

基于仿人智能控制的足球机器人圆弧射门算法^{*}

肖 斌, 李祖枢, 薛方正, 曹长修

(重庆大学智能化研究所, 重庆 400044)

摘 要:提出了基于仿人智能控制的足球机器人圆弧射门算法。通过路径规划保证了射门动作的准确性并在小车的运动学方程的基础上用仿人智能控制实现对机器人的运动控制,使机器人在速度较高时也能较好地跟随规划路径,设计了并编程实现了基于本文算法的足球机器人运动控制器,进行了实际系统实验,证明了其有效性。

关键词:足球机器人; 底层动作; 射门; 圆弧; 仿人智能控制

中图分类号: TP242 文献标志码: A 文章编号: 1003-7241(2006)10-0001-04

Algorithm of Shooting in arc Path based on HSIC

XIAO Bin, LI Zu-shu, XUE Fang-zheng, CAO Chang-xiu

(Institute of Intelligent Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: An algorithm of shooting in arc path based on HSIC (Human-Simulated Intelligent Control) is presented. The accuracy is ensured by path planning based on the kinematics model of robot. The robot can follow the planned path well even at a high speed. A controller based on this algorithm has been designed and realized by programming. The algorithm is proved in the real system.

Key words: soccer robot; basic motion; shoot; arc; Human-Simulated Intelligent Control

1 引言

经过多年的发展,作为人工智能,多智能体(Multi-agent System)研究平台的足球机器人的智能化程度和控制的快速准确性都在不断提高,多个机器人之间的协同,配合越来越多。而要实现多个机器人之间的配合就会要求底层动作有足够高的准确性。尤其是射门动作的准确性往往是决定一个球队强弱的关键因数之一。2004年在韩国举行的FIRA世界杯上更是体现了射门动作的准确和快速的重要性。准确、快速的射门动作已成为一个强队的标志。

目前国内在射门动作方面比较薄弱,除了东北大学一支独秀,其他队伍的射门动作在准确性上都还不高。现有的射门算法(如文献[1]中的射门算法)一般都存在可调参数太少等问题,对路径的规划力度不够,对控制问题的研究也较少。

本文提出了一种通过设定3个可调参数能有效地规划射门路径的射门算法,并讨论了该算法的控制问题,采用仿人智能控制

有效地降低了足球机器人运动控制中因控制延时带来的超调。

2 足球机器人射门问题

足球机器人的射门过程就是一个根据球的位置不断调整机器人位置和角度的过程。经过多年的发展到现在射门动作根据足球机器人能不能带球可以分为两种:击球射门和带球射门。前者是机器人高速冲向小球通过碰撞使小球向球门运动,而后者,机器人在接近球时减速,通过持球机构控制球后再加速将球带向对方球门,在带球射门过程中可以做出一定程度的角度调整。本文认为足球机器人要形成射门,机器人的位置和角度必须满足一定的条件,如图1所示:

其中B为球的位置,R为足球机器人,G为选择的球门线上进球点,A是BG延长线上的一点。

对于击球射门,当有射门角度时机器人的位姿需满足3个条件:

1. 足球机器人在球后。
2. 足球机器人在BG延长线上。
3. 足球机器人的角度和射线BG角度相同或差 π 。

当足球机器人在位置1时不满足射门条件,而在位置2时满

^{*} 基金项目:国家自然科学基金(60274022),重庆大学研究生创新基金(200504Y1A00500111)

收稿日期:2005-12-08

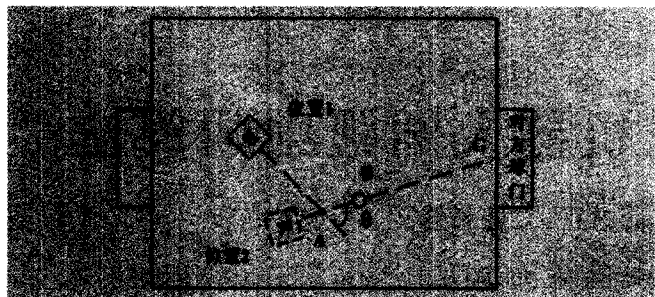


图1 足球机器人射门示意图

足上满足3个条件。

对于带球射门需满足机器人在球后, 控制住球, 机器人的角度(或机器人角度 + π)与射线BG角度的偏差在带球动作可调整范围内。

这两种射门方式的共同之处, 都需要先调整机器人的位置和角度, 本文所提出的射门算法对这两种射门方式都适合。

3 圆弧射门算法

3.1 圆弧射门算法的基本思想

我们以击球射门为例来说明(因为击球射门只要在接近球时减速控制住球就可改为带球射门)。

如图1所示, 我们假定A点为射门点, 那么足球机器人需要把自己到定点的距离dist和图中所示的角度偏差 θ 都调整到0。如果采取先跑到定点A再转角的方式, 因为到定点的精度控制, 和转角控制会使整个过程耗时较长, 而且如果机器人在球和对方球门之间还容易造成乌龙球。所以一般都不采取这种射门方法。现在采用较多的是中分线射门和东大早期版本中的期望角控制。这两种算法都是对距离和角度同时调整。

本文提出的圆弧射门算法的基本思想是先规划出机器人射门的路径, 然后让机器人跟随路径完成射门, 可以充分保证射门动作的准确性。

圆弧射门算法的思想如图2所示, 可分为以下几步:

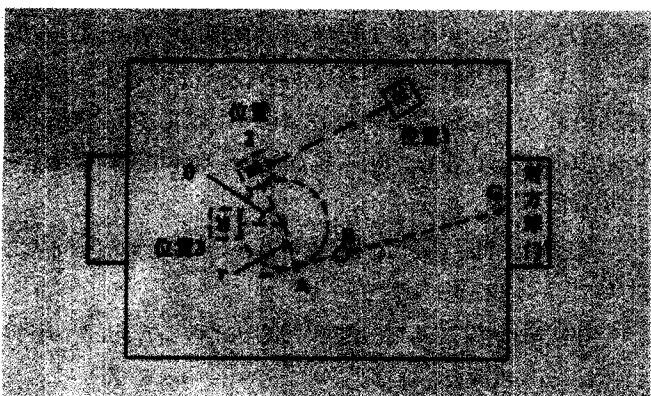


图2 圆弧射门原理图

1. 算出球点和球门线上一点的连线, 即图中的直线BG, 然后根据可调参数dist得出射门点A。

2. 根据可调参数r计算出圆心点C, CA垂直与BG。

3. 当机器人离圆心较远时, 算出过机器人这点的一条直线与圆的切点, 作为机器人运动的目标点。

4. 当机器人离圆心较近时计算出圆心指向机器人的射线, 然后将这条射线顺时针(逆时针)转动一个角度(θ)得到一条新的射线, 并计算出这条射线与圆的交点, 作为机器人运动的目标点。

5. 复第4步, 完成射门动作。

根据上面的步骤, 通过调整参数dist, r, θ 可以很好地规划出机器人的射门路径, 得到较优的射门曲线。

如图2所示, 当机器人在位置1时, 根据第3步算出目标位置, 即位置2。当机器人到达位置2时根据第4步算出目标位置, 即位置3。然后重复第4步。

3.2 控制算法即跑点函数的设计

机器人的射门路径是一条由点连成的曲线, 所以圆弧射门算法中跑点函数的设计非常关键, 其中主要是机器人跑圆弧的控制问题。机器人转圆示意图见图3。

图中P点为机器人运动的目标点。当机器人位于圆弧上时, 应控制机器人的方向为圆的切线方向, r, θ 给定时, α 为定值, 即控制偏差角 α 为定值。当要使机器人沿圆运动到P点即让机器人做半径为r的圆周运动, 在给定速度V的情况下可根据机器人的运动模型算出左右轮速差。

$$\omega = \frac{V_R}{R+L} = \frac{V_L}{R} \quad (1)$$

由式1可以得出:

$$\frac{V_R - V_L}{L} = \frac{V_R + V_L}{2R+L} = \frac{2V}{2R+L} \quad (2)$$

$$V_R - V_L = \frac{2V * L}{2R+L} \quad (3)$$

令 $V_R - V_L = \text{speed_e}$ 得:

$$\text{speed_e} = \frac{2V * L}{2R+L} \quad (4)$$

上式中 ω 为机器人转圆的角速度, V为线速度, V_L , V_R 分别是左右轮速。计算出speed_e可作为控制器设计和参数整定的依据。

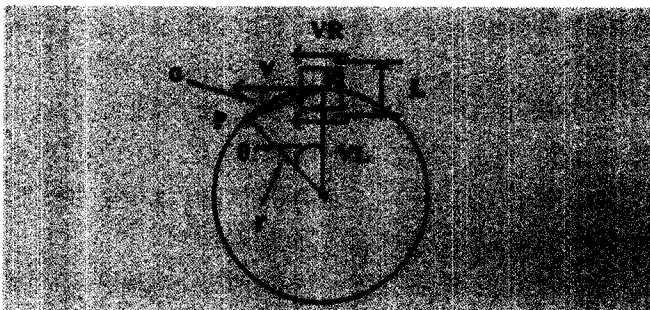


图3 机器人转圆示意图

通过多次实验发现当机器人速度较快时, 因为控制时延问题, 小车容易进入到圆弧内, 丢失有利位置后, 再要调整回到圆上比较困难。所以对小车的控制要求超调较小, 因此我们采用了

对超调控制较好的仿人智能控制算法。

仿人智能控制根据偏差 e , 偏差的导数 \dot{e} 及 $k = \left| \frac{\dot{e}}{e} \right|$ 将控制分为多个模式。运行控制级的设计:

(1) 当偏差很大时对应区域①采用尽可能大的控制作用, 尽快地减小误差。

(2) 在偏差及偏差变化率均很小(已满足要求)时, 对应区域⑥, 采用保持模式控制。

(3) 在偏差减小过程中, 若偏差变化速度低于或等于预定的速度时, 对应区域②, 采用比例模式控制。

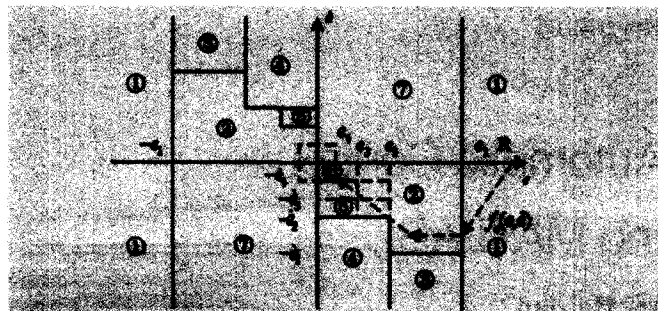


图4 运行控制级的特征模型

(4) 在偏差减小过程中, 若偏差变化速度大于预定的速度时, 对应区域③及区域⑤, 在比例模式的基础上, 引入微分模式, 形成比例加微分的控制模式。

(5) 在偏差减小过程中引入微分模式仍不能使偏差变化速度减小为预定的速度范围时, 对应区域④, 引入正反馈抑制偏差变化速度。

(6) 在偏差增大的过程中, 对应区域⑦, 为了抑制偏差的增大, 使偏差尽快回头, 采用比例模式加微分模式的控制模式。

$$u_n = \begin{cases} \text{sgn}(e_n) \cdot U_{\max}, & |e_n| > e_1 \\ K_p \cdot e_n, & e_n \cdot \dot{e}_n < 0 \cap k \leq k_g \\ K_p \cdot e_n + K_d \cdot \dot{e}_n, & e_n \cdot \dot{e}_n < 0 \cap k > k_g \\ u_{n-1}, & e_n \cdot \dot{e}_n < 0 \cap |e_n| < e_4 \cap |\dot{e}_n| < \dot{e}_4 \\ & e_n \cdot \dot{e}_n > 0 \end{cases} \quad (5)$$

式中: u_n 为控制器第 n 次输出, u_{n-1} 为控制器上一周期的输出, U_{\max} 为控制器的最大输出, K_g 为 $k = \left| \frac{\dot{e}}{e} \right|$ 的给定阈值, e_4, \dot{e}_4 为偏差和偏差导数的阈值。

如图3所示当足球机器人转弯时应保持机器人与目标点的角度偏差 α 在一个固定值附近, 当 α 减少机器人进入圆弧内时不便于调整姿态。利用仿人智能控制将控制划分为多个模式, 当 α 减小过快时引入微分模式, 降低 α 的减小速度, 而保持模式可以让 α 保持在我们的期望值附近。

实验证明通过引入保持模式和设置适当的 k 值可以很好地控制超调量, 避免机器人失去有利的射门位置。动态地设置 R 也可以得到较好的效果。

4 实验结果及分析

本实验的实验数据来自FIRA小型机器人3对3实际比赛平台, 通过实验取得的数据经MATLAB绘出曲线如图5, 图6所示, 其中X轴为3对3场地X坐标, Y轴为场地Y坐标, 红点为圆弧算法规划出的机器人运动轨迹, 绿点为机器人实际运动轨迹。

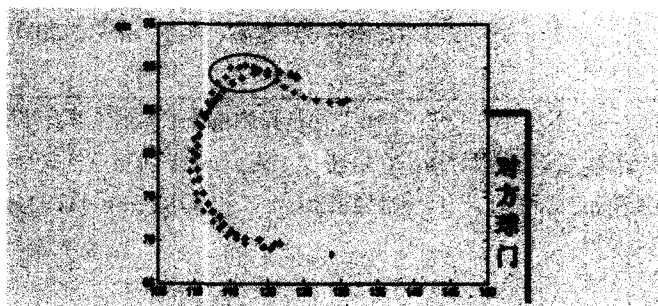


图5 机器人进入圆内的调整曲线

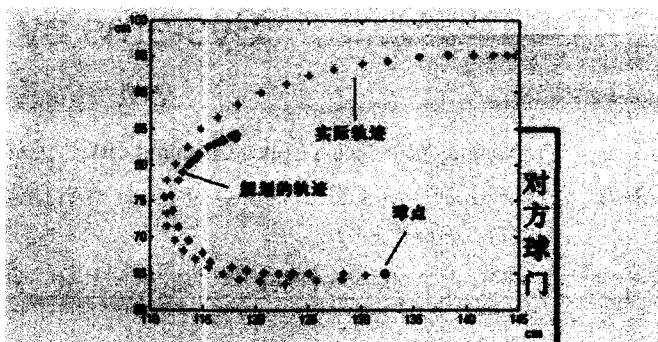


图6 采用HSIC后机器人射门曲线

为了说明足球机器人进入到圆内后再调整位置比较困难, 我们给出了图5, 足球机器人进入到圆内后再调整回到圆上的轨迹曲线。当未采用HSIC时为了使超调尽量减少(图中红圈部分)只能通过降低机器人速度的办法, 当再增大速度时很容易出现机器人不可控的情况。图6为采用HSIC后尽量避免出现机器人进入圆内的情况的射门轨迹。当机器人快速接近圆弧, 在偏差 e 减小到一定程度后引入微分环节的使得机器人靠近圆弧的速度降低即降低, 从而避免了机器人进入到圆内。比较图5和图6可以看出图6中机器人的速度明显比图5中高, (图5只画出了部分轨迹, 但机器人用了45个控制周期来完成这个动作, 而图6中的整个轨迹只用了35个控制周期, 一个控制周期33ms)但采用仿人智能控制算法后仍然能够很好地跟随规划轨迹。

从图5和图6都可以看出圆弧射门算法的有效性, 而采用HSIC算法后可以得到更高的控制品质。

5 结束语

本文提出的圆弧射门算法通过实验证明了可行性。通过对参数 dist , r , θ 的设置可以很好地实现射门路径的规划。使用该射门算法, 重庆大学巴将军队在2006新科导航杯全国机器人大赛

(下转第10页)

器(四十四阶)。

图6是分别加入 μ 控制器和 H_∞ 控制器形成闭环后,外扰 η 到传感器输出Y的传递函数幅频响应图。显然控制前外扰噪声 η 到Y的传递函数是“1”。图中可见,在固有频率发生摄动的情况下,用 μ 控制器,仅在个别频段(1075rad/s、1760rad/s)附近,噪声升高,传递函数幅值大于1,其它频段上外扰 η 能得到了较好的抑制;而用 H_∞ 控制器在许多频段上效果不理想(双点划线),噪声升高,传递函数幅值大于1。可以认为受固有频率摄动影响, H_∞ 控制器在许多频段上没有达到期望的控制指标,而 μ 控制器仅在个别频段控制效果不佳,在其它频段上依然具有良好的控制效果。

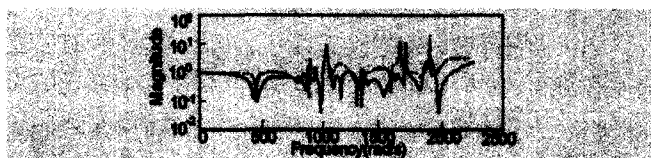


图6 双点划线—采用 H_∞ 控制器后,外扰 ω 到Y的传递函数幅频响应

实线—采用 μ 控制器后,外扰 ω 到Y的传递函数幅频响应

5 小结

结构奇异值 μ 理论已经在振动主动控制(AVC)中得到应用,但在结构—声耦合系统中的应用很少见到。本文应用结构奇异值理论,建立了结构—声系统鲁棒主动控制模型,提出了设计鲁棒 μ 控制器的方法,兼顾了系统的稳定鲁棒性和性能鲁棒性,

(上接第3页)

中取得了FIRA小型机器人3对3亚军的好成绩。

但是该射门算法在机器人速度较高的时候射门精度就会降低,所以找到速度和精度的结合点非常重要。在动态情况下,怎样选取dist, r是另一个需要考虑的问题。

参考文献:

- [1] 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):1064-1066.
- [2] 李建伟,洪炳熔,杨艳.Algorithm on robot soccer pass

克服了 H_∞ 控制的鲁棒性能准则问题。封闭空间结构—声耦合系统控制仿真表明,在模型的固有频率摄动情况下,控制器比 H_∞ 控制器具有更好的稳定鲁棒性和性能鲁棒性。但也必须看到,在相同加权函数条件下, μ 控制器阶数(五十四阶)要比 H_∞ 控制器阶数(四十四阶)要高得多,实现起来将比 H_∞ 控制器困难,对硬件要求也将更高。

参考文献:

- [1] M.R.BAI, HSINHONG LIN. Plant uncertainty analysis in a duct active noise control problem by using the theory [J]. Journal of the Acoustics Society of American, 1998,104(1):237-247.
- [2] M.r.BAI, Z.LIN. Active Noise Cancellation for a Three-Dimensional Enclosure by Using Multiple-Channel Adaptive Control and control. Transaction of the ASME[J], Journal of Vibration and Acoustics, 1998, 120, 958-964.
- [3] 李普,孙庆鸿,陈南.结构振动声辐射的控制实验研究[J],声学学报, 2000,25(5):472-475
- [4] 李普,陈南,孙庆鸿.封闭空间有源弹性壁振动声辐射的鲁棒控制研究[J],应用力学学报,2001,18(2):48-52.
- [5] DOYLE J C,GLOVER K. State-Space solution to standard and control problems[C]. In:ACC' 88.Atlanta,1988: 817-823.
- [6] 冯纯伯,田玉平,等.鲁棒控制系统设计[M].南京:东南大学出版社,1995.

作者简介:丁学恭(1965-),男,副教授,浙江大学自动控制理论及应用工学硕士,主要从事自动控制理论及应用、计算机控制技术等研究。

and shoot a ball[J], Journal of Harbin Institute of Technology (New Series), 2001,8(3).

- [3] 李祖枢,涂亚庆.仿人智能控制[M].北京:国防工业出版社,2003.
- [4] 雷李,李祖枢,王牛.哈尔滨工业大学学报,2004,36(7).
- [5] 宁春林,田国会,尹建芹,路飞,李晓磊.机器人足球比赛及其发展[J],山东大学学报,2002,32(5).

作者简介:肖斌(1981-),男,重庆人,硕士研究生,研究方向:控制理论与控制工程。

新栏目“争鸣园地”征稿启事

为活跃学术气氛,进行学术交流,本刊将适时提供一个百家争鸣的平台(栏目),供广大读者、作者将个人在自动化领域中某些理论、技术及应用,“异想天开”地提出各种看法,想法、用法,以启发大家共同参与、发表意见,一吐为快。

希望借助本刊这个平台,使我们的交流更生动、更活泼,以达到百花齐放、百家争鸣的目的。