

doi: 10.7690/bgzd.2014.12.018

## 基于二次区域划分的机器鱼比赛策略

张轩<sup>1</sup>, 周映慧<sup>2</sup>, 史豪斌<sup>1</sup>

(1. 西北工业大学计算机学院, 西安 710072; 2. 西北工业大学自动化学院, 西安 710072)

**摘要:** 为提高机器鱼顶球的快速性、连续性以及顶球效率, 提出一种基于二次区域划分的比赛策略。在分析经典顶球算法的基础上, 从球和球门的相对位置出发, 将场地进行区域划分; 针对不同的区域, 再根据鱼、球和对方球门的坐标几何位置关系进行动态区域划分, 据此决策出最优的顶球算法完成进攻, 并在机器鱼比赛平台上对设计的策略进行具体验证。实验结果表明: 该策略是有效、可行的, 不仅能缩短进球时间, 还能做到有效防守, 增强本队竞争力。

**关键词:** 机器鱼; 区域划分; 顶球算法; 水球比赛

**中图分类号:** TP242 **文献标志码:** A

## Strategies for Robot Fish Ball-Pushing Competition Based on Quadratic Area Division

Zhang Xuan<sup>1</sup>, Zhou Yihui<sup>2</sup>, Shi Haobin<sup>1</sup>

(1. School of Computer Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;

2. School of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

**Abstract:** In order to accelerate the robot fish and improve its continuity and efficiency of ball-pushing, we come up with a competition strategy based on quadratic area division. On the basis after the classical ball-pushing arithmetic be analyzed, considering the relative position of the ball and the gate, the court is divided, and dynamic area division is done after the coordinates of the fish, the ball and the gate is considered in a certain area, and make the certain ball-pushing arithmetic to complete the attack, the strategy is tested on the robot fish competition platform by the single fish ball-pushing experiment. Experimental results show that the strategy is effective and feasible, not only shorten the goal time, but also to achieve effective defense, and enhance the competitiveness of the team.

**Keywords:** robot fish; area division; algorithm of ball-pushing; water polo tournament

### 0 引言

近年来, 机器人已被广泛运用于军事、航空、制造业以及家庭等各个方面<sup>[1]</sup>。随着海洋资源开发需求的增长及机器人技术的进步, 适应各种非结构化环境的水下机器人得到了迅猛发展。与当前螺旋桨船舶相比, 鱼类具有很高的推进效率<sup>[2]</sup>、很好的机动性以及很低的噪音, 因此被广泛运用于军事侦察、海洋生物观察和娱乐等方面。

为推动机器人与自动化技术的发展与创新, 各种机器人比赛应运而生。在机器鱼水球比赛中, 参赛队伍想要取胜, 就必须进更多的球或是比赛用时最短, 这就涉及到比赛策略的选择问题。笔者针对水中机器人全局视觉比赛项目, 着重讨论了如何精确地细分比赛场地, 再根据鱼、球和对方球门的坐标几何位置关系进行二次动态区域划分, 最终决策出全局最优的顶球策略, 使机器鱼能够高效准确地进球。

### 1 机器鱼水球比赛简介

2013 国际水中机器人大赛中, 全局视觉水球 1VS1 的比赛环境如图 1。比赛分上下 2 个半场, 在上半场开场时, A 队机器鱼从靠近水球点出发, B 队机器鱼从本方球门出发, 以体现开球优势; 同理, 在下半场开场时, B 队机器鱼从靠近水球点出发, A 队机器鱼从本方球门出发。若有一方进球后, 则重新开球。进球方的机器鱼则从本方球门出发。

在比赛正常进行的情况下, 如果水球整体越过球门线, 由裁判鸣哨判定攻方球队进球得分, “乌龙球”视为对方的进球。比赛中进球更多的球队获得比赛胜利, 如果进球相同, 则比赛为平局, 根据比赛结果球队按照下列规则获得积分: 获胜得 3 分, 平局得 1 分, 输球得 0 分。小组赛时如果 2 支球队积分相同, 那么按照下列规则决定球队名次: 球队净胜球; 每场比赛平均进球数; 2 对球队之间比赛胜负情况<sup>[3]</sup>。

收稿日期: 2014-06-12; 修回日期: 2014-08-04

基金项目: 西北工业大学研究生创新基地项目(XJ10002); 国家大学生创新实践项目(201410699064); 西北工业大学 2015 届本科生毕业设计重点扶持项目

作者简介: 张轩(1993—), 男, 陕西人, 学士, 从事智能决策研究。

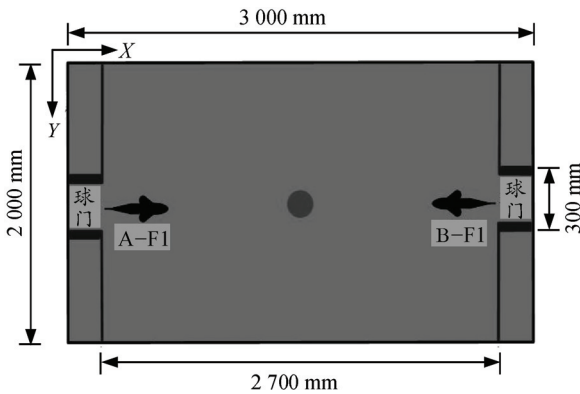


图 1 全局视觉 1VS1 比赛开球效果

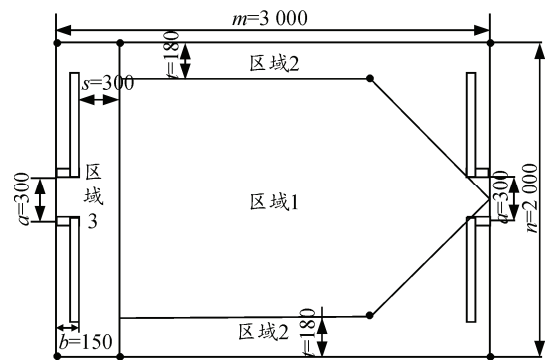


图 2 区域划分

## 2 顶球算法

### 2.1 基本顶球算法

基本顶球算法<sup>[4-5]</sup>先让鱼游到最佳射门点，再调整自身方向，前游顶球。

该算法原理简单，应用广泛。但若比赛全程只采用这一种算法，比赛效果不佳，主要原因在于：目前的机器鱼很难做到旋停和倒退，无法准确到达最佳射门点；机器鱼不能大幅转弯，而多次小幅转弯易产生水波造成干扰；机器鱼处在球和球门之间时难以到达最佳射门点。

### 2.2 切线圆顶球算法

切线圆顶球算法<sup>[4-5]</sup>让机器鱼先直线运动到切入圆上，再沿切入圆上的轨迹运动到最佳顶球点，最后以一定速度顶球。

该算法可指引机器鱼沿着指定的轨迹平滑地运动到最佳顶球点，同时机器鱼方向也调整到位，从而消除了机器鱼与最佳进攻点的角度和距离误差。但由于水波的扰动，球随时可处于漂移状态，使规划处的切入圆进攻轨迹点不断变化，导致机器鱼长久处于位姿调整状态，贻误了顶球良机；该算法规划出来的进攻轨迹较长，在激烈的比赛环境中，往往我方机器鱼还未碰到球，球就已经被对方鱼劫走。

## 3 区域划分

笔者假定右边为我方进攻的球门，左半边为我方的防守区。以场地左上角的顶点为原点建立坐标系，球的坐标为 $(x_0, y_0)$ ，鱼的坐标为 $(x_1, y_1)$ 。场地长度为 $m$ ，宽度为 $n$ ，球门宽度为 $a$ ，深度为 $b$ 。如图 2 所示，首先以水球的坐标将场地划分为 3 个区域，在 1 次区域划分的基础上，选取球为参考点进行第 2 次区域划分，在不同的区域使用不同的顶球算法。

### 3.1 一次区域划分

图 2 中以对方球门边界中点与球门的顶点为连线构成一条区域分界线；以平行于池壁的直线为另一条分界线，其与池壁的距离为  $t=18\text{ cm}$ ，正好是球的半径与机器鱼头部宽度的长度之和；以平行于球门的一条直线为第 3 条区域分界线，距离球门  $s=30\text{ cm}$ ，约为 2 个水球的直径。

按图 2 所示将水池划分为 3 个区域：

1) 区域 1 为我方有效进攻区域，当球处在这一区域时，主要采取基本顶球算法，当球的位置坐标满足以下关系时，可判定球处在区域 1：

$$\begin{cases} x_0 \geq s + b \\ -(n - t) \leq y_0 \leq -t \\ y_0 \leq -\frac{a}{2b}(x_0 - m) - \frac{n}{2} \\ y_0 \geq \frac{a}{2b}(x_0 - m) - \frac{n}{2} \end{cases} \quad (1)$$

2) 区域 2 为边界区域，当球处在这一区域时，由于水球靠近边界，机器鱼难以实现精确的顶球策略，故采取肩扛式<sup>[6]</sup>或者摆尾式先把球顶到区域 1，再做出同上的进攻策略，当球的位置坐标满足关系式 (2) 或者式 (3) 时，可判定球处在区域 2：

$$\begin{cases} x_0 \geq s + b \\ y_0 > -t \\ y_0 > -\frac{a}{2b}(x_0 - m) - \frac{n}{2} \end{cases} \quad (2)$$

或

$$\begin{cases} x_0 \geq s + b \\ y_0 < -(n - t) \\ y_0 < \frac{a}{2b}(x_0 - m) - \frac{n}{2} \end{cases} \quad (3)$$

3) 区域3为防守区域,当球处在这一区域时,我方若采取进攻策略则可能导致“乌龙球”的产生,故采取防守策略,将球顶到远离球门区域以阻止对方进球,然后伺机寻找进攻机会,化被动为主动。当球的位置坐标满足关系式(4)时,可判定球处在区域3:

$$x_0 < s + b \quad (4)$$

### 3.2 二次区域划分

#### 3.2.1 区域1

区域1为我方最有效进攻区域,当球处在区域一时,以球的左边界点为参考点,如图3中A点,根据机器鱼所处的几何坐标位置将区域再次划分为3个区域,区域划分示意图如图3所示(图中 $\alpha = \beta = \gamma = \theta = \frac{\pi}{6}$ )。

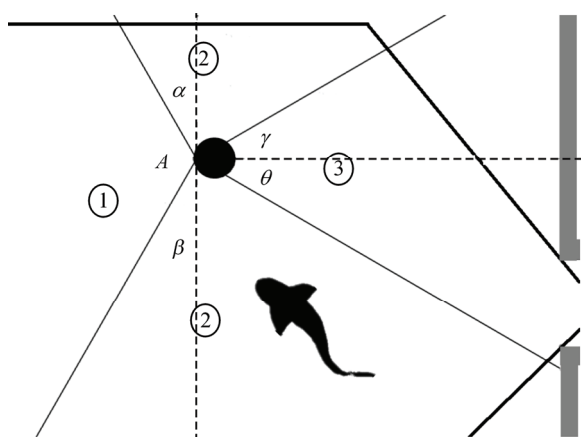


图3 区域1的二次区域划分

1) ①为直接进攻区域,机器鱼、球和球门3点的连线较直,无需机器鱼做大动作调整,这时采用基本顶球算法直接进攻即可。当鱼和球的位置坐标满足以下关系时,可将鱼判为区域①:

$$\begin{cases} x_1 < x_0 \\ -(\frac{\pi}{2} - \alpha) < \arctan \frac{y_1 - y_0}{x_0 - x_1} < (\frac{\pi}{2} - \alpha) \end{cases} \quad (5)$$

2) ②为大幅调整区域,当机器鱼处在这一区域时,需做较大幅度调整,此时选用切线圆顶球算法可较好地实现鱼到最佳顶球点的路径规划。当鱼和球的位置坐标满足关系式(6)~式(9)时,可将鱼判定为区域②:

$$\begin{cases} x_1 > x_0 \\ \arctan \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} < -\gamma \end{cases} \quad (6)$$

或

$$\begin{cases} x_1 > x_0 \\ \arctan \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} > \gamma \end{cases} \quad (7)$$

或

$$\begin{cases} x_1 < x_0 \\ \arctan \frac{y_1 - y_0}{x_0 - x_1} < -(\frac{\pi}{2} - \alpha) \end{cases} \quad (8)$$

或

$$\begin{cases} x_1 < x_0 \\ \arctan \frac{y_1 - y_0}{x_0 - x_1} > (\frac{\pi}{2} - \alpha) \end{cases} \quad (9)$$

3) ③为复杂路径进攻区域,机器鱼处在球和球门之间,此时不宜直接采用顶球算法,应先让鱼游到大幅调整区域②,再采用相应的顶球算法。当鱼和球的位置坐标满足关系式(10)时,可将鱼判定为区域③:

$$\begin{cases} x_1 > x_0 \\ -\gamma < \arctan \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} < \gamma \end{cases} \quad (10)$$

#### 3.2.2 区域2

区域2为边界区域,当球处于此区域中时,不宜直接进攻,而应先将球带出到区域1再采取相应的进攻策略。

#### 3.2.3 区域3

区域3为防守区域,当球位于第3区域时,若是继续采取进攻策略,极易导致“乌龙球”的产生,所以采取防守策略较为合适,即将球快速带至远离球门区域。选取球为参考点,根据球和鱼的相对位置,如图4所示将其再次划分为2个区域。

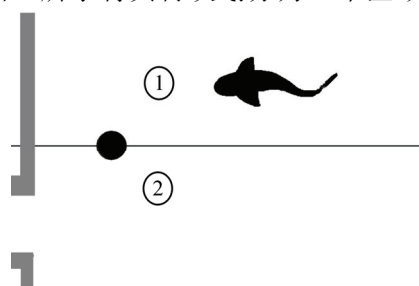


图4 区域3的二次区域划分

1) 当鱼处在①区时,将球顶向比赛场地的下侧或者有效进攻区,只需采用简单的基本顶球算法便可实现有效的防守。当鱼和球的位置坐标满足 $y_1 \geq y_0$ 时,可将鱼判为区域①。

2) 当鱼处在②区时,将球顶向比赛场地的上侧,同样采用基本顶球算法。当鱼和球的位置坐标

满足  $y_1 < y_0$  时，可将鱼判为区域②。

最后根据二次划分所得到的不同区域，采取相应的顶球算法，如表 1 所示。

表 1 二次区域划分及比赛策略

一次区域划分	二次区域划分	比赛策略
区域 1: 有效进攻区	①直接进攻区	基本顶球算法
	②大幅度调整区	切线圆顶球算法
	③复杂路径进攻区域	最短路径游至区域 2
区域 2: 边界区域	无需划分	快速将球带至区域 1
区域 3: 防守区域	①鱼在球上方	将球顶至场地下方
	②鱼在球下方	将球顶至场地上方

### 4 实验结果

为了证明基于二次区域划分比赛策略的优越性，笔者以 2013 宁波国际水中机器人全局视觉组比赛平台标准版作为试验平台，按照文中提出的方法编写策略代码，单条机器鱼顶球作为实验内容，表

2 记录了 2 个策略在相同环境下，分别比赛 10 次的成绩。

表 2 二次区域划分策略与普通策略结果对比 s

序号 $i$	二次区域划分策略进球时间	普通策略进球时间
1	42	55
2	38	47
3	29	24
4	41	43
5	19	32
6	21	31
7	33	29
8	47	68
9	35	44
10	25	36

从表 2 可以看出，二次区域划分策略比普通策略明显缩短了进球时间。在 10 次实验中，前者的最短用时为 19 s，且稳定性较好；采用普通策略，进球时间波动较大，稳定性较差。改进后的策略实验效果如图 5 所示。

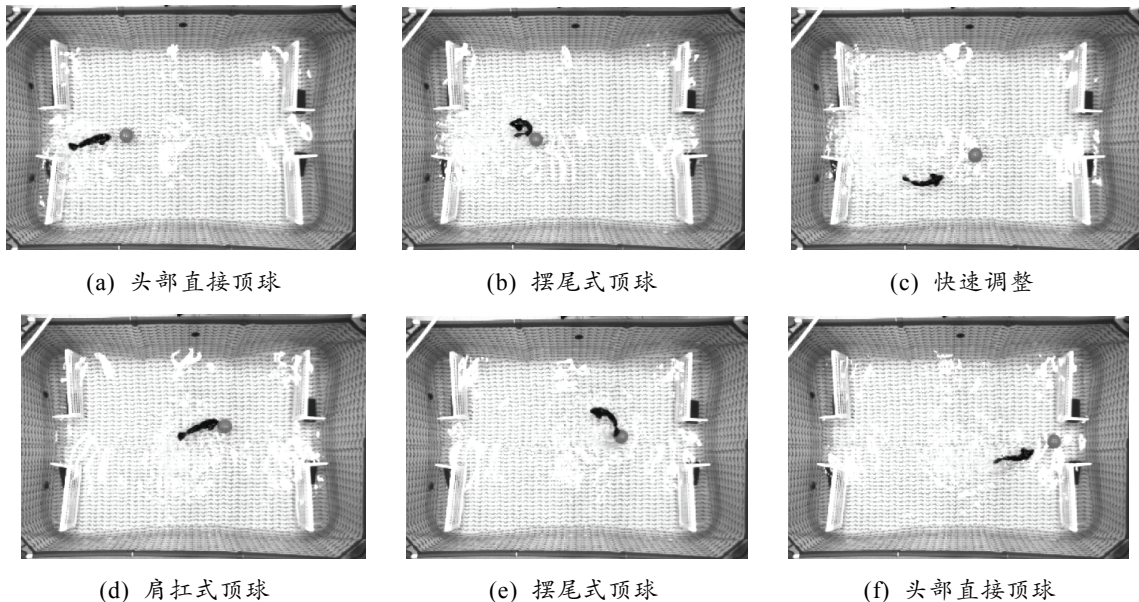


图 5 改进后的策略实验效果

### 5 结束语

笔者先简要介绍了 2 个最常用的顶球算法，然后根据水球的位置将比赛场地划分为 3 个区域，讨论了球位于不同区域时，根据鱼和球、球门之间的坐标几何位置关系进行动态区域划分，决策出全局最优的顶球策略，不仅缩短了进球时间，还做到了有效的防守，增强了本队的竞争力。在 2013 国际水中机器人大赛中，该策略在全局视觉水中机器人 IVS1 项目中获得季军，充分验证了该策略的有效性。

### 参考文献:

- [1] 魏清平, 王硕, 谭民, 等. 仿生机器鱼研究的进展与分析[J]. 系统科学与数学, 2012, 32(10): 1274-1277.
- [2] 宋玉龙, 史豪斌, 潘炜, 等. 机器鱼高精度实时反馈控制系统[J]. 兵工自动化, 2013, 32(12): 85-88.
- [3] 北京大学. 机器人水球比赛项目推介书[M]. 北京: 北京大学, 2009: 1-5.
- [4] 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: 31-33.
- [5] 陶金, 孔峰, 谢广明. 基于动作决策的机器鱼顶球算法[J]. 兵工自动化, 2010, 29(11): 70-73.
- [6] 徐林程, 史豪斌, 郭志巍, 等. 2D 仿真机器鱼协作过孔策略[J]. 兵工自动化, 2013, 32(12): 55-57.