束条件、设定目标函数以及优化变量,并根据汽车的纵向速度、横摆角速度、质心侧偏角、前轮转向角,以及汽车前方障碍物距离、速度、加速度对其进行求解,得到轨迹优化模型:

[0061] 1) 约束条件:

[0062] 设在初始时刻 t_0 车辆A的状态为 $q_0 = (x_0, y_0, \theta_0, \delta_0, v_0, \dot{v}_0)$,在终了时刻 t_f 车辆A的状态为 $q_f = (x_f, y_f, \theta_f, \delta_f, v_f, \dot{v}_f)$,并且所设计轨迹为 $(x_d(t), y_d(t))$ 。然后,根据车辆运动学模型(1),施加在所设计轨迹上的等式约束条件如下:

[0063]

$$\begin{cases} x_d(t_0) = x_0 \\ \dot{x}_d(t_0) = v_0 \cos \theta_0 \\ \ddot{x}_d(t_0) = \dot{v}_0 \cos \theta_0 - v_0^2 \tan \delta_0 \sin \theta_0 / l \\ x_d(t_f) = x_f \\ \dot{x}_d(t_f) = v_f \cos \theta_f \\ \ddot{x}_d(t_f) = \dot{v}_f \cos \theta_f - v_f^2 \tan \delta_f \sin \theta_f / l \\ y_d(t_0) = y_0 \\ \dot{y}_d(t_0) = v_0 \sin \theta_0 \\ \ddot{y}_d(t_0) = \dot{v}_0 \sin \theta_0 + v_0^2 \tan \delta_0 \cos \theta_0 / l \\ y_d(t_f) = y_f \\ \dot{y}_d(t_f) = v_f \sin \theta_f \\ \ddot{y}_d(t_f) = \dot{v}_f \sin \theta_f + v_f^2 \tan \delta_f \cos \theta_f / l \end{cases} \quad (3)$$

[0064] 将轨迹方程 (2) 代入到等式约束条件 (3) 中, 并将其化为矩阵形式, 其系数可以由以下方程来确定:

$$[0065] \quad \begin{cases} \vec{x} = L^1(H_1 - Mx_{d6} - Nx_{d7}) \\ \vec{y} = L^1(H_2 - My_{d6} - Ny_{d7}) \end{cases} \quad (4)$$

$$[0066] \quad \text{其中,} \quad \begin{cases} \vec{x} = [x_{d0}, x_{d1}, x_{d2}, x_{d3}, x_{d4}, x_{d5}]^T \\ \vec{y} = [y_{d0}, y_{d1}, y_{d2}, y_{d3}, y_{d4}, y_{d5}]^T \\ H_1 = [x_d(t_0), \dot{x}_d(t_0), \ddot{x}_d(t_0), x_d(t_f), \dot{x}_d(t_f), \ddot{x}_d(t_f)]^T \\ H_2 = [y_d(t_0), \dot{y}_d(t_0), \ddot{y}_d(t_0), y_d(t_f), \dot{y}_d(t_f), \ddot{y}_d(t_f)]^T \\ M = [t_0^6, 6t_0^5, 30t_0^4, t_f^6, 6t_f^5, 30t_f^4]^T \\ N = [t_0^7, 7t_0^6, 42t_0^5, t_f^7, 7t_f^6, 42t_f^5]^T \end{cases}$$

$$[0067] \quad \text{且 } L = \begin{bmatrix} 1 & t_0 & t_0^2 & t_0^3 & t_0^4 & t_0^5 \\ 0 & 1 & 2t_0 & 3t_0^2 & 4t_0^3 & 5t_0^4 \\ 0 & 0 & 2 & 6t_0 & 12t_0^2 & 20t_0^3 \\ 1 & t_f & t_f^2 & t_f^3 & t_f^4 & t_f^5 \\ 0 & 1 & 2t_f & 3t_f^2 & 4t_f^3 & 5t_f^4 \\ 0 & 0 & 2 & 6t_f & 12t_f^2 & 20t_f^3 \end{bmatrix}。$$

[0068] 将方程 (4) 代入到轨迹方程 (2) 可以得到轨迹方程的进一步表达式:

$$[0069] \quad \begin{cases} x_d(t) = PL^1(H_1 - Mx_{d6} - Nx_{d7}) + x_{d6}t^6 + x_{d7}t^7 \\ y_d(t) = PL^1(H_2 - My_{d6} - Ny_{d7}) + y_{d6}t^6 + y_{d7}t^7 \end{cases} \quad (5)$$

[0070] 其中 $P = [1 \ t \ t^2 \ t^3 \ t^4 \ t^5]$ 。

[0071] 为了实现避碰的要求, 还需要满足一些不等式约束条件:

$$[0072] \quad (R_0 + R_1)^2 \leq [x_d(t) - x_0 - v_x(t - t_0)]^2 + [y_d(t) - y_0 - v_y(t - t_0)]^2 \quad (6)$$

[0073] 其中, R_0 为汽车长度的一半, R_1 为与障碍物宽度的一半;

[0074] 将方程 (5) 代入到 (6) 中可以得到进一步的表达式:

$$[0075] \quad (R_0 + R_1)^2 \leq [PL^{-1}(H_1 - Mx_{d6} - Nx_{d7}) + x_{d6}t^6 + x_{d7}t^7 - x_0 - v_x(t - t_0)]^2$$

$$[0076] \quad + [PL^{-1}(H_2 - My_{d6} - Ny_{d7}) + y_{d6}t^6 + y_{d7}t^7 - y_0 - v_y(t - t_0)]^2 \quad (7)$$

[0077] 2) 目标函数, 一般来说, 在智能汽车主动避撞的过程中, 所规划轨迹必须满足一些条件, 例如, 在保证车辆稳定性的同时有效地避开障碍物, 基于这样的考虑, 选择以下函数作为优化的目标函数:

[0078]

$$J(x_d, y_d) = \int_{t_0}^{t_f} \{w_1[(x_d - x')^2 + (y_d - y')^2] + w_2 a_y^2\} dt \quad (8)$$

[0079] 其中, w_1 和 w_2 是权重系数, 且 $w_1 + w_2 = 1$; a_y 是汽车侧向加速度;

$$[0080] \quad \begin{cases} x' = \frac{x_f - x_0}{t_f - t_0} (t - t_0) \\ y' = \frac{y_f - y_0}{t_f - t_0} (t - t_0) \end{cases}$$

[0081] 3) 优化变量,从方程(5)中很容易看到,待优化的变量为: x_{d6} 、 x_{d7} 、 y_{d6} 、 y_{d7} 。

[0082] 步骤7、基于动态粒子群优化算法,对所建立的轨迹优化模型进行求解,以得到所需轨迹:

[0083] 粒子群优化算法,又称微粒群算法,其基于粒子构成的群体,针对每个优化问题的解都是寻找其可行空间中的一个粒子。为了让粒子能在全局范围内搜索并保持粒子的多样性,本发明采用动态粒子群算法(dynamic Particle Swarm Optimization,DPSO)对轨迹优化模型进行优化。

[0084] 如果粒子群的D维空间位置向量为 $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD})$,每个 x_i 表示解空间中一个潜在的可行解,可根据目标函数计算出的适应值来判断其是否为最优解。第i个粒子的D维空间速度向量为 $v_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD})$,第i个粒子个体最优位置 $P_i = (P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{iD})$,粒子群群体最优位置 $L_i = (L_{i1}, L_{i2}, \dots, L_{iD})$,粒子群群体全局最优位置 $G = (G_1, G_2, \dots, G_D)$ 迭代公式如下:

$$[0085] \quad v_i(t+1) = \omega v_i(t) + b_1 r_1 (p_i(t) - x_i(t)) + b_2 r_2 (L_i(t) - x_i(t)) + b_3 r_3 (G(t) - x_i(t)) \quad (9)$$

[0086] 式中: b_1 、 b_2 、 b_3 为正常数; r_1 、 r_2 、 r_3 为 $[0, 1]$ 内的随机数;参数 ω 为惯性因子。

[0087] 设 ω 依据循环次数从 ω_s 线性递减至 ω_e ,最大循环次数为 I_{max} ,循环的当前次数为 I_c ,则 ω 的值可以通过下式得出:

[0088]

$$\omega = \omega_s - (\omega_s - \omega_e) \frac{I_c}{I_{max}} \quad (10)$$

[0089] 式中: ω_s 为优化最初的惯性因子; ω_e 为优化结束的惯性因子。

[0090] 粒子群中粒子在t+1时刻的位置通过下式求出:

$$[0091] \quad x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (11)$$

[0092] 如果粒子群更新为之后超越了定义域界限,则需要重新调整粒子的位置,使其落在决策空间内,新位置可按照下式计算:

$$[0093] \quad x_i(t+1) = x_i(t) + \lambda v_i(t+1) \quad (12)$$

$$[0094] \quad \lambda = 2 / (\gamma^2 + 2) \quad (13)$$

[0095] 式中: λ 为速度调整系数,其介于(0,1)之间; γ 为调整次数,当 γ 大于3时,粒子速度变为反向。

[0096] 粒子i和k之间的距离 $\|x_i - x_k\|$ 可以通过下式求得:

[0097]

$$\|x_i - x_k\| = \sqrt{\left(\sum_{l=1}^D (x_{il} - x_{kl})^2 \right) / d} \quad (14)$$

[0098] 式中:d为决策变量的维数。

[0099] 动态粒子群的生成:如果已生成m个粒子群,假设与粒子群a最近的粒子群为b,如

果他们之间的距离大于 D_{\max} ,则需要生成一个粒子群 x_{m+1} ,群内第 i 个粒子第 k 维分量 x_{m+1}^{ik} 可以由下式求得:

[0100]

$$x_{m+1}^{ik} = (x_a^{ik} + x_b^{ik}) / 2 + c_1 (-1)^{\text{round}(0.5+c_2)} |x_a^{ik} - x_b^{ik}| / 2 \quad (15)$$

[0101] 式中: C_1 、 C_2 为 $[0, 1]$ 内的随机数; $\text{round}(\cdot)$ 为取整函数,因此, $\text{round}(0.5+C_2)$ 为0或1。

[0102] 步骤8、ECU将所生成轨迹的相关参数输出到油门控制器、转向控制器、制动控制器,并执行相应操作,以精确跟踪所生成轨迹。

[0103] 步骤9、跳转到步骤4,进行下一时刻的轨迹求解与跟踪,如此循环,直至规划结束,完成整个避撞过程,如图2所示。

[0104] 本技术领域技术人员可以理解的是,除非另外定义,这里使用的所有术语(包括技术术语和科学术语)具有与本发明所属领域中的普通技术人员的一般理解相同的意义。还应该理解的是,诸如通用字典中定义的那些术语应该被理解为具有与现有技术的上下文中的意义一致的意义,并且除非像这里一样定义,不会用理想化或过于正式的含义来解释。

[0105] 以上所述的具体实施方式,对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述仅为本发明的具体实施方式而已,并不用于限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

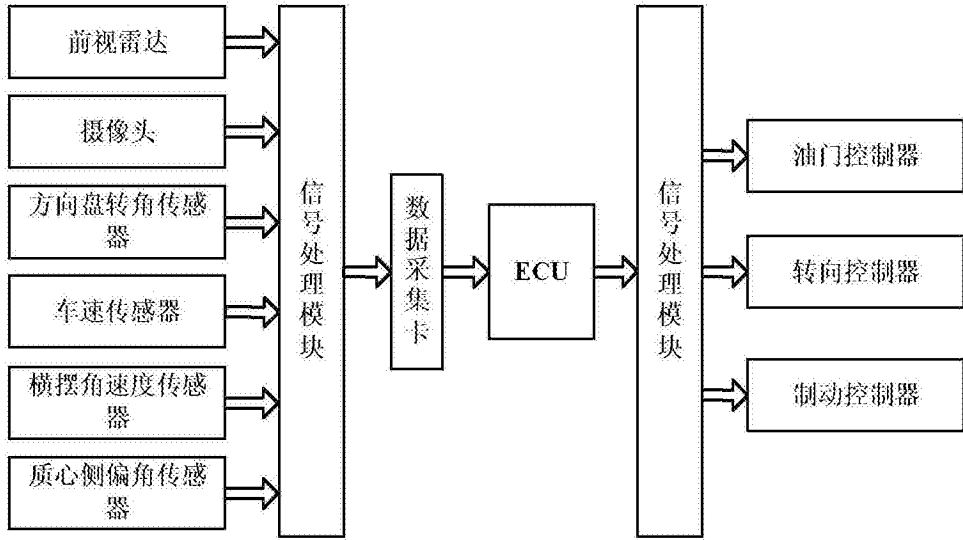


图1

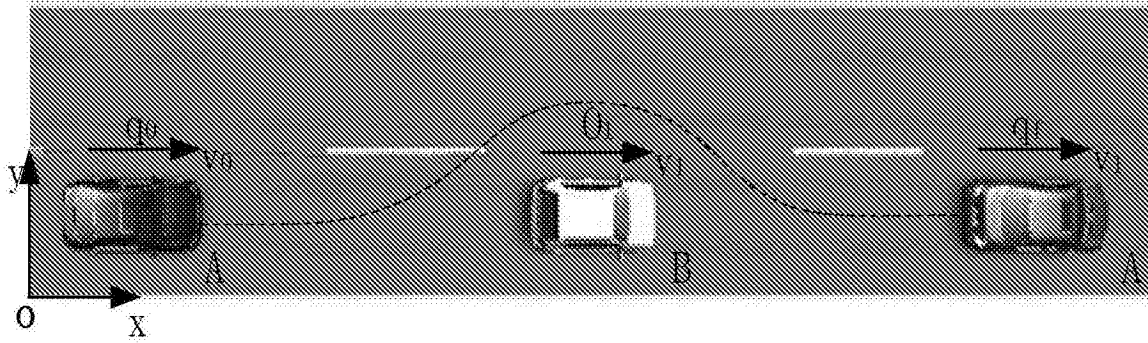


图2

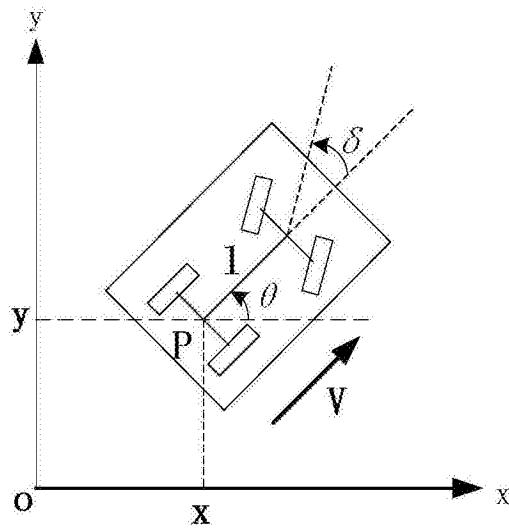


图3