

文章编号:1001-9081(2007)12-2913-03

基于最优搜索的足球机器人射门算法

蒲 勇^{1,2}, 周兴社^{1,2}, 王宇英^{1,2}

(1. 西北工业大学 计算机学院, 西安 710072; 2. 陕西省嵌入式系统技术重点实验室, 西安 710072)
(wolkly@gmail.com)

摘 要: 机器人足球比赛中, 小球的运动状态因受到碰撞和摩擦变化剧烈, 所以大多数情况下不存在全局意义上的最佳射门路径, 或者规划的路径机器人在给定的时间内根本无法完成。基于目标函数的足球机器人射门算法, 通过在机器人运动能力范围内的最优搜索, 能够找出当前状态下机器人按要求逼近球的最佳路径。该算法能够适应各种速度状态, 明显提高机器人射门命中率, 并迅速对小球状态突变做出响应。在比赛中, 常常需要根据场上态势对机器人进行控制算法切换, 但由于不同控制算法速度输出的跳跃性, 机器人会出现相对球位置的抖动。针对以距离作为切换条件的情况下, 不同控制算法切换时产生的“抖动”现象, 分析了现象产生的原因, 并通过 S-曲线加权算法, 有效避免了“抖动”的产生, 实现了不同控制算法在切换边界的平滑过渡。

关键词: 机器人足球; 射门控制; 最优搜索; 抖动; S-曲线

中图分类号: TP24; TP242.6 **文献标志码:** A

Shooting algorithm based on optimal search in robot soccer

PU Yong^{1,2}, ZHOU Xing-she^{1,2}, WANG Yu-ying^{1,2}

(1. School of Computer, Northwestern Polytechnical University, Xi'an Shaanxi 710072, China;
2. Shaanxi Provincial Key Laboratory of Embedded System, Xi'an Shaanxi 710072, China)

Abstract: In the robot soccer competition, the ball's moving status is always changing and fluky because of the shoving and friction. In most cases, it is very difficult to find a global optimal shooting path, or the planning path can not be achieved by the robot in time. The new shooting method based on object function could find out the optimal path in current moving status, which ensures the robot to approach the ball according to the given angle, through an optimal search in the area that the robot can reach. This algorithm can fit to various speed statuses, improve the success rate of shoot, and react to the sudden changing of the ball's moving status. In all competitions, it is common to make a switch between different control algorithms, but the robot is likely to fall across an oscillation relative to the ball's situation due to the deferent velocity jump from the different control algorithms. According to the method which used the distance as a judge condition for algorithm switching, the dithering phenomenon by reason of different control algorithms was deep analyzed, and avoided by using a S-curve weighted algorithm, and the smooth-switch between different control algorithms on the switch borderline was realized.

Key words: robot soccer; shooting control; optimal search; dithering; S-curve

0 引言

机器人足球比赛中, 机器人射门能力的强弱是球队能否赢得比赛的关键。但要实现对机器人射门动作的精确控制却非常困难, 尤其是在实物机器人系统中, 受机器人小车机械特性、运动特性及视觉误差的影响, 精确控制难度会更大。目前常用的射门控制算法有直线射门算法、动态基准圆门算法、基于圆弧的射门算法以及基于向量场的射门算法和基于遗传模糊算法的射门方法等, 这些算法或基于这些算法的改进理论上都能实现准确射门, 但在实际动态比赛环境中, 应用效果并不是太理想。现在的机器人足球比赛, 速度越来越快, 对抗越来越强, 对机器人射门动作的控制要求也越来越高。

经过研究和反复实践, 本文提出一种基于目标函数的实时最优搜索射门控制算法。通过巧妙的选择目标函数, 使机

器人不断根据当前球的运动状态进行运动路径的实时最优搜索, 从而迅速调整并以准确的角度触球。合理的路径和快速的调整时间使得机器人射门成功率能获得显著提高。

1 算法运动控制模型

在足球机器人系统中, 足球机器人并不是理想运动质点, 它在单位时间内的运动速度和转角都受到了本身物理特性的限制, 因此, 给出的运动模型需要是在机器人运动能力范围内的, 否则, 给出的规划路径可能根本无法在规定的时间内实现。同时, 球的运动状态是不规律的, 会受到场上机器人或球边缘的碰撞而剧烈变化, 所以无法准确预知若干时间后小球的运动状态, 所以在大多数情况下都不存在全局最优的射门路径。即使小球能够有一段相对较长的自由运动时间, 受机器人运动状态的不可预测性和响应能力的影响, 也可能导

收稿日期: 2007-06-18; 修回日期: 2007-09-10。

作者简介: 蒲勇(1981-), 男, 四川通江人, 硕士研究生, 主要研究方向: 嵌入式系统; 周兴社(1955-), 男, 陕西蒲城人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 分布式系统、嵌入式系统、传感器网络; 王宇英(1978-), 女, 陕西杨凌人, 助教, 博士, 主要研究方向: 嵌入式系统、系统模型验证。

致机器人无法在给定时间内完成规定动作。而作为一个对抗激烈的强实时系统,还要求控制算法复杂度不能太高,不能进行大量的迭代运算,同时还需要能够迅速响应场上球速变化。因此,算法的关键就是在机器人运动能力范围内,找到一个非迭代且适应于各种比赛状态和速度的实时最优路径,且算法还需要对场上态势保持一定的鲁棒性,能够较好地控制机器人完成射门动作。

1.1 算法思想

本文的主要思路是控制机器人实时地以当前最优路径运动。图1为机器人运动射门的典型场景,其中, B 为球的当前位置, P 为球下一拍所处的预测位置, G 为射门目标点, R 为机器人当前位置, S 为机器人一拍的运动范围, N 为 S 中有待寻优确定的下一拍机器人应当所处位置。对于机器人而言,其总体控制目标是使得机器人将球踢向目标点 G ,根据碰撞规律、点 G 位置及机器人和球的运动状态可以计算得到机器人触球时与球的连线应达到角度,该连线与球门线交于点 C ,机器人最终触球时与球连线需达到 \overrightarrow{PC} 方向。所以在整个运动过程中,机器人的运动有两个特征:不断接近球的预测位置 p ;机器人位置与球连线方向不断接近 \overrightarrow{PC} 。因此控制机器人运动射门的过程实际就是控制机器人与预测球距离 d 以及 \overrightarrow{NP} 与 \overrightarrow{PC} 夹角绝对值 α 不断减小到0的过程。这是一个双目标控制,需要在机器人的运动过程中找到当前状态下向球逼近的位移和转角的最优值。由于机器人单拍的运动规律可以测定得到,机器人在单拍的运动范围也可以确定,因此只要在机器人的运动范围内进行搜索寻优,即可找到当前状态下的最优运动路径,关键问题是如何建立兼顾两个控制目标的优化目标函数,鉴于两个控制量类型不同,选用乘积项比较合理,再通过适当的数学手段调节 d 与 α 所占比重,从而就可以得到合适的目标函数。

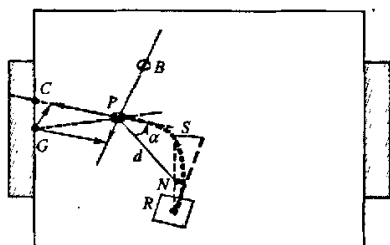


图1 运动控制算法场景

在机器人的每一拍运动中,通过对机器人运动范围 S 的搜索,必然可以找到使目标函数取最优值的点,即机器人预测运动位置 N 。根据机器人控制特点可知,对机器人的控制是通过设定左右轮速实现的,在搜索中找出 N 点坐标后,结合当前位置状态,根据机器人运动规律即可计算出应设定的轮速。

由于算法是只根据当前状态来搜索最优路径,因此该算法对于球的不同速度状态都有较好的适应性。当球在静态时, P 与 B 始终重合,机器人实际上就是不断逼近 B 并调整到 B 的角度使 $\angle \overrightarrow{NP}$ 接近 $\angle \overrightarrow{BC}$,算法同样适用;当球处在自由运动状态或是被机器人小车推着受力运动状态时,由于算法对球的历史运动状态没有太大依赖,同样能够实时寻找出当前速度状态下的最优路径,快速做出调整,最终完成射门任务。

1.2 目标函数

根据前面的分析和描述,我们现在来建立目标函数。设 N

点坐标为 (x_n, y_n) , P 点坐标为 (x_p, y_p) , 两点之间距离为 d , \overrightarrow{NP} 与 \overrightarrow{PC} 方向间夹角绝对值为 α , 为了方便调节两个控制量在目标函数中所占的权重,同时考虑到一拍中机器人转角数值较小,但调节要求较高,分别给 d 增加幂系数 k ,将 α 作为指数函数 e^α 的幂次,目标函数为 ϕ ,则该函数搜索范围内取最小值时即为最优值。

$$\phi = d^k \cdot e^\alpha = \sqrt{(x_n - x_p)^2 + (y_n - y_p)^2}^k \cdot \exp(|\angle \overrightarrow{NP} - \angle \overrightarrow{PC}|) \quad (1)$$

在算法中, N 点的坐标理论上无穷多个,虽然可以通过机器人和球的位置信息直接排除掉很多,但计算量仍然比较大,因此还需要采取一定的方法来减少运算量。由于机器人一拍内的转角和位移可以测定出来且都比较小,因此可以将其运动范围看作是以 R 点为圆心的一段圆弧,然后通过一定的阈值对 S 进行网格化,以计算网格的交叉点坐标来代替网格内所有点,从而减少运算。

1.3 算法流程

步骤1:根据球的当前位置和速度计算预测出球在下一拍的位置 (x_p, y_p) ;

步骤2:应用碰撞规律公式求出与射门目标点 G 对应的机器人理想撞球角度 $\angle \overrightarrow{PC}$;

步骤3:搜索机器人一拍所内到达的区域中的所有位置,并计算对应于每个位置的 d , α 和目标函数 ϕ 的值;

步骤4:查找使得目标函数 ϕ 最小的机器人下一拍的预测位置 (x_n, y_n) ;

步骤5:根据机器人运动规律公式,计算得到与预测位置 (x_n, y_n) 对应的轮速;

步骤6:输出并设定机器人轮速,返回步骤1;

2 抖动问题

在机器人射门运动中,从机器人开始射门到最终触球,可能会有有一段相当长时间的逼近球过程。在这个过程中,并不是整个阶段都适合使用最优搜索算法,小球的运动状态可能随时会发生变化,因此,在最开始的阶段,应该选择最简单有效的常规控制方法,让机器人以最快的方式接近球,当球和机器人距离到达一定范围后,再选择使用最优搜索算法。在实际应用中发现,当仅使用距离来进行控制算法切换时,机器人在切换边界会出现“抖动”,即在边界附近突然减速或停止,相对球的位置来回振荡,不仅无法完成预定动作,且很难脱离这种状态。在实物系统中甚至出现机器人小车车体剧烈震动,直接危害到小车的使用寿命。

2.1 抖动的产生

仔细分析“抖动”产生的机理我们不难发现,引起“抖动”的主要原因是机器人不停的来回切换控制算法。仅根据距离来进行算法切换时,由于控制要求不同,两种算法的控制输出往往差别较大,速度的切换出现了一种跳跃性。设边界距离为 C ,机器人与球的距离为 D ,当 $D \geq C$ 时,采用控制算法 F_1 ,速度输出为 v_1 ,当 $D < C$ 时,采用控制算法 F_2 ,速度输出为 v_2 ,因此就可能会出现这样的情况:机器人在 $D \geq C$ 的情况下受 F_1 控制,以 v_1 越过切换边界, $D < C$ 成立, F_2 控制小车,立即将速度变为 v_2 ,由于 v_2 与 v_1 相差较大,小车速度迅速降低,于是 $D \geq C$ 的情况再次成立,再次输出速度 v_1 ,然后 $D < C$ 的情况

又成立,速度又降为 v_2 ,如此循环,从而形成相对球位置的反复振荡,且很难自动脱离。

2.2 抖动避免算法

目前已经用到的“抖动”避免方法主要是建立缓冲区,这种方法是指在到达控制算法切换边界前一定距离时,先使用算法 F_2 进行输出预估,如果发现预估的速度与当前速度差异太大,则认为可能会出现“抖动”,然后在缓冲区范围内,通过

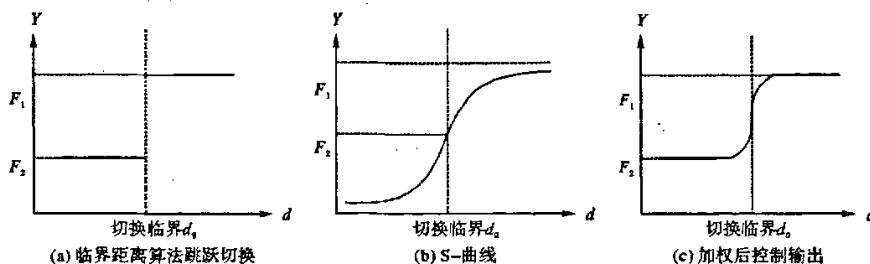


图2 抖动现象及抖动避免原理

问题产生的关键是因为在临界位置两种控制算法速度输出的跳跃性变化,如图2(a)所示,因此,需要对两种控制算法的输出进行平滑处理,实现算法间的流畅过渡。平滑常用的方法是应用曲线函数对两种控制输出加权,并使得它们能始终参与机器人的控制运动。经过研究,我们选择使用如图(b)所示“S-曲线”函数输出值来作为调节两种控制算法分别所占比例的加权系数,选择函数为:

$$Y = \arctan[k(d - d_0)]/\pi + 0.5 \quad (2)$$

其中, d 为机器人到球的距离, d_0 为算法切换临界值, k 为曲线上升处的斜率调整因子。随 x 变化的 Y 作为算法 F_2 的加权系数 α ,则 F_1 的加权系数为 $1 - \alpha$,两种算法加权后的输出和为 $F = F_1 \times (1 - \alpha) + F_2 \times \alpha$ 。

当 d 小于临界值 d_0 时,函数的值始终接近于0,该过程中算法 F_1 起主要作用,当 d 接近 d_0 时,函数值通过曲线迅速上升为1,从而使得控制算法平滑的由 F_1 切换为 F_2 。经过“S-曲线”加权后的函数图像如图(c)所示,通过加权平滑,两种控制算法在临界位置实现了平滑的过渡,机器人的速度输出也不会出现跳跃性变化,从而很好的避免了“抖动”。因加权函数曲线呈“S”形,故将该函数称为“S-曲线”函数。

2.3 实验结果对比

本文描述的算法分别在 FIRA SimuroSot 11vs11, SimuroSot 5vs5 及 MiroSot 系统上进行了实现和测试实验,并在 SimuroSot 11vs11 系统中与常用的直线射门,动态基准圆射门和圆弧射门进行了球在静态和动态环境下的射门对比实验。实验中,使用相同的对手策略和底层控制,对比实验时间为3 min。

表1 射门实验对比结果

射门算法	射门次数		命中次数		成功率/%	
	静态	动态	静态	动态	静态	动态
直线射门	171	105	119	11	69.5	10.5
圆弧射门	213	185	196	99	92.1	53.5
动态基准圆射门	252	242	241	151	95.6	62.4
最优搜索射门	275	306	273	269	98.5	87.9

对比实验结果表明,基于最优搜索的足球机器人射门算法在球静态和动态条件下,都能够显著提高射门命中率,尤其是动态射门效率要优于其他常用射门算法,另外,从相同时间

一定的速度衰减因子,对算法 F_1 的输出进行衰减处理,从而当机器人到达切换边界时,能减缓两种输出之间的跳跃,从而避免“抖动”。但是这种方法并没有从根本上消除“抖动”,只是通过缓冲区对“抖动”现象进行了缓解。同时,如何设定缓冲区距离,如何设定衰减因子和比较阈值,都是比较难以确定的问题,甚至还可能会因为缓冲区的范围设定而加剧“抖动”。

内机器人射门次数也可以看出,最优搜索射门算法的调整速度也是优于其他算法的。

3 结语

提出了基于最优搜索的机器人射门控制算法,和“S-曲线”函数加权避免“抖动”方法已被成功应用到我校机器人足球队仿真比赛项目和实物比赛项目中。由于该算法能够在机器人运动能力范围内实时搜索最优路径,以当前最优的方式运动,能较快地逼近球,且整个运动过程始终平滑流畅,并能有效克服视觉误差带来的影响,提高控制精度和击球命中率。同时,当球的运动状态发生突然改变时,算法也能在最多一拍的延迟后,迅速对变化做出响应,能够满足机器人足球比赛激烈对抗的需求。同时,将该算法进行适当的改造,还可用于机器人运动中的截球控制,具有良好的防守效果。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] WENG C-C, CHOU M-F, HWANG C-P, et al. A method for obstacle avoiding and shooting action of robot soccer [C]// Proceedings of International Conference on Robotic & Automation. [S. l.]: IEEE Press, 2001, 4: 3779-3782.
- [3] JUNG M-J, KIM H-S, SHIM H-S, et al. Fuzzy rule extraction for shooting action controller of soccer robot [C]// IEEE International Fuzzy Systems Conference Proceedings. [S. l.]: IEEE Press, 1999: 556-561.
- [4] LI T-H S, LIU R-C, LIN I-F. Fuzzy shooting control of car-like soccer robot [C]// Proceedings of IEEE Region 10 International Conference on Electrical and Electronic Technology. [S. l.]: IEEE Press, 2001, 1: 447-452.
- [5] 罗中先, 王强, 王进戈. 一种基于遗传模糊算法的足球机器人射门方法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2005, 37(7): 966-968.
- [6] HUANG P, YANG P, LIU Z J. Robot soccer path planning research based on predictive artificial potential field [C]// Proceedings of the 5th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA 2004). Hangzhou: [s. n.], 2004: 4964-4966.
- [7] 刘宏志. 一种改进的射门算法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2004, 36(7): 975-977.

作者: 蒲勇, 周兴社, 王宇英, [PU Yong](#), [ZHOU Xing-she](#), [WANG Yu-ying](#)
作者单位: [西北工业大学, 计算机学院, 西安, 710072](#); [陕西省嵌入式系统技术重点实验室, 西安, 710072](#)
刊名: [计算机应用](#) [ISTIC](#) [PKU](#)
英文刊名: [JOURNAL OF COMPUTER APPLICATIONS](#)
年, 卷(期): 2007, 27(12)
被引用次数: 2次

参考文献(7条)

1. [WENG C-C;CHOU M-F;HWANG C-P](#) A method for obstacle avoiding and shooting action of robot soccer 2001
2. 臧军旗;赵臣;崔炜 基于区域和切圆弧的足球机器人射门动作研究[期刊论文]-[哈尔滨工业大学学报](#) 2005(07)
3. 刘宏志 一种改进的射门算法[期刊论文]-[哈尔滨工业大学学报](#) 2004(07)
4. [HUANG P;YANG P;LIU Z J](#) Robot soccer path planning research based on predictive artificial potential field[会议论文] 2004
5. 罗中先;王强;王进戈 一种基于遗传模糊算法的足球机器人射门方法[期刊论文]-[哈尔滨工业大学学报](#) 2005(07)
6. [LI T-H S;LIU R-C;LIN I-F](#) Fuzzy shooting control of car-like soccer robot[外文会议] 2001
7. [JUNG M-J;KIM H-S;SHIM H-S](#) Fuzzy rule extraction for shooting action controller of soccer robot[外文会议] 1999

本文读者也读过(10条)

1. [魏晓烽](#). [孟国明](#). [WEI XIAOJIANG](#). [MENG GUOMING](#) 虚拟战场环境中雷达作用范围表现研究[期刊论文]-[微计算机信息](#)2008, 24(4)
2. [邓星桥](#). [王进戈](#). [朱维兵](#). [隆沅庭](#) 基于蚁群算法的足球机器人避障方法[期刊论文]-[西华大学学报\(自然科学版\)](#) 2007, 26(3)
3. [刘祚时](#). [唐榆淋](#). [胡晓明](#). [胡发焕](#). [LIU Zuo-shi](#). [TANG Yu-lin](#). [HU Xiao-ming](#). [HU Fa-huan](#) 微型足球机器人多层次分区和防守动作的设计[期刊论文]-[江西理工大学学报](#)2009, 30(2)
4. [刘雪飘](#) 机器人足球比赛中的动态路径规划研究与系统软件设计[学位论文]2006
5. [于博](#) 3D电视, 怎么“玩”才好?[期刊论文]-[中国电子商情·基础电子](#)2010(9)
6. [苏曼](#). [康风举](#). [谢攀](#). [SU Man](#). [KANG Feng-ju](#). [XIE Pan](#) 舰艇多目标威胁评估及可视化方法综合研究[期刊论文]-[科学技术与工程](#)2010, 10(8)
7. [方源](#). [黄鸿](#). [任雪梅](#). [FANG Yuan](#). [HUANG Hong](#). [REN Xue-mei](#) 基于遗传算法优化的足球机器人模糊避障研究[期刊论文]-[计算机仿真](#)2007, 24(1)
8. [郑盛福](#). [胡山立](#). [林超峰](#). [苏射雄](#) 基于BP算法和PSO算法的RoboCup截球策略[会议论文]-2007
9. [高艳](#). [范收平](#). [Gao Yan](#). [Fan Shou-ping](#) 基于最佳位置最佳速度的守门员决策算法[期刊论文]-[武汉冶金管理干部学院学报](#)2006, 16(3)
10. [夏红梅](#). [赵志军](#). [张欣景](#). [Xia Hongmei](#). [Zhao Zhijun](#). [Zhang Xingjing](#) 基于HLA的一体化战术训练仿真系统综合态势显示研究[期刊论文]-[舰船电子工程](#)2010, 30(8)

引证文献(2条)

1. [蔡国武](#). [刘祚时](#). [罗爱华](#) 基于最大角的足球机器人贪心射门算法[期刊论文]-[机械工程与自动化](#) 2009(2)
2. [刘祚时](#). [蔡国武](#) 基于最大角的足球机器人贪心射门算法[期刊论文]-[机器人技术与应用](#) 2008(5)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_jsjyy200712009.aspx