

doi: 10.7690/bgzdh.2014.02.029

一种基于中垂线路径规划的仿真机器鱼射门算法

赵国冬, 王顺礼, 马树朋, 吕焯鑫

(哈尔滨工程大学计算机科学与技术学院, 哈尔滨 150000)

摘要: 为提高仿真机器鱼在进攻过程中的射门效率和准确度, 减少水波和敌方对仿真鱼的干扰^[1], 设计一种基于仿真鱼的刚体中心点和仿真水球中心点连线的中垂线的射门路径最优路径规划算法^[2]。介绍中垂线路径规划最优射门算法, 分析算法用于射门存在的问题, 给出射门算法改进的基本思路, 提出算法的实现方法, 并以实例进行仿真及效果评价。该算法已成功应用于机器鱼水球比赛 1vs1、3vs3、水球斯诺克等中。实际应用结果表明: 该算法实现简洁巧妙, 进攻效率高而且抗干扰强, 能使机器鱼在最短的时间内寻找一条合适路径然后顶球射门^[3]。

关键词: 碰撞; 路径规划; 坐标; 目标点; 中垂线

中图分类号: TP242 **文献标志码:** A

Simulation Robotic Fish's Shooting Algorithm Based on Perpendicular Bisector Path Planning

Zhao Guodong, Wang Shunli, Ma Shupeng, LYU Yexin

(College of Computer Science & Technology, Harbin Engineering University, Harbin 150000, China)

Abstract: In order to increase the accuracy and efficiency of shooting during the attack of simulate robotic fishes, reduce the interference water wave and enemy to simulate robotic fishes, we designed a optimal path planning algorithm for shooting in vertical path based on the vertical of the center of simulate robotic fish's rigid body and the center of simulate water polo in this paper. The introduction of perpendicular path planning algorithm for optimal shooting, shot analysis algorithms for problems improved shooting algorithm gives the basic idea of the proposed algorithm implementation methods, and examples for simulation and evaluation were give in the paper. The algorithm has been successfully used the simulate robotic water polo competition of 1vs1, 3vs3 and snooker water polo. The practice result shows that the algorithm has a concise and ingenious design and high attack efficiency, which could enable robotic fishes find a optimal path and shot in a very short time.

Keywords: collision; path planning; coordinate; goal point; perpendicular bisector

0 引言

机器鱼仿真比赛是以智能仿生机器鱼为主体, 进行类似机器人足球仿真的对抗比赛^[4-5]。在机器鱼对抗比赛中, 机器鱼射门路径最优规划算法十分重要。为了保证射门的高效率和准确度, 机器鱼射门时需要选定一个最优的碰撞点。中垂线法是计算仿真鱼的刚体中心点和仿真水球中心点连线且与仿真水球和目标点连线的反向延长线交点的坐标, 然后向目标点行进的射门路径规划算法, 让机器鱼不断地去碰撞变化的目标碰撞点, 这样, 碰撞点任何时候都在与目标点的连线上, 从而使得仿真水球的运动方向一直朝向目标点, 达到了不走弯路, 减少了机器鱼找碰撞点的时间, 增加了进攻的次数和进球几率; 因此, 笔者针对机器鱼对抗中的射门路径规划, 利用中垂线法设计出了一种简洁明了而且效率很高的路径最优规划算法。

1 中垂线路径规划最优射门算法

1.1 算法简介

如图 1 所示, Fish₁、Fish₂、Fish₃ 代表机器鱼在

任意时刻的位置, Ball 表示当前球所在的位置, TargetPoint 表示球被射入球门的方向。算法的思路是, 首先做出球与目标方向 TargetPoint 的连线 L , 然后做其反向延长线, 接着对当前机器鱼的位置 1 (Fish₁) 做与球 Ball 的连线, 然后确定机器鱼与球连线的中垂线 L_1 垂足为 V_1 , L_1 与 L 相交于点 P_1 , 这时机器鱼朝着点 P_1 运动, 在运动过程中重复使用该算法, 即当机器鱼到达位置 2 (Fish₂) 时, 同样做机器鱼与球的连线的中垂线 L_2 垂足为 V_2 , L_2 与 L 的交点是 P_2 , 在这个过程中, 其实机器鱼就已经在朝着球运动, 再看状态 3 (Fish₃), 机器鱼与球连线的中垂线 L_3 与 L 相交于点 P_3 , 之后机器鱼同样朝着 P_3 运动, 这样, 在当机器鱼逐渐靠近球时, 机器鱼最终的运动方向正好是 L 所指的方向, 从而得到机器鱼对球的射门最优路径。

不管姿态朝向何方, 通过调用仿真水球和仿真鱼刚体的坐标, 利用空间坐标计算法求出垂足 V 的坐标, 再做垂线交于球与目标点连线的反向延长线的某一点, 然后利用两点间的坐标公式求出交点坐

收稿日期: 2013-09-31; 修回日期: 2013-11-07

基金项目: 中央高校基本科研业务 (HEUCF100606)

作者简介: 赵国冬(1979—), 男, 黑龙江人, 工学博士, 讲师, 从事嵌入式系统、机器人及人工智能等研究。

标, 给鱼一个改变姿态的加速度 (TCode) 和速度 (VCode) 使其向目标点方向运动。

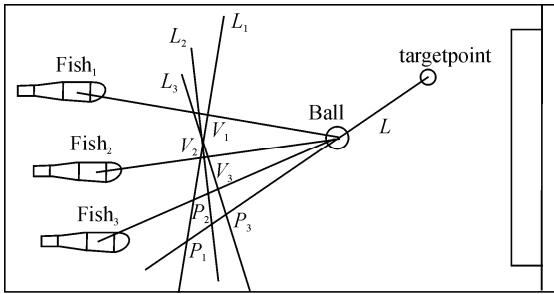


图 1 鱼在某一单边时射门路径算法规划

1.2 算法用于射门存在的问题

在决定射门时, 要求射门的机器鱼同时位于球与目标点的某边(左边或右边), 但是当机器鱼位于球与目标点的中间时, 如图 2, 此算法就不能很快实现求找目标点, 反而是在找中垂线与目标点和球连线的反向延长线的交点时浪费了大量的时间, 从而降低了射门效率。这样就需要先将机器鱼的位置状态调整到前面叙述的标准的中垂线射门状态, 即将机器鱼调整到同时位于球与目标点的某一边^[6]。

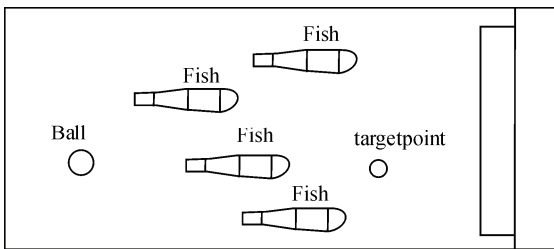


图 2 鱼在球与目标点中间时的状态

2 中垂线路径规划射门算法改进

2.1 算法的基本思路

当机器鱼位于球与目标点的某一单边时, 按照 1.1 节中的基本算法得出射门时的路径规划如图 1, 但是当机器鱼位于球与球门中间(如图 2)时, 使用下面的改进算法:

当机器鱼处于球与目标点中间时, 无论机器鱼的姿态如何(即图中 3 的任何一种情况), 任选 Fish₁ 和 Fish₂ 2 种进行分析。先做出通过球中心的竖直线 L₁, 然后做垂直于 L₁ 且如图所示通过鱼刚体中心点的直线 L₂ 和 L₃, 然后通过动态调用, 求出仿真水球的坐标, 再求出在这 2 种情况下鱼刚体中心点的坐标 P₃' 和 P₄', 然后通过中点坐标的求解法计算出 P₃、P₄ 的坐标。在 Fish₁ 和 Fish₂ 情况下, 鱼不可能向着这 2 个点运动, 因为鱼的姿态决定了其运动方向。

遇到这种情况时, 先给鱼一个角速度 (TCode)

和一个很小的速度 (VCode), 让鱼的姿态变成图 3 中 Fish₁ 所示。紧接着, 给鱼一个较大的速度 (VCode), 使其向刚体中心点的对称点运动。这样通过动态调用, 最终对称点会落在 L₁ 线上, 然后让鱼接着运动 40 mm (Fish₃ 和 Fish₄ 分别到达 P₁ 点或者 P₂ 点), 这样就变成了 1.1 节中的基本情况, 再一次使用 1.1 节中的算法来完成射门的路径规划。

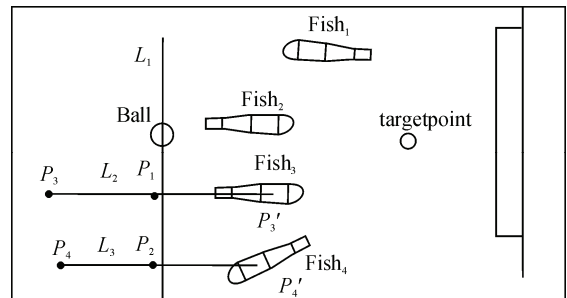


图 3 鱼在球与目标点时的中间路径规划图

当 P₃' 和 P₄' 在与 L₁ 垂直的直线上时, 先让鱼向下运动 40 mm。然后再用以上算法实现。

3 改进的中垂线路径规划射门算法实现

改进的中垂线路径规划射门算法^[7]的实现是通过调用相应系统坐标, 做垂线、中点坐标的求解法等来计算对称点, 然后计算鱼的姿态是否与对称点和刚体中心点连线的向量相差 180°, 若不是, 则通过系统给鱼一个角速度 (VCode), 再计算, 直到相差 180° 时, 给鱼一个速度 (TCode), 使其向对称点运动^[5]。

3.1 求线段的中垂线

通过系统平台调用, 如图 1 所示, 得出仿真水球中心点和鱼刚体中心点的坐标分别为 (x₁, z₁)、(x₂, z₂), 设鱼刚体中心点到仿真水球中心点线段的中点坐标为 (x₀, z₀), 中垂线的斜率为 k, 求线段中垂线的方法为:

$$x_0 = \frac{x_1 + x_2}{2} \tag{1}$$

$$z_0 = \frac{z_1 + z_2}{2} \tag{2}$$

$$k = \frac{x_1 - x_2}{z_2 - z_1} \tag{3}$$

由以上公式可得中垂线 (L₁、L₂ 或 L₃ 等) 的方程为:

$$z - z_0 = k(x - x_0) \tag{4}$$

即

$$z = \frac{x_1 - x_2}{z_2 - z_1} x - \frac{x_1^2 - x_2^2 + z_2^2 - z_1^2}{2(z_2 - z_1)} \tag{5}$$

接着根据设定的目标点坐标 (x_3, z_3) 和仿真水球中心点的坐标 (x_1, z_1) ，求出通过这2个点的直线方程。由已知两点的直线方程求解得到：

$$(x-x_1)/(x_2-x_1)=(y-y_1)/(y_2-y_1) \quad (6)$$

即

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1) + y_1 \quad (7)$$

把以上两点带入式(7)得出直线 L 的方程：

$$z = \frac{z_3 - z_1}{x_3 - x_1}(x - x_1) + z_1$$

由计算出的两直线方程，组成一个方程组，即可计算出两直线的交点坐标，即点 P_1 、 P_2 、 P_3 等。

3.2 求关于过球中心竖直线的对称点

如图3所示，设由系统动态计算得到球的中点坐标为 (x_0, z_0) ，过该点做竖直线 L_1 ，再设仿真鱼的刚体中心点(P_3' 或 P_4' 等)的坐标为 (x_1', z_1') ，过该点做垂直于 L_1 的直线(L_2 或 L_3 等)。利用以下中点坐标公式算出对称点(P_2 或者 P_3 等)的坐标。即求出坐标 (x_1, z_1)

$$x_0 = \frac{x_1 + x_2}{2} \quad (8)$$

$$y_0 = \frac{y_1 + y_2}{2} \quad (9)$$

把上述两点坐标带入式(7)、式(8)中解得：

$$x_1 = 2x_0 - x_1'$$

$$z_1 = 2z_0 - z_1'$$

按以上求解法进行动态计算对称点的坐标，直到对称点的坐标值 x_1 等于竖直线 L_1 的坐标值 x_0 时，停止计算，然后给鱼一个很小的速度，让鱼向前运动40 mm，再按照3.1节的计算方法，计算新的点坐标。一直动态进行，直到射门为止^[2]。

4 算法的仿真及效果评价

4.1 机器鱼处于球与目标点之间的仿真

如图3，这时，机器鱼就需要调整到球与目标点的同一侧，这样才能完成射门。

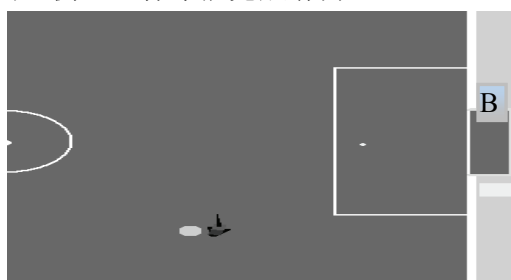


图4 鱼在球与目标点中间时的状态

如图4，这时机器鱼就是先向下移动40 mm，然后寻找到机器鱼对于垂直线的对称点，再找到距离对称点向左40 mm的地方，机器鱼就朝着这个方向移动。这样调整后可以达到图1中垂线的标准的射门状态，从而完成射门^[8]。

4.2 标准状态下的射门仿真

如图1，机器鱼达到可以利用中垂线射门的状态，然后根据半场，适当地调整姿态，按以下2种情况下的射门算法，进行射门。如图5所示，射门的策略方向如线 L_2 ，但此时机器鱼与球连线的方向是 L_1 ，这就需要找到机器鱼与球连线的中垂线与 L_2 的交点A，给机器鱼一个适当的角速度(TVode)使其姿态达到射门状态(将射门方向调整到 L_2)。

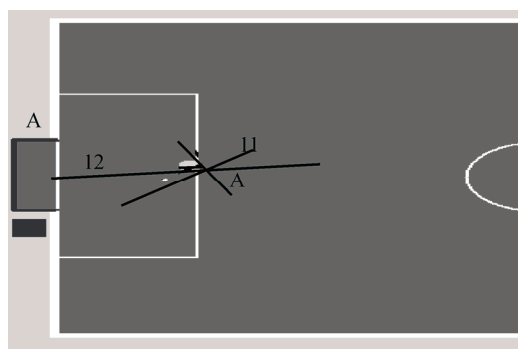


图5 标准状态下射门

照这样的方向运动，射门的下一个状态如图6，最终可完成射门。

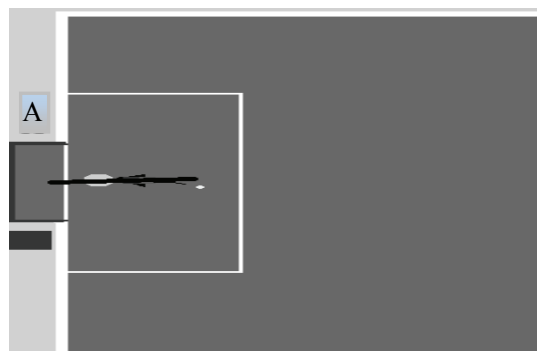


图6 最终射门状态

4.3 整个算法的仿真测评

仿真结果表明：改进的中垂线路径规划射门算法能简单、高效、准确地实现机器鱼的射门，且不易被断球。

其优点主要包括：

- 1) 能顺利完成2种情况下(鱼在球和目标点的同一边状态、鱼在球和目标点的中间状态)的射门。
- 2) 根据机器鱼竞赛中给定的半场方向确定射

门方向，可以较好地执行最后的射门。

3) 由于算法求中垂线、交点与对称点的效率比较高，从而使得机器鱼在仿真中的射门比较迅速，可防止出现在射门过程中被断球的情况。

4) 在计算过程中，由于坐标和直线的计算比较简单，即时间复杂度小，减少了很多的计算量，这样使得处理速度能够提高一些。

5) 利用该算法，当调整好姿态时，可以给鱼一个比较大的速度(VCode)，使其向前运动，顶偏的几率会很小。

该算法存在的缺点是：由于调整过程不够精细，可能会出现球被顶偏的情况，虽然可以调整过来，但使得射门时间延长，所以还需要通过调整精度来解决这种问题。

该算法不是最优路径规划算法，从而会增加鱼在找目标过程中的时间。

5 结束语

目前，该算法已经应用于机器鱼水球比赛中的抢球大作战、3vs3、水球斯诺克和带球接力等比赛

(上接第 92 页)

使用如下方式读取文件：

```
filesendcom = fopen("fpga_loader_ahex.hex","r");
fscanf(filesendcom,"%0x",&readbuf);
```

3.3 6713 硬件平台烧写软件

本平台外扩 FLASH 存储器芯片型号为 S29GL128M。一般 FLASH 写操作前需要先进行片擦除。具体时序如图 4 所示。

Auto-select	Manufacturer ID	4	AAA	AA	555	55	AAA	90	X00	01										
	Device ID (8)	6	AAA	AA	555	55	AAA	90	X02	XX7E	X1C	Data	X1E	Data						
	Sector Protect Verify (9)	4	AAA	AA	555	55	AAA	90	{SA}X04	Data										
Unlock Memory	Secure Device Verify (10)	4	AAA	AA	555	55	AAA	90	X06	Data										
	CFI Query (11)	1	AA	98																
	Program	4	AAA	AA	555	55	AAA	A0	PA	PD										
	Write to Buffer (12)	6	AAA	AA	555	55	AAA	80	SA	PA	PD	WBL	PD							
	Program Buffer to Flash	1	SA	29																
	Write to Buffer Abort/Reset (13)	3	AAA	AA	PA	55	555	F0												
	Entry	3	AAA	AA	555	55	AAA	20												
	Program (14)	2	XXX	A0	PA	PD														
	Sector Erase (14)	2	XXX	80	SA	30														
	Chip Erase (14)	2	XXX	80	SA	10														
Reset	2	XXX	90	XXX	00															
Chip Erase	6	AAA	AA	555	55	AAA	80	AAA	AA	555	55	AAA	10							
Sector Erase	6	AAA	AA	555	55	AAA	80	AAA	AA	555	55	SA	30							
Erase/Program Suspend (15)	1	XXX	B0																	
Erase/Program Resume (16)	1	XXX	30																	
Secured Sector	Entry	3	AAA	AA	555	55	AAA	88												
	Program (17)	4	AAA	AA	555	55	AAA	A0	PA	PD										
	Read (17)	1	00	Data																
	Exit (17)	4	AAA	AA	555	55	AAA	90	XXX	00										

图 4 S29GL128M 时序图

6713 硬件平台收到烧写命令后，首先对 FLASH 进行擦除操作，完成擦除操作后将接收的数据写入到 FLASH 相对应的地址段，整个烧写过程完成。

项目，具有简单、高效的特点。下一阶段，笔者将把该算法应用于躲避障碍和传球等方面。

参考文献：

[1] 黎章. 多水下机器人协作控制[D]. 北京：北京大学, 2008: 1-10.

[2] 柳在鑫, 王进戈, 朱维兵. 足球机器人的双圆弧射门算法[J]. 西安交通大学学报, 2007, 41(11): 1326-1329.

[3] 谢超平, 孔峰, 陶金. 基于模糊控制的仿生机器鱼转向控制研究[J]. 机器人技术与应用, 2009(4): 26-28.

[4] 北京大学. 机器人水球比赛项目推介书[M]. 北京：北京大学, 2009: 1-6.

[5] 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(9): 1064-1066.

[6] 喻俊志. 多仿生机器鱼控制与协调研究[D]. 北京：中国科学院自动化研究所, 2003: 49-56.

[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.

[8] 王月海, 董天祯, 洪炳镕. 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.

4 结论

通过以上步骤，去掉 6713 硬件平台的仿真器后，自启动成功。该方法已通过验证，证明其可行、可靠、操作简单。笔者通过对串口烧写 FLASH，实现了其自启动，为基于 6713 硬件平台的 FLASH 烧写提供了思路。

参考文献：

[1] 袁程军. 深入解析 Flashburn 和 FBTC 应用[R]. 华中科技大学.

[2] 卞红雨, 纪祥春, 乔钢. TMS320C6000 系列的 CPU 与外设[M]. 北京：清华大学出版社, 2007: 80-100.

[3] 刘远峰, 陈志华. 一种新的基于 TMS320C6000 TMS320C 的 Flash 引导自启动方法[J]. 器件与应用, 2011, 35(21): 54-57.

[4] 蒲中齐, 张伟, 施克任, 等. TITMS320 C6000 系列的 BOOTLOAD 程序设计[J]. 工业仪表与自动化装置, 2004(6): 52-54.

[5] 王凤臣, 乔卫民, 李庆瑞, 等. TITMS320 C6713TMS320C 板 FlashBurn 程序设计[J]. 微计算机信息, 2006, 22(7-2): 170-172.

[6] TI TMS320C6000 Peripherals Reference Guide [M]. 2001: 60-120.