

基于 Bezier 曲线拟合的自主平行泊车轨迹模型仿真

刘钰¹, 马艳丽¹, 李涛²

1. 河北北方学院信息科学与工程学院, 河北张家口 075000

2. 安徽理工大学理学院, 安徽淮南 232001

摘要 根据阿克曼转向几何学, 联系实际泊车情况, 首先给出最短泊车空间、泊车起始点范围以及避碰约束空间的生成方法, 并在此基础上, 考虑动力学约束条件, 在直角坐标系 Oxy 平面中, 利用参数化方程, 基于 Bezier 曲线, 建立 x 和 y 之间动态关系。对每个时间 t , 依次得到汽车泊车时的具体转向角度和转向半径, 得到新的位置点, 从而控制汽车沿着 Bezier 曲线随着时间做变速运动, 最终实现连续曲率的轨迹规划。Matlab 仿真表明, 采用这种方法能够有效地实现避障, 在曲线转折点处运动平滑, 未出现抖动, 满足自主泊车的连续性要求及所需泊车空间尽可能小的目的。

关键词 阿克曼转向几何学; Bezier 曲线; 自主泊车; 轨迹规划; 避碰约束

中图分类号 TP301.6⁺

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.11.010

Parallel Parking Path Generation Based on Bezier Curve Fitting

LIU Yu¹, MA Yanli¹, LI Tao²

1. College of Information Science and Engineering, Hebei North University, Zhangjiakou 075000, Hebei Province, China

2. College of Science, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, Anhui Province, China

Abstract The autonomous parking system is an intelligent technology to park a car into a small space. Based on Ackermann steering geometry, considering the parking practice, the minimum parking space and the bound of start point and collision-free space are obtained. Then based on Bezier curve, considering the dynamic constraint condition and the parametric equations, the dynamic relationship between x and y is established. For each time point t , followed by a specific steering angle and turning radius, a new location can be obtained. So a car can be controlled to move along a Bezier curve, and finally the continuous path is generated. At last, the simulation based on Matlab shows that the car can not only avoid the obstacles effectively, but also move smoothly on turning points. So the continuous auto-parking can be realized in a space as small as possible.

Keywords Ackermann steering geometry; Bezier curves; autonomous parking; trajectory planning; collision-free restriction

0 引言

对于许多驾驶员而言, 平行泊车是一种痛苦的经历, 大城市停车空间有限, 将汽车驶入狭小的空间已成为一项必备的技能^[1]。如果驾驶员未能快速有效地停车, 可能会导致交通阻塞、神经疲惫, 甚至保险杠被撞弯。由此, 引发了自动泊车功能。

目前, 自动泊车技术大部分用于平行式泊车情况。平行泊车要求汽车沿路边平行停放, 与其他停好的汽车排成一条

直线。大多数汽车用户需要比车身长出约 1.8m 的停车位, 才能顺利完成平行泊车。

本文研究主要建立在阿克曼转向几何学 (Ackermann Steering Geometry) 的基础上。阿克曼转向几何是一种为了解决交通工具转弯时, 内外转向轮路径指向的圆心不同的几何学。依据阿克曼转向几何设计的车辆, 沿着弯道转弯时, 利用四连杆的相等曲柄使内侧轮的转向角比外侧轮大约 $2^\circ-4^\circ$, 使 4 个轮子路径的圆心大于后轴延长线上的瞬时转向中心,

收稿日期: 2010-06-01; 修回日期: 2011-02-25

基金项目: 教育部高等学校特色专业建设点项目 (TS12142)

作者简介: 刘钰, 助教, 研究方向为电子通信、程序设计、计算机集成控制, 电子邮箱: liuyu0729@yahoo.cn

让车辆可以顺畅转弯。通常可将平行泊车时的汽车运动轨迹近似分为两段圆弧,而关于双圆弧拟合国内外常用的方法有内向法和交点法两种。内向法计算简便,但法向误差可能不符合要求;交点法的法向误差较小,但交点计算复杂,需解4次非线性方程,计算量大,在实际自由曲线拟合绘制过程中,也常采用三次B样条基函数进行拟合运算。为了使得曲线更光滑,需尽可能多地进行曲线上位置点的拟合计算,计算量大,B样条曲线绘制拟合速度慢,难以满足实际需要^[2]。

本文提出的基于Bezier曲线的自主平行泊车轨迹生成方法则可以避免上述情况。Bezier曲线具有曲率小、控制点较多的优点,效果明显。仿真实验表明,该方法能够简便控制汽车在任意两点之间的运动,运动轨迹平滑,无抖动现象,满足自主泊车的连续性要求及所需泊车空间尽可能小的目的。

1 模型建立

本文主要考虑平行泊车(图1)情况,且假设驾驶员采用倒车的方法实现泊车。图2为汽车结构示意图。其中, w_l 为前轮距,即两前轮轮胎中线间的距离,mm; w_w 为后轮距,即两后轮轮胎中线间的距离,mm; A 为车辆两侧车门之间的距离,即车辆两侧车门之间的距离,mm; L 为轴距,指通过车辆同一侧相邻两车轮的中点,并垂直于车辆纵向对称平面的二垂线之间的距离,即汽车前轴中心到后轴中心的距离,mm; D 为后悬尺寸,即两后轮轮胎连线到车尾的距离,mm; F 为前悬尺寸,即两前轮轮胎连线到车头的距离,mm; B 为汽车长度,即车头到车尾的距离, $B=L+D+F$,mm。

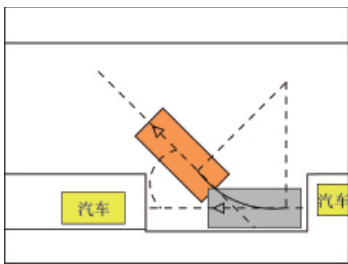


图1 平行泊车
Fig. 1 Parallel parking

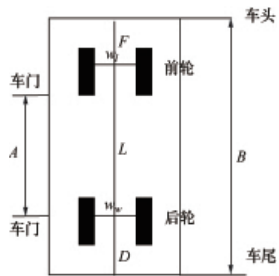


图2 汽车结构示意图
Fig. 2 Schematic diagram of car

平行自主泊车过程如下。

(1) 待泊车辆沿道路缓慢行驶,检测是否存在满足最短泊车约束的停车空间。

(2) 寻找到满足约束的泊车空间后,建立环境地图,根据感知和定位信息计算泊车起始位置的范围。

(3) 根据当前位置和环境定位信息生成避碰约束空间,依据车辆的最小转向半径、方向转速、运动轨迹连续等约束条件进行路径规划。

(4) 控制车辆沿规划路径驶入目标停车区,驾驶员确认后,最终停止车辆。

在整个自主泊车过程中,驾驶员可随时干预,接管车辆^[3]。

自主泊车的关键是寻找到一条光滑的路径。根据文献[4],Bezier曲线段可拟合任何数目的控制点,控制点的相关位置决定Bezier多项式的次数。假设 $n+1$ 个控制点的位置为 $p_i=(x_k, y_k, z_k), k=0, 1, 2, \dots, n$,则 p_0 和 p_n 间Bezier拟合函数为^[5]

$$p(u) = \sum_{k=0}^n p_k BEZ_{k,n}(u) \quad (1)$$

其中, $BEZ_{k,n}(u)$ 是Bezier混合函数,为Bernstein多项式^[6]:

$$BEZ_{k,n}(u) = C(n, k) u^k (1-u)^{n-k} \quad (2)$$

其中, $C(n, k)$ 为二项式系数^[5]:

$$C(n, k) = \frac{n!}{k! (n-k)!} \quad (3)$$

Bezier曲线有以下特性^[6]。

(1) 该曲线总是通过第一个和最后一个控制点。即曲线在两个端点处的边界条件为

$$p(0) = p_0 \quad p(n) = p_n$$

(2) 该曲线在端点处的一阶导数的参数值可以由控制点坐标进行计算:

$$p'(0) = -np_0 + np_1$$

$$p'(n) = -np_{n-1} + np_n$$

这样,曲线在始点处的切线落在头两个控制点的连线上,曲线在终点处的切线落在最后两个控制点的连线上。这样做的好处在于^[7]:①该曲线落在控制点的凸壳内,保证了多项式随控制点平稳前进而不会产生摆动;②如果控制点 p_i 在一条直线上,那么Bezier曲线是一条直线;③曲线端拼接时可以达到平面上光滑连续。

物体的运动路径可以看成曲线端的拼接,为了保证物体沿路径平滑运动,须考虑连续性问题。复合3次Bezier曲线可以达到平面上光滑连续,它代表两个相邻曲线端的方程在相

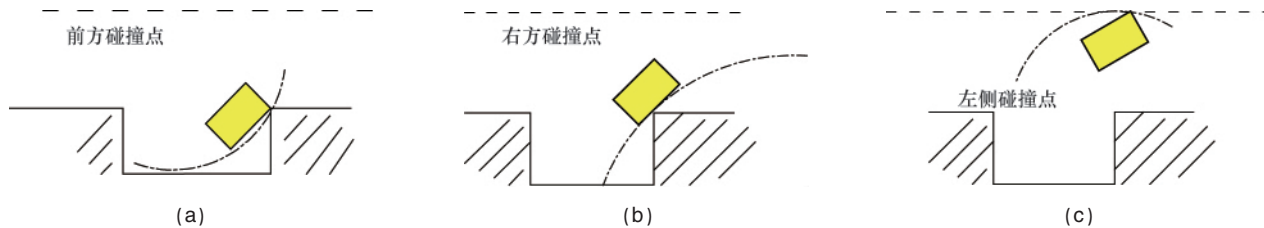


图3 平行泊车可能的碰撞点示意图
Fig. 3 A possible collision point in parallel parking

交点处有相同的一阶导数(切线)。因此,3次 Bezier 曲线可以作为物体的运动路径。

2 模型求解

泊车轨迹规划的前提是确定无碰撞区域,即避碰空间。在泊车过程中,汽车与周围障碍物有可能发生碰撞的位置一共有3处,如图3所示。

下面按照泊车避碰约束空间的生成步骤分别考虑这些碰撞情况。车辆性能的约束表达主要体现在2个方面^[5]:车辆前轮摆角最大时,得到最小转向半径;路径曲率改变较大时,方向转角速度受约束,即: $|\delta''(t)| \leq \omega$ 。

将转向半径定义精确化,在进行避障路径规划时,根据阿克曼转向几何学,考虑如下6个转向半径(图4):① R 为车辆后轴内侧转向半径,汽车最小转向半径为汽车后轴内侧最小转向半径 R_{\min} ;② R_{m0} 为汽车后轴外侧转向半径;③ R_{fi} 为汽车头部内侧转向半径;④ R_{fo} 为汽车头部外侧转向半径;⑤ R_{ri} 为汽车尾部内侧转向半径;⑥ R_{ro} 为汽车尾部外侧转向半径。

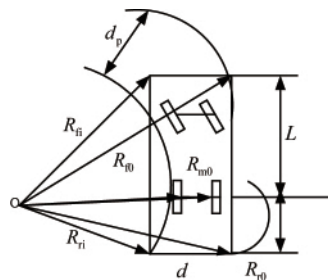


图4 汽车转向半径示意图

Fig. 4 Schematic diagram of steering radius

在图4中, d 为车宽; l 为后轴到车头的距离; r 为后轴到车尾的距离。

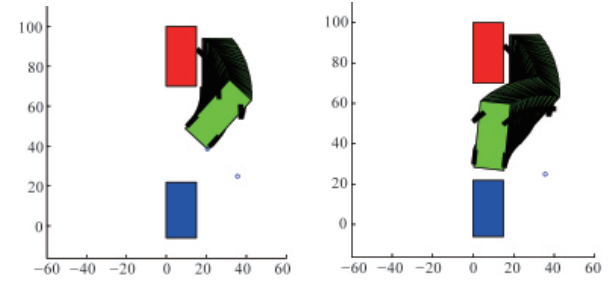
汽车通过宽度的极限是在最小转弯状态下,汽车头部外侧转向半径与后轴内侧转向半径之差,即: $d_p = R_{fo} - R_{\min}$ 。根据图4,6个转向半径之间的关系为

$$\begin{aligned} R_{\min} &= R + d \\ R_{fi} &= \sqrt{R^2 + l^2} \\ R_{fo} &= \sqrt{(R+d)^2 + l_2^2} \\ R_{ri} &= \sqrt{R^2 + r^2} \\ R_{ro} &= \sqrt{(R+d)^2 + r^2} \end{aligned}$$

通过计算,得出最佳转向角度为 45° 。

3 仿真实验

本实验采用的是 MATLAB7.0 软件为仿真实验平台,在 IBM R60 笔记本上面进行仿真。仿真汽车型号为:一汽-大众-捷达,2008 款 CIX-P 伙伴型。根据该型汽车相关参数进行仿真:前轮距 7mm,后轮距 2mm,车辆宽度 15mm,轴距 20mm,后悬尺寸 5mm,前悬尺寸 8mm,汽车长度 33mm。仿真效果如图5所示。



(a) 两段圆弧转向中心点生成 (b) 汽车并行泊车轨迹
(a) Formation of two segment arc steering center (b) Trajectory of parallel parking

图5 并行泊车效果

Fig. 5 Effect drawing of the parallel parking

4 结论

由于汽车运动轨迹分成两段圆弧,为了使得曲线比用折线来代替要绘制的曲线看上去更光滑,应尽可能多地进行曲线上位置点的拟合计算,这样,绘制一条 B 样条曲线就需要反复多次计各坐标分量的三次多项式,其计算量也相当大,绘制拟合速度极慢,难以满足实际需要^[7]。

而采用 Bezier 曲线则可以避免上述情况。在效果图上,Bezier 曲线的曲率小,并且 Bezier 曲线的控制点较多,因而在 Bezier 曲线的效果更加强烈。仿真结果表明,该方法能够简便地控制汽车在任意两点之间运动,并且不管路径上中间点如何,路径都不会呈现龙格现象,汽车运动轨迹较为平滑,与真实运动轨迹较为符合。

参考文献 (References)

- [1] 宋涛. 爱上“移库”[J]. 汽车观察, 2009(10): 112-113. Song Tao. *Automotive Observer*, 2009(10): 112-113.
- [2] 徐津津. 双向路径规划在垂直自动泊车系统中的仿真研究[J]. 天津汽车, 2008(5): 36-40. Xu Jinjin. *Tianjin Auto*, 2008(5): 36-40.
- [3] 宋金泽, 戴斌, 单恩忠, 等. 融合动力学约束的自主平行泊车轨迹生成方法[J]. 中南大学学报, 2009, 40(S1): 135-141. Song Jinze, Dai Bin, Shan Enzhong, et al. *Journal of Central South University*, 2009, 40(S1): 135-141.
- [4] 王晓丰, 李辉, 陈楷民, 等. 一种在视景中基于 Bezier 曲线模拟物体运动的算法[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(7): 244-247. Wang Xiaofeng, Li Hui, Chen Kaimin, et al. *Microelectronics & Computer*, 2009, 26(7): 244-247.
- [5] 刘会刚, 秦国亮. 一种基于 Bezier 曲线的军事箭标实现 [J]. 四川兵工学报, 2009, 30(2): 67-68. Liu Huigang, Qin Guoliang. *Sichuan Ordnance Journal*, 2009, 30(2): 67-68.
- [6] Hearn D, Baker M P. 计算机图形学 [M]. 2 版. 北京: 北京大学出版社, 2004: 260-202. Hearn D, Baker M P. *Computer graphics* [M]. 2nd ed. Beijing: Peking University Press, 2004: 260-202.
- [7] 高尚, 孙玲芳. 求最平坦的三次样条插值的粒子群优化算法 [J]. 微电子学与计算机, 2007, 24(6): 201-202. Gao Shang, Sun Lingfang. *Microelectronics & Computer*, 2007, 24(6): 201-202.

(责任编辑 代丽)