

利用渐开线的足球机器人射门算法研究

柳在鑫, 王进戈, 王强, 朱维兵, 张均富
(西华大学机械工程与自动化学院, 610039, 成都)

摘要: 为了进一步提高足球机器人的射门成功率,使射门动作更快更准,在分析了基本算法不足的基础上,利用光滑、可微的渐开线来解决机器人小车到达目标点的射门问题.通过建立球场坐标系及机器人小车的运动轨迹坐标系,导出了旋转矩阵与平移矩阵,对球场坐标系和运动轨迹坐标系进行了坐标转换,并运用几何学方法建立了机器人在运动过程中的避碰模型,最后利用优化设计中的内点惩罚函数法对机器人小车进行了运动路径寻优.仿真结果表明,该算法可优化足球机器人射门的运动轨迹,优化后的方法不但可以减小问题的复杂度,而且具有极高的实时性,因此较好地实现了机器人在动态环境下的射门动作,提高了射门的成功率.

关键词: 足球机器人;内点惩罚函数法;渐开线;运动路径

中图分类号: TP24 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2009)01-0095-04

Shooting Algorithm of Soccer Robot Using Involute

LIU Zaixin, WANG Jing, WANG Qiang, ZHU Weibing, ZHANG Junfu
(School of Mechanical Engineering and Automation, Xihua University, Chengdu 610039, China)

Abstract: To improve soccer robot shooting accuracy, velocity and success rate, by analyzing the shortcomings in the existing shooting algorithms, the smooth and differentiable involute is used to simulate the shooting at the goal points. A moving locus coordinate system based on robot and court coordinate system is established, the rotation matrix and translation matrix are deduced to solve the difficulty in the coordinate transformation between the moving locus coordinate system and the court coordinate system. The collision models of robots in moving path are constructed geometrically. And the moving path variables are optimized with the internal penalty function method. The simulated results demonstrate that this method is able to optimize the path of a soccer robot, decrease the complexity, enhance the real time capability, and perform the shooting action better to heighten the success goaling rate.

Keywords: soccer robot; internal penalty function method; involute; moving path

机器人足球是一个新兴的人工智能研究领域,它融合了实时视觉系统、机器人控制、无线通讯、多机器人控制等多个领域的技术^[1],足球机器人比赛表现为由非实时、离散、静态环境下的单智能体控制到实时、连续、动态环境下的多智能体冲突、合作协调及控制^[2].因此,机器人足球为多智能体系统提供了一个良好的试验研究平台,正逐步成为一个热门的研究课题^[3].目前,对足球机器人射门动作的设计

有时间最优射门^[4]、中分线射门^[5]、Petri网射门^[6]等方法,但这些方法一般总会受到机器人初始姿态的影响,难以满足实时性的要求.此外,由于机器人的左右轮速在一定时间周期内要进行调整,使得规划出的射门运动轨迹在实现上往往有一定的难度.本文利用光滑、可微的渐开线来满足任意端点及斜率的特性,以解决机器人到达目标位姿的最优射门问题,并合理地规划了机器人的射门路线,消除了机

器人在传统算法中因初始角与目标角差异较大而引起的振荡现象,使机器人在走曲线过程中实现了平滑过渡。

1 渐开线算法

1.1 渐开线原理

假设已知机器人的初始位置 $P_1(x_1, y_1)$ 、初始方向角 θ_1 、目标位置 $P_2(x_2, y_2)$ 和目标方向角 θ_2 , 就能够找到一条如图 1 所示经过初始位置和目标位置的渐开线^[7], 即

$$\begin{cases} x = r(\cos(k\theta) + k\theta\sin(k\theta)) \\ y = r(\sin(k\theta) + k\theta\cos(k\theta)) \end{cases} \quad (1)$$

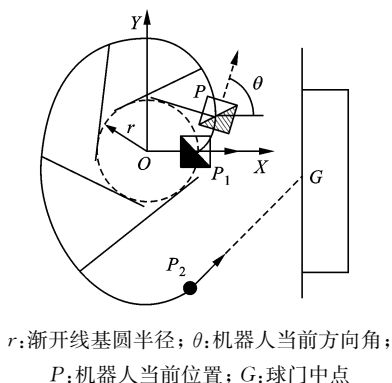


图 1 渐开线的原理

1.2 坐标变换

在微型足球机器人系统中, 足球机器人是一种差轮驱动的移动机器人, 在一个近似矩形的场地里做平面运动, 通过垂直悬挂的摄像机获取平面场地图像, 可使用二维直角坐标系来描述机器人的位置。

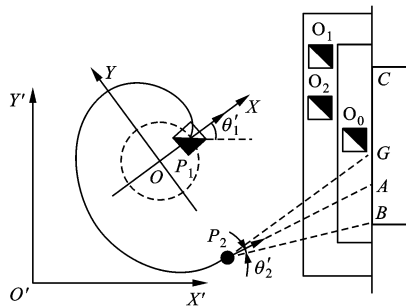
1.2.1 坐标系的定义 如图 2 所示, 在以机器人场地为基础的球场坐标系 $O'X'Y'$ 内, 机器人质心坐标 (x', y') 代表机器人在球场坐标系中的位置, 机器人正方向与 $O'X'$ 轴的夹角 θ' 代表机器人在球场坐标系中的方向角。机器人在球场坐标系中的位姿

$$\mathbf{P}' = [x', y', \theta']^T$$

以机器人的初始方向为 OX 轴的正方向, 建立如图 2 所示的机器人运动轨迹坐标系 OXY 。在运动轨迹坐标系内, 机器人质心坐标 (x, y) 代表机器人在运动轨迹坐标系中的位置, 机器人正方向与 OX 轴的夹角 θ 代表机器人在运动轨迹坐标系中的方向角。机器人在运动轨迹坐标系中的位姿

$$\mathbf{P} = [x, y, \theta]^T$$

1.2.2 球场与运动轨迹坐标系之间的转换 设在球场坐标系内, 运动轨迹坐标系是球场坐标系先变换平移矩阵 $\mathbf{T}$, 再变换旋转矩阵 $\mathbf{R}$ 所得到的^[8], 即



O_0 : 对方守门员; O_1, O_2 : 对方协防队员; A : 射门点; B, C : 球门边界

图 2 渐开线路径规划

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} x'_1 & -r\cos\theta'_1 \\ y'_1 & -r\sin\theta'_1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \cos\theta'_1 & -\sin\theta'_1 & 0 \\ \sin\theta'_1 & \cos\theta'_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

通过式(2)和式(3), 可以得到机器人在运动轨迹坐标系中的位姿与在球场坐标系中的位姿关系

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ \theta' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta'_1 & -\sin\theta'_1 & 0 \\ \sin\theta'_1 & \cos\theta'_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x'_1 & -r\cos\theta'_1 \\ y'_1 & -r\sin\theta'_1 \\ -\theta'_1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

并且机器人在 P_2 处满足

$$\begin{cases} x_2 = r(\cos(k\theta_2) + k\theta_2\sin(k\theta_2)) \\ y_2 = r(\sin(k\theta_2) + k\theta_2\cos(k\theta_2)) \end{cases} \quad (5)$$

2 路径规划

实际中视觉子系统传递过来的信息是机器人在球场坐标系中的位姿, 通过坐标变换可以变换成运动轨迹坐标系中的位姿。因此, 只需确定 θ_2 即可通过式(5)求出 r, k 值, 即在每一时刻可以惟一确定满足要求的渐开线。

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標点为 G 点, 但是实战中由于对方守门员一般会站在 G 点处, 并且在大禁区内会有 O_1 和 O_2 协防, 这样如果再选择 G 点或 GC 区域射门, 则很容易被 O_1 及 O_2 或 O_0 把球挡出, 这时球门的下半区 GB 为最佳射门区, 所以选取球门下半区中的任一点 A 为射门目标点。当知道机器人的初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。根据渐

开线的基本原理可知,对于图 2 中的机器人路径规划问题,只要确定了射门点,就可以确定目标点方向角,并可通过初始位置、初始方向角、目标位置和目标方向角确定出图中所示的连续、光滑且易于实现的渐开线。

3 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^[9]。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,并采用最优化方法中的惩罚函数法^[10]来求解此类问题。该方法的特点是将约束优化问题经过加权转化后,构成无约束优化问题,其原理简单,算法易行,使用范围广。

3.1 目标函数

机器人到达目标点的路径为

$$L = \int_0^{\theta_2} (x'^2(\theta) + y'^2(\theta))^{1/2} d\theta = rk^2\theta_2^2/2 \quad (6)$$

路径优化的出发点是使路径最短,因此目标函数为

$$\min(L) = rk^2\theta_2^2/2 \quad (7)$$

3.2 约束条件

假设在足球机器人运动区域内共有 n 个障碍物,则约束条件可由下式表示

$$G(x, y) = \sum_{i=1}^n g_i(x, y) \geq 0 \quad (8)$$

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(见图 3),由于机器人之间的碰撞时常发生,根据 2 个机器人路径的不同即运动方程的不同,划分为 5 种情况:

①1 个直行,另 1 个静止;②2 个都直行;③1 个直行,另 1 个作圆周运动;④2 个都作圆周运动;⑤1 个静止,另 1 个作圆周运动。对不同的组合,作不同的处理。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,为简化处理,设每个机器人有 4 条边,只要 2 个机器人有 2 条边相交,则可判断它发生了碰撞。

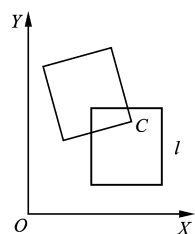


图 3 机器人的碰撞模型

机器人与障碍物之间的约束函数^[11]为

$$g(x, y) = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 - 2l^2 \geq 0 \quad (9)$$

式中: (x_0, y_0) 为障碍物的中心坐标。

3.3 惩罚函数与设计变量

可以将机器人的避碰问题描述为如下的约束问题

$$\left. \begin{aligned} \min(L) &= rk^2\theta_2^2/2 \\ \text{s. t } g(x, y) &= (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 - 2l^2 \geq 0 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

采用内点惩罚函数法求解该问题,构造的内惩罚函数如下

$$\phi(\theta_2) = L - \lambda \ln(g(x, y)) \quad (11)$$

式中: λ 为惩罚因子。

从对渐开线方程的分析中可以看出,只需确定 θ_2 即可通过式(5) 求出 r, k 值,即在每一时刻都可以惟一确定满足要求的渐开线,因此选取 θ_2 及 λ 作为设计变量。

4 仿真实例

假定足球机器人在球场坐标系中的初始位姿为 $P_1(93, 99, 3\pi/8)$, 目标位姿为 $P_2(88, 25, \pi/10)$, 环境中存在 4 个障碍物, 其位姿分别为 1 (69, 118, $3\pi/7$)、2 (24, 111, $2\pi/5$)、3 (39, 76, $8\pi/9$) 和 4 (32, 27, $3\pi/5$), 障碍物边长为 7.5 cm, 仿真结果如图 4 所示。由于机器人在路径规划过程中要避开障碍物, 因此最终所规划的机器人轨迹不是规则的渐开线, 而是一条光滑连续且不规则的曲线, 易于跟踪, 并且规划路径满足非完整约束条件。

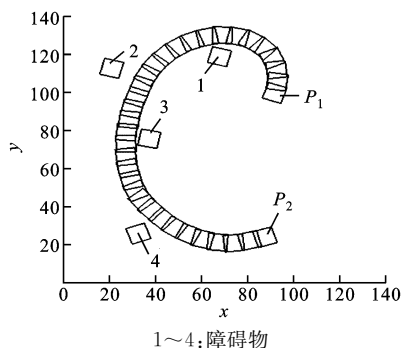


图 4 机器人最优避碰规划的仿真结果

5 结论

本文利用光滑、可微的渐开线来满足任意端点及斜率的特性,实时、有效地解决了机器人避开障碍物,从给定点到目标点寻找一条最优路径的规划。该方法能缩短射门机器人的运动轨迹,同时使机器人

在向球的运动过程中逐渐调整到最佳射门角度,以较大的冲量击球射门,从而提高了射门的成功率.本文方法不仅可以减小问题的复杂度,而且具有极高的实时性,能够很好地实现机器人在动态环境下的射门动作.采用该射门算法所开发出的足球机器人决策子系统在2007年第八届全国机器人足球比赛上获得了SimuroSot5Vs5亚军的好成绩.

参考文献:

- [1] KIM J H, SHIM H S, KIM H S, et al. A cooperative multi-agent system and its real time application to robot soccer [C]// Proc of IEEE Conf on Robotics and Automation. Piscataway, NJ, USA; IEEE, 1997: 638-643.
- [2] VELOSOM M, STONE P. Individual and collaborative behaviors in a team of homogeneous robotic soccer agents[C]// Proceedings of the Third International Conference on Multi-Agent Systems. Paris, France; ICMAS Conference Publication, 1998: 309-316.
- [3] KIM J. Co-operative multi-agent robotic system from the robot-soccer perspective[C]// Micro-robot World Cup Soccer Tournament Proceeding. Daejeon, Korea; MiroSot'97 Conference Publication, 1997: 3-14.
- [4] KIM H S, SHIM H S, JUG M J, et al. Action selection mechanism for soccer robot [C]// IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation. Piscataway, NJ, USA; IEEE, 1997: 382-389.
- [5] 吴丽娟, 张春晖, 徐心和. 足球机器人决策系统推理模型 [J]. 东北大学学报(自然科学版), 2001, 22(6): 597-599.
- WU Lijuan, ZHANG Chunhui, XU Xinhe. Reasoning model of soccer robot strategy system[J]. Journal of Northeastern University (Natural Science), 2001, 22(6): 597-599.
- [6] 韩学东, 洪炳镕, 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.
- HAN Xuedong, HONG Bingrong, MENG Wei. Shooting algorithm in robot soccer [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2003, 35(9): 1064-1066.
- [7] 同济大学数学教研室. 高等数学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 355-357.
- [8] 蔡自兴. 机器人学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 32-33.
- [9] 柳在鑫, 王进戈, 朱维兵. 足球机器人的双圆弧算法研究 [J]. 西安交通大学学报, 2007, 41(11): 12-14.
- LIU Zaixin, WANG Jing, ZHU Weibing. Shooting algorithm of soccer robot based on bi-arc [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2007, 41(11): 12-14.
- [10] 孙靖民, 梁迎春. 机械优化设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007: 145-150.
- [11] 柳在鑫, 王进戈, 朱维兵. 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.
- LIU Zaixin, WANG Jing, ZHU Weibing. Soccer robot path planning based on sinusoid [J]. Journal of Huaqiao University (Natural Science), 2006, 27(4): 426-428.

(编辑 管咏梅)