

文章编号: 1000-5013(2008)02-0190-04

双圆弧优化算法的足球机器人路径规划

柳在鑫, 王进戈, 朱维兵, 王 强

(西华大学 机器人研究所, 四川 成都 610039)

摘要: 根据双圆弧数据逼近方法, 提出一种足球机器人路径规划算法. 弥补机器人小车到达定点常用 Turn-Run-Turn 方法及模糊控制(PID)方法存在的不足. 利用由分段圆弧曲线连接而成的双圆弧, 具有满足任意端点及其斜率特性要求的特性, 解决机器人小车到达目标点位置和姿态的运动过程中遇到障碍物及保持最佳姿态的路径规划问题. 最后, 利用复合形法, 求解障碍物约束条件下的非完整移动机器人路径规划问题, 并进行运动路径寻优. 结果表明, 该方法简单有效, 对机器人初始条件不加限制, 计算量非常小.

关键词: 足球机器人; 路径规划; 双圆弧; Turn-Run-Turn 算法; 模糊控制

中图分类号: TP 242. 6; TP 301. 6

文献标识码: A

在足球机器人轨迹规划中, 机器人小车到达定点常用到的方法有 Turn-Run-Turn 方法^[1]及模糊控制(PID)方法^[2]. Turn-Run-Turn 方法的处理过程是小车先转动一定角度, 然后跑到目标点, 再调整角度, 与目标点的姿态保持一致. 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. 此外, 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, 机器人在各点之间的运动要经历加速和减速 2 个过程, 无疑增加了射门时间, 会贻误战机. 模糊控制(PID)方法虽然考虑了到达目标点的最佳途径, 但是没有考虑到小车在运动的过程中会受到对方机器人小车(障碍物)的阻挡, 很可能会发生小车相撞而出现顶牛的情况. 在足球机器人路径规划领域中, 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. 本文的路径规划问题可描述为, 在给定两个端点及其单位切线的条件下, 寻求一个分段圆弧曲线^[3]. 该曲线满足如下 3 个条件. (1) 通过两端点. (2) 在两端点处分别与两个切线相切. (3) 两段圆弧按连续性^[4]相联结.

1 路径规划

1. 1 路径规划原理

绝大多数曲线函数表达式都是基于某种坐标系的, 并通过角的关系和三角学知识计算圆弧的半径. 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, 提出一种以向量计算为基础且不依赖于坐标系的表达方法. 记为 $\{P_s, T_s, P_e, T_e\}$, 其中 P_s 和 P_e 表示起点和终点, T_s 和 T_e 分别为起点和终点的单位切线, 即 $|T_s| = |T_e| = 1$; 1, 2 分别表示对方机器人(障碍物)的当前位置, d_1, d_2 分别表示机器人小车起点 P_s 和终点 P_e 与障碍物 1, 2 的距离.

根据图 1 中的起点和终点位置 P_s 和 P_e , 选择过两端点的切矢量 α 和 β , 可以确定 P_1, P_2 和 P_3 .

$$(P_1 - P_2)(P_1 - P_2) = \beta^2, \quad (1)$$

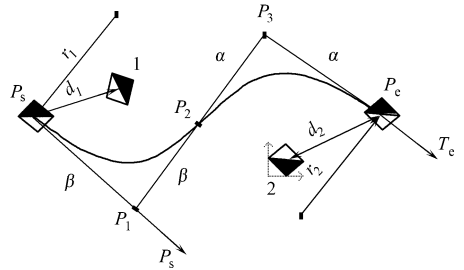


图 1 双圆弧原理

Fig. 1 Principle of bi-arc

收稿日期: 2007-07-09

作者简介: 柳在鑫(1978-), 男, 讲师; 通讯作者: 王进戈(1957-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事智能机器人技术的研究. E-mail: wangjg@mail.xhu.edu.cn.

基金项目: 四川省应用基础研究项目(0322129); 四川省重点学科研究项目(SZD425231)

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$(P_2 - P_3)(P_2 - P_3) = \alpha^2. \tag{2}$$

只要确定了未知点 P_1, P_2 和 P_3 , 就可确定所求的. 由于端点切线假设为单位切线, 所以有

$$P_1 = P_s + \beta T_s, \tag{3}$$

$$P_3 = P_e - \alpha T_e, \tag{4}$$

$$(P_3 - P_2)/\alpha = (P_2 - P_1)/\beta. \tag{5}$$

由式(5)可得

$$P_2 = \frac{\beta P_3 + \alpha P_1}{\alpha + \beta}. \tag{6}$$

将式(6)代入(1), (2), 整理可得

$$P_1 - P_2 = \frac{\beta(P_1 - P_3)}{\alpha + \beta} = \frac{\beta(D + \beta T_s + \alpha T_e)}{\alpha + \beta}, \tag{7}$$

$$P_2 - P_3 = \frac{\beta(P_1 - P_3)}{\alpha + \beta} = \frac{\alpha(D + \beta T_s + \alpha T_e)}{\alpha + \beta}, \tag{8}$$

其中, $D = P_s - P_e$.

根据这一结果对式(1), (2)进行点乘运算, 并做简化可以得到

$$D^2 + 2D(\beta T_s + \alpha T_e) + 2\alpha\beta(T_s T_e - 1) = 0. \tag{9}$$

该方程中的未知量是常数 α, β 根据圆弧半径 r_1 及 r_2 的不同, 要求它们可唯一确定, r_1 及 r_2 可以由机器人的当前位置 P_s 及目标位置 P_e 与对方机器人(障碍物) 1, 2 的距离 d_1 及 d_2 . 来确定.

$$\left. \begin{aligned} r_1 &= d_1 + 2l, \\ r_2 &= d_2 + 2l. \end{aligned} \right\} \tag{10}$$

上式中, l 为小车边长. 通过求解方程(9)可求得常数 α, β 然后, 根据 P_1, P_2 和 P_3 的表达式确定出这 3 个控制点的位置. 通常情况下, 用两个圆弧就足以解决机器人路径规划问题, 而在特殊情况下需要 4 段圆弧. 上述方法的优点是, 可以非常便利地辨识和确定出特殊条件下的

$$\left. \begin{aligned} T_s T_e &= \{1, -1\}, \\ D(\beta T_s + \alpha T_e) &= 0. \end{aligned} \right\} \tag{11}$$

式(11)中, 前者表示机器人目标方向与起始方向平行(或反平行, 即平行但方向相反), 后者表示端点向量之和与端点连线垂直. 在这两种情况下, 无须求解上述二次方程就可以确定.

1.2 静态路径规划

假设机器人起始位置和运动方向, 以及其目标位置和运动方向, 如图 2 所示. 根据上述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} , 就可以根据两个各自的控制点方程得到所有的控制点 P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 和 P_6 , 而点 P_{s1} 和点 P_{e1} 可由双圆弧中的 4 段圆弧及其几何关系得到. 于是, 可确定出图 2 所示的连续、光滑且易于实现的路径.

1.3 动态轨迹规划

在机器人小车运动的过程中, 机器人当前位置和目标点的位置随时在发生变化, 对方机器人(障碍物) 1, 2 的位置也在时刻发生变化. 如图 2 所示, 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, 而对方机器人则分别由图示位置点 1 和 2 运动到点 $1'$ 和 $2'$. 此时, 由于机器人当前点和目标点相对位置和姿态, 以及障碍物的位置均发生变化. 所以, 在 t_{i+1} 时刻机器人的运动轨迹再也不是先前的 $\{P_s, T_s, P_e, T_e\}$, 而是新的 $\{P'_s, T'_s, P'_e, T'_e\}$ (图中虚线所表示的). 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, 而是一条光滑连续但不规则的曲线. 通过实验可以发现, 如果当前点和目标点距离很近, 或者当前点与目标点方向偏离很大时, 这种方法

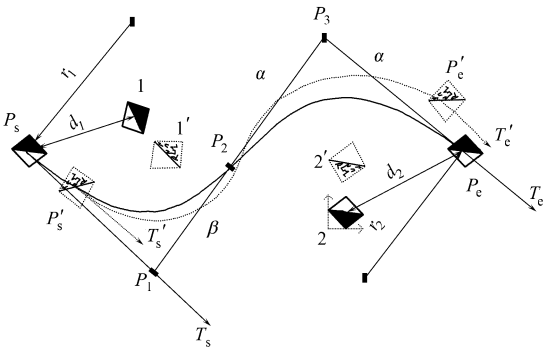


图 2 动态轨迹规划

Fig.2 The plan of dynamic path

得到的曲线会出现不必要的局部波动,这就需要通过调节圆弧半径 r_1 及 r_2 来进行修正.

2 最优路径规划

在实际应用中,足球机器人的工作环境通常比较复杂,其中不可避免地存在一些障碍物.因此在寻找满足上述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.在这种描述方法下,此类问题被转化成为一类带有不等式约束条件的非线性极小化问题.数学最优化方法中的复合形法^[5]可用来求解这类问题,该方法的特点是求解低维问题比较可靠.最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、模拟退火算法等^[6-8],但这些算法通常比较复杂,运算量较大,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.这里给出基于双圆弧曲线的足球机器人最优路径规划问题的求解过程.

2.1 目标函数

路径优化的出发点是为了使路径最短、最平滑,因此定义目标函数为

$$\Sigma = \min(\delta + \lambda L_i).$$
 (12)

在式(12)中, λ 为加权系数, δ , L_i 分别为第 i 条路径的曲率和曲线长度.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 约束条件

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表示为

$$G(x,y) = \sum_{i=1}^n g(x,y) \leq 0.$$
 (13)

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.在比赛中,由于机器人之间的碰撞时常发生,根据两个机器人的路径的不同也即运动方程的不同,划分出如下 5 种组合情况.(1) 一个直行,另一个静止.(2) 两个都直行.(3) 一个直行,另一个作圆周运动.(4) 两个都作圆周运动.(5) 一个静止,另一个作圆周运动.对不同的组合,应作不同的处理.考虑到两个机器人接触时,因为各自方向是随机的,可能会出现各种情况.如图 3 所示,为简化处理,设每个机器人有 4 条边,只要两个机器人有两条边相交,就可判断发生了碰撞^[9].

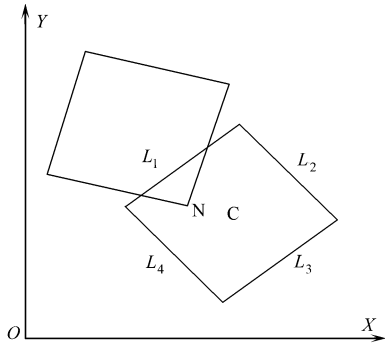


图 3 机器人碰撞模型
Fig. 3 The collision model of robot

2.3 设计变量

从对双圆弧曲线方程的分析中可以看出,参数 α , β 对规划出的曲线起着至关重要的作用.因此,选取参数 α , β 作为设计变量.

3 仿真实例

为检验上述算法的有效性,进行了仿真实验,约束函数可表示^[10]为

$$g(x,y) = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 - 2l^2.$$
 (14)

式(14)中, (x_0, y_0) 为障碍物的中心坐标, l 为对应障碍物(机器人)的边长.

假定移动机器人初始位姿为 $(13, 72, -\pi/4)$, 目标位姿为 $(90, 25, \pi/6)$. 环境中存在有 3 个障碍物,其位姿分别为障碍物 1 $(11, 55, -\pi/3)$, 障碍物 2 $(29, 17, 3\pi/7)$ 和障碍物 3 $(53, 29, -5\pi/6)$, 障碍物边长为 7.5 cm. 仿真结果,如图 4 所示.

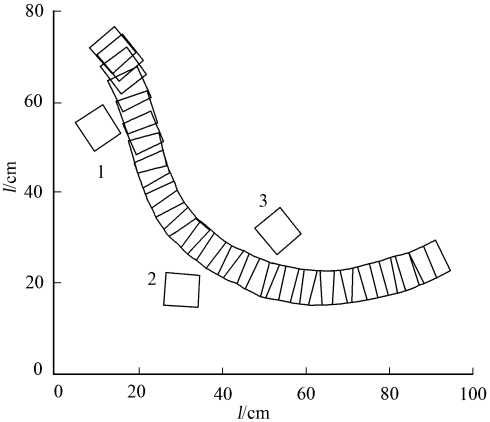


图 4 机器人最优避碰规划仿真结果
Fig. 4 The simulation result of optimal avoidance planning of robot

4 结束语

本文根据双圆弧数据逼近方法,提出一种足球机器人路径规划算法,利用双圆弧来解决差动机器人的路径规划问题.该方法简单有效,对机器人初始条件不加限制,计算量较小,可应用于搜索、探险及航空航天领域.但是,这些方法虽然简单可行,由于 CCD 采集数据时存在的时间差带来相应的位置误差,使规划容易受到数据中噪声的影响,因而只有当数据非常准确时才能使用.当数据中包含有噪声或数据分布不理想时,这种方法得到的曲线会出现不必要的局部波动,需要通过更快速的数字采集来减小其影响.

参考文献:

- [1] 韩学东,洪炳镭,孟 伟,等.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.
- [2] 马辰威,刘 巍,张 承,等.基于遗传算法的足球机器人控制参数优化[J].哈尔滨工业大学学报,2004,36(7):921-922.
- [3] 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.
- [4] MEEK D S, WALTON D J. Approximation of discrete data by G' arc splines[J]. Computer-Aided Design, 1992, 24(6): 301-306.
- [5] 刘惟信.机械最优化设计[M].北京:清华大学出版社,1994:143-148.
- [6] MEDIO C D, GIUSEPPE O. Robot obstacle avoidance using vortex field[M]// Advance in Robot Kinematics. Wien: Springer-Verlag, 1991: 227-235.
- [7] ALESSANDO D L, GIUSEPPE O. Local incremental planning for a car-like robot navigating among obstacles[C]// Proc of International Conference on Robotics and Automation. Minneapolis:[s.n], 1996: 1205-1211.
- [8] FEDER H J S, SLOTINE J E. Real-time path planning using harmonic potentials in dynamic environments[C]// Proc of the 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation. New Mexico:[s.n], 1997: 874-881.
- [9] 柳在鑫,王进戈,李建防,等.基于机器人足球系统仿真中的碰撞模型[J].西华大学学报:自然科学版,2006,25(4):69-70.
- [10] 柳在鑫,王进戈,朱维兵,等.正弦曲线的足球机器人路径规划[J].华侨大学学报:自然科学版,2006,27(4):426-428.

Soccer Robot Path Planning Based on Modified Bi-Arc Algorithm

LIU Zai-xin, WANG Jin-ge, ZHU Wei-bing, WANG Qiang

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

Abstract: A new path planning method based on bi-arc algorithm for soccer robots is presented to overcome the disadvantages of turn-run-turn and PID algorithm. Bi-arc connected by several segments of arcs is used to deal with the path-planning problem of collision avoidance of mobile robots at the initial and terminal posture and of how to hold the optimal posture. Moreover, the complex method is used to solve the path-planning problem for nonholonomic mobile robots under the condition of obstacle avoidance, and the motion path is optimized. The result shows that the complex method is simple, effective and with a little computation, and also has no limits on the initial conditions of soccer robots.

Keywords: soccer robot; path planning; bi-arc; turn-run-turn algorithm; fuzzy control

(责任编辑:黄仲一 英文审校:郑亚青)