

足球机器人的双圆弧射门算法研究

柳在鑫, 王进戈, 朱维兵

(西华大学机器人研究所, 610039, 成都)

摘要: 为了提高机器人足球比赛中的成功率,在分析了基本算法不足的基础上,利用能够满足任意端点及其斜率要求的双圆弧曲线来解决机器人小车到达目标点的位置,以及姿态运动过程中遇到障碍物能够保持最佳姿态的射门问题,并利用优化设计中的复合形法进行了运动路径寻优. 仿真结果表明,利用双圆弧曲线可保证足球机器人有效地避开障碍物到达目标位姿,且可保证规划路径上的每一点均能满足非完整约束条件,有效地为足球机器人规划出避碰最优路径. 优化后的方法简单有效,可对机器人的初始条件不加限制,计算量非常小,因此有较高的实用价值.

关键词: 足球机器人;射门;双圆弧;运动路径

中图分类号: TP24 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-987X(2007)11-1326-04

Shooting Algorithm of Soccer Robot Based on Bi-Arc

Liu Zaixin, Wang Jing, Zhu Weibing

(Research Institute for Robot of Xihua University, Chengdu 610039, China)

Abstract: To improve the rate of soccer robot shooting goal, bi-arcs are used to solve the shooting problem with collision avoidance and appropriate position holding. And the moving path variables are optimized with the complex algorithm. The simulated results demonstrate that the bi-arcs ensure the soccer robot to realize the effective obstacle avoidance to reach the target, and satisfy the nonholonomic constraint conditions at any points on the planning path to project the optimal path effectively for the obstacle avoidance with a relatively slight computing task and without initial condition requirement.

Keywords: soccer robot; shoot; bi-arc; moving path

在足球机器人路径规划领域,由于路径既要满足机器人的初始位置和运动方向,又要满足目标位置和运动方向,因此本文利用由分段圆弧曲线连接而成的双圆弧曲线来满足任意端点及其斜率的要求^[1],从而解决了机器人在到达目标点位置和姿态的运动过程中遇到的障碍物,以及保持最佳姿态的射门问题. 本文的路径规划问题可描述为在给定2个端点及其单位切线的条件下,寻求一个分段圆弧曲线,使之满足条件:①该曲线通过两端点;②它在两端点处分别与2个切线相切;③两段圆弧按连续性^[2]相连接.

在足球机器人射门过程中,常用到的基本算

法^[3]步骤如下:①计算机器人射门点;②机器人从前位置运动到射门点;③调整机器人的角度,与目标点的姿态保持一致;④机器人踢球射门. 由于没有考虑惯性,小车在调整角度的同时可能会偏过目标点,而且小车到达目标点后,在调整角度时考虑精度问题的速度很慢,因此机器人在各点之间的运动要经历加速和减速2个过程,无疑因增加了射门时间而贻误了战机.

1 双圆弧算法

1.1 双圆弧原理

绝大多数双圆弧曲线函数表达式都是基于某种

坐标系的,并通过几何关系计算圆弧的半径,虽然这种方法本身没有什么错误,但是它不适用于参数化曲线的应用领域.因此,本文提出一种以向量计算为基础且不依赖于坐标系的双圆弧表达方法.

根据图 1 中的起点和终点条件,只要确定了 P_1 、 P_2 和 P_3 就可确定所求的双圆弧.由于端点切线假设为单位切线,所以有

$$P_1 = P_s + d_3 T_s \quad (1)$$

$$P_3 = P_e - d_4 T_e \quad (2)$$

$$\frac{P_3 - P_2}{d_4} = \frac{P_2 - P_1}{d_3} \quad (3)$$

$$(P_1 - P_2)(P_1 - P_2) = d_3^2 \quad (4)$$

$$(P_2 - P_3)(P_2 - P_3) = d_4^2 \quad (5)$$

$$P_2 = \frac{d_3 P_3 + d_4 P_1}{d_4 + d_3} \quad (6)$$

由式(3)得

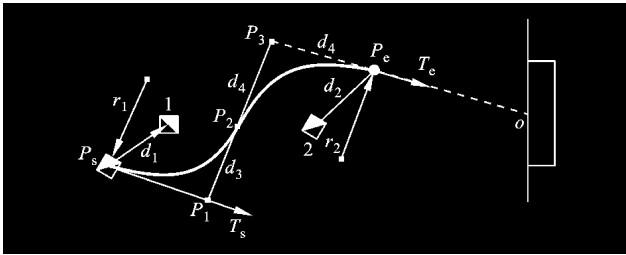
$$P_1 - P_2 = \frac{d_3(D + d_3 T_s + d_4 T_e)}{d_4 + d_3} \quad (7)$$

$$P_2 - P_3 = \frac{d_4(D + d_3 T_s + d_4 T_e)}{d_4 + d_3} \quad (8)$$

$$D = P_s - P_e$$

根据这一结果,对式(4)、式(5)进行点乘运算,并进行简化可以得到

$$D^2 + 2D(d_3 T_s + d_4 T_e) + 2d_4 d_3 (T_s T_e - 1) = 0 \quad (9)$$



P_s 、 P_e :起点和目标点; T_s :单位切线; T_e : P_e 与球门中点所在直线的单位切线; r_1 、 r_2 :圆弧半径;1、2:对方机器人的当前位置; d_1 、 d_2 : P_s 和 P_e 与1、2的距离; o :中点; $P_1 \sim P_3$:控制点; d_3 、 d_4 : $P_3 P_e$ 和 $P_s P_1$ 之间的距离

图 1 双圆弧原理

式(9)中的未知量是 d_4 、 d_3 ,根据 r_1 、 r_2 的不同要求它们可惟一确定,而 r_1 、 r_2 可以由机器人的当前位置及目标位置与对方机器人(障碍物)1和2的距离 d_1 、 d_2 来确定,即

$$r_1 = d_1 + 2l; r_2 = d_2 + 2l \quad (10)$$

式中: l 为小车的边长.通过求解式(9)得到 d_3 和 d_4 ,然后根据式(1)、式(2)和式(3)就可以进而确定

出 P_1 、 P_2 和 P_3 控制点的位置.在通常情况下,用 2 个圆弧就可以解决机器人的路径规划问题,但在特殊情况下却需要 4 个圆弧.特殊条件下的双圆弧为

$$T_s T_e = \langle 1, -1 \rangle; D(d_3 T_s + d_4 T_e) = 0 \quad (11)$$

因此,在式(11)的情况下,无须求解二次方程就可以确定出双圆弧.

1.2 静态路径规划

考虑到机器人的惯性所带来的误差及射门的概率问题,一般情况下射门的目标点为球门中点 o ,但是实战中由于对方守门员一般会站在球门中点处,并且在大禁区内会有 2 个队员(图 2 所示的 3 号和 4 号)协防,这样如果再选择 o 点或 ob 区域射门,则很容易被 3 号及 4 号或守门员把球挡出^[4],这时球门的下半区 ob' 为最佳射门区.综合考虑误差及概率问题,选取球门下半区 ob' 中点 o' 点为射门目标点.当知道机器人的起始位置及球的位置时,机器人的运动方向以及到达目标位置的运动方向如图 2 所示.

根据双圆弧的基本原理可以知道,对于图 2 中的机器人路径规划问题,只要确定了点 P_{s1} 和点 P_{e1} 就可以根据 2 个双圆弧各自的控制点方程得到所有的控制点,即 $P_1 \sim P_6$,而 P_{s1} 和 P_{e1} 可由双圆弧中的 4 段圆弧及其几何关系得到.因此,可以确定出图中所示的连续、光滑且易于实现的双圆弧路径.

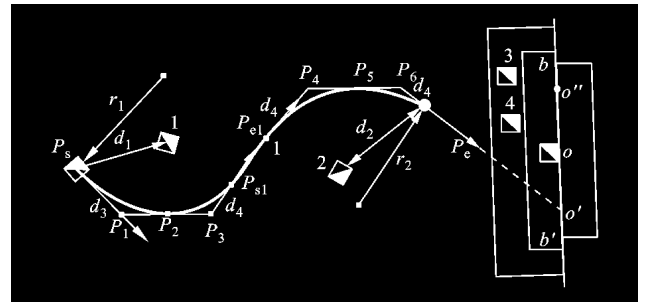


图 2 双圆弧射门静态规划

1.3 动态轨迹规划

机器人在运动的过程中,当前位置和目标点的位置随时在发生变化,对方机器人的位置也在时刻发生变化(见图 3).当机器人由 t_i 时刻的 P_s 点在 t_{i+1} 时刻运动到 P'_s 点,而对方机器人 1 和 2 分别由图示位置运动到 $1'$ 和 $2'$,协防队员 3 和 4 由图示位置运动到 $3'$ 和 $4'$,此时射门的最佳区域由 ob' 变为 ob ,射门目标点则由 o' 变成 o'' .由于机器人在当前点和目标点的相对位置和姿态以及障碍物的位置均发生了变化,所以在 t_{i+1} 时刻,机器人的运动轨迹已不

是以前的双圆弧 $\{P_s, T_s, P_e, T_e\}$,而是新的双圆弧 $\{P'_s, T'_s, P'_e, T'_e\}$.这样,每经过一段时间($\Delta t = t_{i+1} - t_i$),小车的运动轨迹就要重新进行规划,最终所得到的机器人轨迹不再是规则的双圆弧,而是一条光滑连续但不规则的曲线。

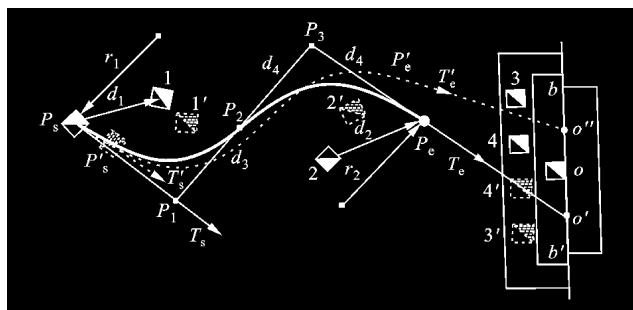


图3 双圆弧机器人动态轨迹规划

2 优化算法

在实际应用中,足球机器人的工作环境通常比较复杂,其中不可避免地会存在着一些障碍物,因此在寻找满足边值条件的曲线函数时,还必须考虑如何使机器人能够安全无碰撞地到达目标位姿,即足球机器人的路径优化问题.本文基于数学分析法,对障碍物约束条件下的非完整移动机器人的路径规划问题进行求解,将此类问题转化成为一类带有不等式约束条件的非线性极小化问题,并采用数学最优优化方法中的复合形法^[5]来求解此类问题.该方法的特点是求解低维问题比较可靠.最优优化方法中还有许多其他方法也可以解决类似问题,如遗传算法、神经网络算法和模拟退火算法等^[6-8],但这些算法通常都比较复杂,运算量也较大,因此不适合应用于机器人路径规划这一实时性要求较高的场合。

2.1 目标函数

在机器人足球比赛中,对于机器人的运动轨迹,有时间最短和轨迹平滑的要求,因此目标函数为

$$\min f(x) = \min(1/N \sum_{i=1}^N |\delta_i| + \lambda(N/\hat{N} - 1)) \quad (12)$$

式中: δ_i 为第*i*周期机器人运动轨迹^[9]的曲率; N 为周期个数; $\hat{N}$ 为最少周期个数; λ 为加权系数.由于双圆弧曲线是二次可微的,因此可以保证目标函数是连续函数。

2.2 约束方程

假设在足球机器人运动区域内共有*n*个障碍物,则整个障碍物区域的约束条件为

$$G(x, y) = \sum_{i=1}^n g_i(x, y) \geq 0 \quad (13)$$

式中: g_i 表示第*i*个障碍物的约束条件.在机器人足球比赛中,机器人的形状是边长固定为*l*的正方形.考虑到2个机器人接触时各自方向是随机的,可能会出现各种情况(见图4),因此本文将机器人模化为半径为 $l/2^{1/2}$ 的圆,圆心坐标为 (x_0, y_0) ,并代表障碍物(机器人)的中心位置.在机器人足球比赛中,通过全局视觉实时地检测场地内的信息,可以获得当前时刻场地障碍物的位置.由于障碍物(尤其是对方机器人)的运动方向未知,速率不定,因此无法准确预测其在将来某时刻的位置,但是却可以预测其在将来某时间段内所能达到的区域.假设障碍物的最大速度为*v*,则在 Δt 时间段内障碍物所能达到的区域为以 $(x_0(t), y_0(t))$ 为圆心、 $(2r + v\Delta t)$ 为半径的圆,因此可以得到机器人足球比赛的障碍物约束方程

$$g(x, y) = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 - (2r + v\Delta t)^2 \quad (14)$$

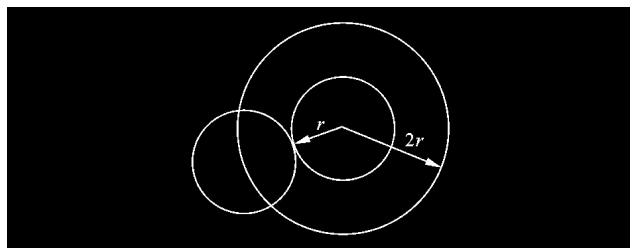


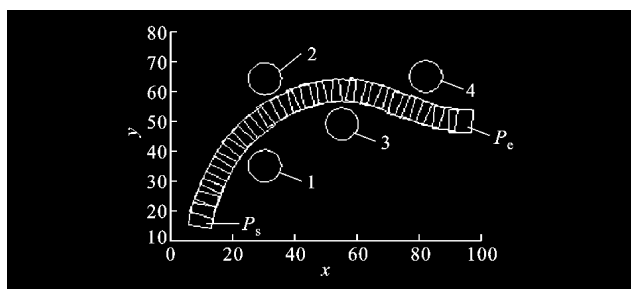
图4 机器人简化碰撞模型

2.3 设计变量

从对双圆弧算法的分析中可以看出,由于已知机器人的位姿及初始速度,而规划的轨迹是由起始点位置、目标点位置以及 d_3 、 d_4 所决定的,因此目标点位置可由机器人运动到目标点所需的周期个数直接得到.本文选取*N*和 d_3 、 d_4 为设计变量。

3 仿真实例

为检验本文算法的有效性,对机器人进行了仿真实验.机器人的位姿表示为 (x, y, θ) ,*x*、*y*分别为机器人的位置坐标, θ 为机器人的正方向与*x*轴的夹角,假定机器人初始位姿为 $P_s(10, 18, \pi/3)$,目标点的位姿为 $P_e(93, 50, 0)$,环境中存在4个动态障碍物,其位置分别为(30, 36)、(31, 64)、(54, 49)和(82, 65),并以不同的速度作匀速直线运动,仿真结果如图5所示.最终,所规划的足球机器人轨迹不再是规则的双圆弧曲线,而是一条光滑连续但不规则的曲线,很容易跟踪,可保证足球机器人有效地避碰,并且规划路径满足非完整约束条件。



1~4:障碍物

图5 机器人最优避碰规划仿真结果

4 结束语

本文根据双圆弧数据逼近方法,提出了一种足球机器人的射门算法,利用双圆弧曲线使足球机器人避开障碍物,从给定点到目标点寻找一条最优路径的规划.该方法可以摆脱传统人工势场法容易陷入局部最优的缺陷,能够在比较靠近的障碍物之间为机器人找到通道.规划的机器人路径比较平滑、易于跟踪,对机器人的初始条件不加限制且计算量小,可应用于搜索、探险及航空航天领域.

参考文献:

- [1] Moreton D N, Parkinson D B. The application of bi-arc technique in CNC mathining[J]. Computer-Aided Engineering Design Journal, 1991(8): 54-60.
- [2] Meek D S, Walton D J. Approximation of discrete data by G' arc splines [J]. Computer-Aided Design, 1992, 24(6): 301-306.
- [3] 韩学东,洪炳镭,孟伟. 机器人足球射门算法研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003, 35(9): 1064-1065.
- [4] 郝宗波,洪炳镭. 仿真机器人足球射门动作研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003, 35(9): 1102-1103.
- [5] Hao Zongbo, Hong Bingrong. Shooting action of simulation robot soccer[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2003, 35(9): 1102-1104.
- [6] 刘惟信. 机械最优化设计[M]. 北京:清华大学出版社, 1994: 143-148.
- [7] 闵华清,毕盛,陈亚鹏. 基于多目标遗传算法的机器人避障研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2005, 37(7): 914-916.
- [8] Min Huaqing, Bi Sheng, Chen Yapeng. Motion planning of robot collision avoidance based on multi-objective genetic algorithm[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2005, 37(7): 914-916.
- [9] 周井泉,张顺颐. 最短路径的独立变量神经网络算法[J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(30): 29-31.
- [10] Zhou Jingquan, Zhang Shunyi. Approach to the shortest path solution with independent variable neural network[J]. Computer Engineering and Applications, 2004, 40(30): 29-31.
- [11] 田东平,迟洪钦. 混合遗传算法与模拟退火法[J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(22): 63-65.
- [12] Tian Dongping, Chi Hongqin. Hybrid genetic algorithm and simulated annealing [J]. Computer Engineering and Applications, 2006, 42(22): 63-65.
- [13] 丁晓庆. 工科数学分析[M]. 北京:科学出版社, 2002: 120-230.

(编辑 管咏梅)

[文摘预登]

质子交换膜燃料电池单电池三维数值模拟

林鸿, 陶文铨

(西安交通大学能源与动力工程学院, 710049, 西安)

对一种质子交换膜燃料电池进行了整个单电池的三维数值模拟. 计算中采用单相等温模型, 整场离散、整场求解的方法, 同时用已知电流通过 Butler-Volmer 方程修正过电位获得电池电压的方法模拟电动力学过程. 数值结果与实验值的对比表明: 所采用的单电池计算模型在大部分工况下获得的输出电压与实验值偏差均可控制在 10%~20% 以内; 单电池局部电流密度的分布数值为 $1.0 \times 10^8 \text{ A/m}^3$. 发现并分析了单电池模型与典型单元模型的差异, 电流密度、质量组分的分布均存在明显差别, 原因主要在于边界条件的设置. 该工作将有助于对质子交换膜燃料电池的流动、传质与电化学反应过程进行进一步的数值研究.