

基于动态椭圆曲线的足球机器人射门路径规划算法

宋大雷¹, 孟宪强¹, 宋朝晖², 申文卿³

(1. 中国海洋大学 工程学院, 山东 青岛 266100; 2. 黑龙江电力职工大学 计算机网络中心, 哈尔滨 150030;

3. 中国石油 山东销售分公司, 山东 青岛 266071)

(chris.meng9@gmail.com)

摘要:为提高机器人足球比赛中射门成功率,提出了一种基于动态椭圆曲线的射门路径规划算法。通过计算足球机器人当前位姿及期望射门角度,控制机器人按照椭圆曲线路径运动至射门目标点,实现快速有效击球射门。仿真实验及实物机器人实验验证了算法的有效性,动态椭圆曲线射门规划算法运动路径短,且能够以合理射门角度完成射门。

关键词:足球机器人; 射门; 路径规划; 椭圆曲线

中图分类号: TP242.6 **文献标志码:** A

Shooting path planning for soccer robot based on dynamic ellipse curve

SONG Da-lei¹, MENG Xian-qiang¹, SONG Zhao-hui², SHEN Wen-qing³

(1. College of Engineering, Ocean University of China, Qingdao Shandong 266100, China;

2. Computer Network Center, Heilongjiang Electric Staff University, Harbin Heilongjiang 150030, China;

3. Shandong Sales Branch, China National Petroleum Corporation, Qingdao Shandong 266071, China)

Abstract: To improve the shooting precision of soccer robot, a shooting path planning algorithm based on dynamic ellipse curve was proposed. By calculating the robot's position, pose and desired shoot angle dynamically, the soccer robot was controlled to move to target at ellipse curve and shoot quickly. The results of simulation and experiment demonstrate the validity of the algorithm. The path is short and shooting is finished at a proper angle.

Key words: soccer robot; shooting; path planning; ellipse curve

0 引言

在机器人足球比赛中,因为比赛竞争性,射门路径规划成为赢得比赛的关键。由于机器人与足球位姿坐标获取的不准确性,以及整个环境具有动态性,射门路径规划是一项挑战性的工作^[1]。目前主要射门路径规划算法有:贝塞尔曲线法^[1-2]、基于圆弧射门算法^[3-5]、向量场算法^[6-7]、人工神经网络^[8-9]、基因算法^[10]、模糊逻辑算法^[11]。其中,贝塞尔曲线与圆弧射门算法属于曲线拟合方法,人工神经网络、基因算法、模糊逻辑算法属于人工智能算法。

本文在切圆弧射门算法的基础上,提出了一种基于椭圆曲线弧射门算法。该算法在运动过程中调整机器人位姿,当运动到足球目标点时,使机器人位姿恰好为射门方向,以期射门角度快速击球,完成射门。该算法可以减少机器人射门的运动距离,提高射门的成功率。实验结果验证了该算法的有效性。

1 轮式机器人运动学模型

机器人运动学模型为双轮小车。如图1,小车左轮速 V_L ,右轮速 V_R ,线速度 V ,角速度 ω ,左右轮间距(小车宽度) L ,转弯半径 R 。由运动原理可知:

$$v = (v_L + v_R)/2 \quad (1)$$

$$R = v/\omega \quad (2)$$

顺时针运动时:

$$\omega = (v_L - v_R)/L \quad (3)$$

逆时针运动时:

$$\omega = (v_R - v_L)/L \quad (4)$$

若已知 R ,则顺时针运动时:

$$v_R = v_L \times \frac{2R - L}{2R + L} \quad (5)$$

逆时针运动时:

$$v_L = v_R \times \frac{2R - L}{2R + L} \quad (6)$$

2 椭圆曲线弧射门算法

2.1 基本思想

椭圆曲线弧射门算法主要思想是在足球机器人运动中,通过控制左右轮速,使其按照椭圆弧线轨迹运动,当机器人运动角度与期望射门角度一致时,最后击球完成射门。本文从当前机器人的位姿(位置和方向角)到目标点的位姿规划出一条椭圆曲线,能满足射门或传球动作的快速性、准确性和平滑性的要求。

在椭圆曲线射门算法中,机器人完成射门所规划的路径为:椭圆弧PB。而按照切圆弧算法^[9],机器人完成射门所规划的路径为:圆弧PC与直线CB。两者对比,椭圆曲线射门路

收稿日期:2008-12-11;修回日期:2009-02-27。

作者简介:宋大雷(1971-),男,黑龙江哈尔滨人,副教授,博士,主要研究方向:机器人技术、海洋仪器装备、数字信号处理;孟宪强(1979-),男,山东东阿人,硕士研究生,主要研究方向:机器人技术;宋朝晖(1969-),女,黑龙江哈尔滨人,高级讲师,博士研究生,主要研究方向:电子设计自动化、SOC芯片设计;申文卿(1980-),女,山东巨野人,助理工程师,主要研究方向:计算机控制。

径长度小于切圆弧射门路径长度(如图2)。

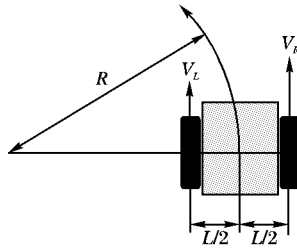


图1 轮式机器人运动学模型示意图

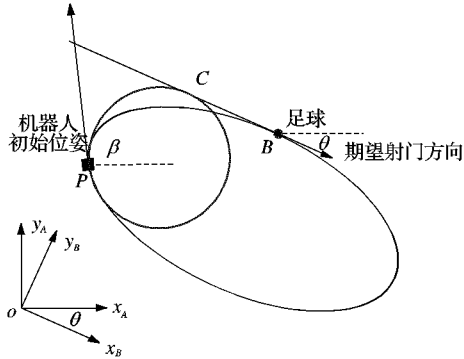


图2 椭圆曲线射门与切圆弧射门比较示意图

2.2 椭圆曲线射门路径规划

在机器人足球中,自然坐标系以场地左下角为原点,水平方向为横轴,垂直方向纵轴。如图3所示,在自然坐标系A中,机器人当前位置为 $P_A(x_1, y_1)$,角度为 β ,足球位置为 $B_A(x_2, y_2)$,角度为 θ ($\theta \in (-180^\circ, 180^\circ)$)。机器人从P点运动到B点,在B点以期望角度 θ 完成射门动作。该运动路径可以规划为椭圆曲线,椭圆纵轴过B点,且与期望射门方向垂直,分别与P点,B点相切。椭圆曲线射门算法首先计算出规划路径的曲线方程,然后根据路径曲率及机器人运动学模型,计算左右轮速,从而控制机器人按照规划路径运动,实现击球射门。

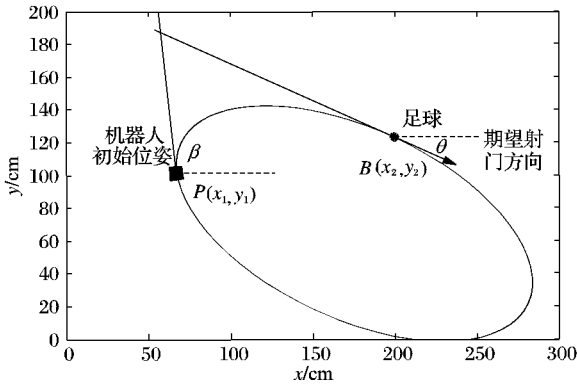


图3 基于椭圆曲线射门路径规划

因为曲线一定时,坐标系的变化并不改变曲线性质,因此引入参考坐标系,求得该曲线在参考坐标系下的标准方程以及曲率半径,就可以实现射门路径规划。

自然坐标系A逆时针旋转 θ (如图3中 $\theta < 0$,则顺时针旋转 $|\theta|$),得参考坐标系B。在参考坐标系B中,椭圆标准方程:

$$\frac{(x_B - x_0)^2}{a^2} + \frac{(y_B - y_0)^2}{b^2} = 1 \quad (7)$$

其中:

$$\begin{bmatrix} x_B \\ y_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_A \\ y_A \end{bmatrix} \quad (8)$$

令 $\Delta x = x_1 - x_2, \Delta y = y_1 - y_2$ 。根据 $P_B(x_1, y_1), B_B(x_2, y_2)$ 及P点切线斜率 k_1 可求得椭圆曲线方程:

$$b = \frac{(\Delta y - k_1 \times \Delta x) \times \Delta y}{k_1 \times \Delta x - 2 \times \Delta y} \quad (9)$$

$$a^2 = \frac{(\Delta y - k_1 \times \Delta x)^2 \times \Delta x}{k_1 \times (k_1 \times \Delta x - 2 \Delta y)} \quad (10)$$

因为曲率

$$K = \frac{|y''|}{[1 + (y')^2]^{3/2}} \quad (11)$$

曲率半径 $r = \frac{1}{K}$ 。可求得P点曲率半径:

$$r = \frac{(1 + k_1^2)^{3/2}}{|k_1|} \times \frac{|\Delta x| \times \Delta y^2}{(\Delta y - k_1 \times \Delta x)^2} \quad (12)$$

机器人按照曲率半径 r 运动时左右轮速满足:

$$v_R = v_L \times \frac{2r - L}{2r + L} \quad (13)$$

可以给定 $v_L = v_0$,并确定 v_R ,从而控制机器人按照规划路径运动。

椭圆曲线路径规划算法适用条件为:

$$a^2 = \frac{(\Delta y - k_1 \times \Delta x)^2 \times \Delta x}{k_1 \times (k_1 \times \Delta x - 2 \Delta y)} > 0 \quad (14)$$

即:

$$\frac{x_1 - x_2}{(\tan(\beta - \theta) \times (x_1 - x_2) - 2 \times (y_1 - y_2)) \times \tan(\beta - \theta)} > 0 \quad (15)$$

也即:

$$\frac{1}{(\tan \gamma - 2 \times \tan \alpha) \times \tan \gamma} > 0 \quad (16)$$

其中: $\gamma = \beta - \theta$, γ 为机器人方向角与期望射门方向夹角。

$\tan \alpha = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2}$, α 为机器人与足球位置点反向延长线与期望射门方向夹角。

2.3 路径跟踪与动态路径规划

由于机器人机械性能、场地环境的影响,且由于系统本身就是一个动态比赛环境,期望射门角度随着足球位置变化而不同,因此根据机器人及足球的动态位姿进行实时路径规划非常必要。动态路径规划根据当前时刻机器人位姿,以及足球位置、期望射门角度,计算出当前时刻机器人所需要的路径曲率半径 R ,从而调整机器人的轮速。在下一时刻,更新机器人位姿、方向角、足球位置和射门角,计算新的路径曲率半径,调整轮速。直至判断期望射门角与机器人运动方向一致,机器人运动到足球位置点,完成击球射门动作。程序流程如图4所示。

3 实验验证

3.1 仿真实验

本文通过仿真平台对算法进行实验。机器人初始坐标为(66.79353,101.233162),方向角为96.226601°。足球坐标(199.1726,123.348614),对方球门中点坐标(237.30331,106.187494)。足球与对方球门连线方向为期望射门方向。速度系数为 $v_0 = 80$ 。记录机器人运动坐标,以及机器人射门击球后的足球位置坐标。通过Matlab分别对机器人坐标及足球坐标进行曲线拟合(如图5(a)所示)。图5为机器人初

始位置在期望射门方向下方时仿真结果。

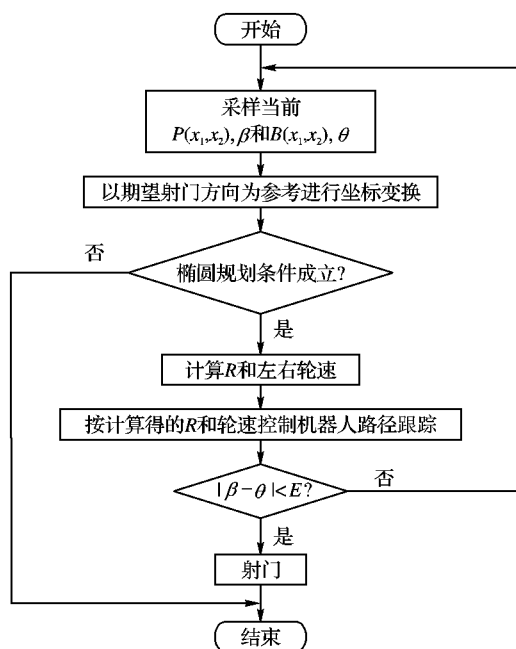


图 4 动态椭圆曲线射门算法流程

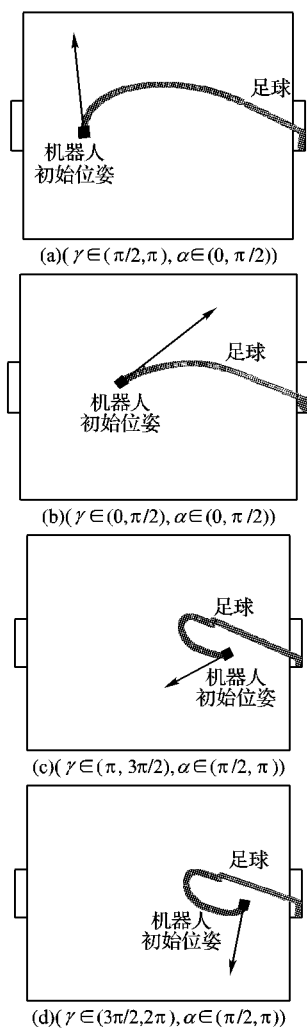


图 5 椭圆曲线弧射门仿真实验结果

3.2 实物实验

本算法在 FIRA 5vs5 半自主轮式机器人平台上进行实验。其中对方球门中点坐标 $(0, 90)$, 速度系数 $v_0 = 40$ 。通过摄像头记录机器人图像, 图像采集帧数 50 fps, 采集间隔为 5

帧。算法路径如图 6 所示。由实验可以看出机器人按照平滑路径运动, 且在击球时已调整好机器人方向, 向对方球门中点方向击球。

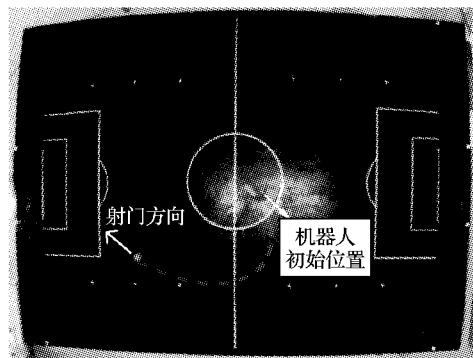


图 6 机器人按照椭圆曲线弧射门示意图

4 结语

本文提出了基于动态椭圆曲线的足球机器人射门路径规划算法。该算法充分考虑了机器人的当前状态, 并能保证到达目标点的速度和方向。当机器人运动角度与期望射门角度一致时, 机器人最后击球完成射门。椭圆曲线射门路径规划方法简单, 射门路径较短, 从而减少了运动时间。文中给出了椭圆曲线弧射门算法适用的条件, 实现射门算法路径规划的优化。

参考文献:

- [1] JOLLY K G, KUMAR R S, KUMAR R V. A Bezier curve based path planning in a multi-Agent robot soccer system without violating the acceleration limit [J]. Robotics and Autonomous Systems, 2009, 57(1): 23-33.
- [2] 郭路生, 杨林权, 吕维先. 基于 Bezier 曲线的机器人足球射门算法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2005, 37(7): 921-923.
- [3] 臧军旗, 赵臣, 崔炜, 等. 基于区域和切圆弧的足球机器人射门动作研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2005, 37(7): 950-952.
- [4] 王月海, 董天祯, 洪炳熔. 基于动态基准圆的机器人足球射门算法研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2005, 37(7): 953-955.
- [5] 柳在鑫, 王进戈, 朱维兵. 足球机器人的双圆弧射门算法研究[J]. 西安交通大学学报, 2007, 41(11): 1326-1329.
- [6] HWANG Y K, AHUJA N. A potential field approach to path planning [J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 1992, 8(1): 23-32.
- [7] BENAMATI L, COSMA C, FIORINI P. Path planning using flat potential field approach[C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation. Washington, DC: IEEE Press, 2005: 103-108.
- [8] 韩学东, 洪炳熔, 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): 1064-1067.
- [9] YANG S X, MENG M. An efficient neural network method for real-time motion planning with safety consideration [J]. Robotics and Autonomous Systems, 2000, 32(2/3): 115-128.
- [10] SUGIHARA K, SMITH J. Genetic algorithm for adaptive motion planning of an autonomous mobile robot [C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation. Monterey, CA: IEEE Press, 1997: 138-143.
- [11] AL-KHATIB M, SAADE J J. An efficient data-driven fuzzy approach to the motion planning problem of a mobile robot [J]. Fuzzy Sets and Systems, 2003, 134(1): 65-82.