

doi: 10.7690/bgzdh.2021.10.021

# 机器鱼 2D 仿真抢球博弈策略优化

李浩波, 夏洋洋, 侯凌燕

(北京信息科技大学计算机学院, 北京 100101)

**摘要:** 基于国际水中机器人大赛 2D 仿真抢球博弈项目, 针对仿真机器鱼路径规划问题提出弧切算法, 设计仿真机器鱼的运动轨迹, 并由角速度档位划分确保仿真机器鱼运球的稳定性。以距离角度值为基础提出死角避险、双鱼协作合力顶球算法, 意在实现仿真机器鱼快速、高效进球, 从而提高策略的健壮性, 并通过 URWPGSim2D 仿真平台对策略进行验证。实验结果表明: 该策略可以在较短时间内取得较大分数领先, 并且呈现出高效、稳定的优点。

**关键词:** 2D 仿真; 抢球博弈; 策略; 顶球算法

**中图分类号:** TP242.6 **文献标志码:** A

## Strategy Optimization of Ball Grabbing Game in Robotic Fish 2D Simulation

Li Haobo, Xia Yangyang, Hou Lingyan

(College of Computing, Beijing Information Science & Technology University, Beijing 100101, China)

**Abstract:** Based on the 2D simulation game project of the international underwater robot competition, the arc cutting algorithm is proposed to solve the path planning problem of the simulation robot fish, and the trajectory of the simulation robot fish is designed, and the angular velocity gear is divided to ensure the stability of the simulation robot fish ball. Based on the distance angle value, puts forward the algorithm of dead angle avoidance and pisces cooperative force heading, which aims to realize the simulation robot fish to score quickly and efficiently, so as to improve the robustness of the strategy. The strategy is verified by URWPGSim2D simulation platform. The experimental results show that the strategy can achieve a large score lead in a short period of time, and has the significant characteristics of high efficiency and stability.

**Keywords:** 2D simulation; ball grabbing game; strategy; heading algorithm

### 0 引言

水中仿真机器人以控制论、系统论为基础, 实现水下目标探测与识别、水下导航等功能, 其产品在水下科技领域得到了广泛应用。水下产品昂贵的研发和维护费用促进了仿真技术的发展。通过模拟仿真的手段进行实体环境构建, 能实现可控成本的研发。

为推动水中机器人及仿真技术的发展, 由中国仿真学会、国际水中机器人联盟共同举办的国际水中机器人大赛应运而生。在机器鱼 2D 仿真抢球博弈的比赛中, 参赛队伍若想取胜, 就必须在机器鱼的策略和算法方面进行创新和优化。笔者针对仿真机器鱼运动到目标点耗时久的问题, 提出弧切算法规划仿真机器鱼的路径; 针对场地边角区域鱼身无法有效转体的问题, 提出死角避险算法, 以提高策略整体的稳定性和进球效率。笔者将多种算法有机结合形成新的比赛策略并应用到实际比赛中, 效果显著。

### 1 平台简介

#### 1.1 URWPGSim2D

2D 仿真组使用水中机器人水球比赛 2D 版软件 URWPGSim2D<sup>[1]</sup>作为比赛平台。该平台包括 Server 端和 Client 端。在比赛过程中 Server 端模拟水中比赛环境向 Client 端发送实时的比赛信息。图 1 为仿真水池的 2D 模型。

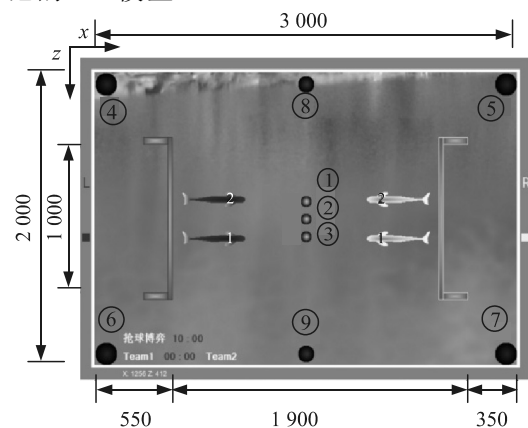


图 1 仿真水池的 2D 模型

收稿日期: 2021-06-23; 修回日期: 2021-07-22

基金项目: 北京信息科技大学 2020 年促进高校内涵发展-大学生科研训练项目(5102010805)

作者简介: 李浩波(2000—), 男, 山东人, 从事人工智能研究。E-mail: 1029566331@qq.com。

### 1.2 2D 仿真抢球博弈

机器鱼 2D 仿真抢球博弈<sup>[2]</sup>最重要的是比赛过程中参赛队伍所采用的博弈策略，比赛双方在有限的时间内斗智斗勇，通过控制仿真机器鱼实现策略的博弈和对抗，10 min 内得分多的队伍为胜。

参加 2D 仿真抢球博弈的 2 支队伍分别控制 2 条仿真机器鱼。双方各在一个半场对场上的 9 个仿真水球发起争抢，水球完全进入己方球门内即可得分，水球多次进入球门不重复计分。场地中央的分值为 3，3 个球编号为 1, 2, 3，用“○”表示；场地上下分值为 2，2 个球编号为 8, 9，用“●”表示；场地边角的分值为 1，4 个球编号依次为 4, 5, 6, 7，用“●”表示。5 min 时系统自动暂停，双方交换半场，平台为参赛双方提供变更策略的机会；此外，在上下半场进行过程中双方也各有一次策略变更的机会。

## 2 算法介绍

### 2.1 弧切算法

仿真机器鱼争抢目标球或抵达目标点的游动过程中，存在对仿真机器鱼路径规划<sup>[3]</sup>的问题，缩短仿真机器鱼在游动过程的耗时加快整体进球速度，实现短时间内进球的目的，从而在策略的博弈和对抗中取得优势。

初始时，仿真机器鱼的鱼头朝向为 X 轴正方向，“●”目标球位置位于 Z 轴正向，故仿真机器鱼在向目标球游动过程中一定存在转向的问题。一般两点间线段距离最短。笔者先采用方式 1 规划仿真机器鱼的路径，其大致思路为：仿真机器鱼目标球转向，再沿直线游动到目标点附近，最后急转。因以直线作为路径的方式无法兼顾仿真机器鱼的游动与旋转，为进一步规划仿真机器鱼的游动路径，缩短仿真机器鱼到达目标点的耗时。针对此类路径规划问题，笔者提出弧切算法<sup>[4]</sup>，在仿真机器鱼游动到目标点的同时进行转向。

如图 2 所示，弧切算法大致思想：先确定目标点 Q，由仿真机器鱼初始点 P 和目标点 Q 通过式(1)、式(2)确定轨迹圆，仿真机器鱼沿轨迹圆圆弧 PQ 旋转，直到仿真机器鱼所在直线 l<sub>c</sub> 是圆弧的切线且与轨迹圆相切于目标点 Q。此时机器鱼与 X 轴夹角为 β，并通过 β 确定机器鱼后续需要旋转的角度 φ。

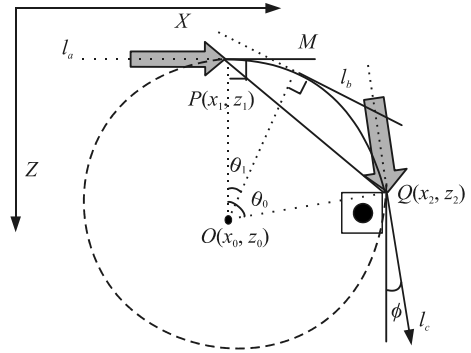


图 2 弧切算法

上图中： $(x_1, z_1)$ 为起始鱼头点坐标； $(x_2, z_2)$ 为目标球外接正方形的右上顶点； $(x_0, z_0)$ 为圆心坐标； $\phi$ 为仿真鱼需继续偏转角度； $l_a, l_b$ 分别为仿真机器鱼运动圆弧轨迹的切线，其切点分别为 P, M； $l_c$ 为该情况下仿真机器鱼最终朝向，且  $l_c$  与圆弧轨迹相切于点 Q。

圆弧轨迹的圆心及其圆心角分别由式(1)、式(2)计算：

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= x_1 \\ \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (z_1 - z_0)^2} &= \sqrt{(x_2 - x_0)^2 + (z_2 - z_0)^2} \end{aligned} \right\}; \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \cos \theta_0 &= (OP^2 + OQ^2 - PQ^2) / (2OP \cdot OQ) = \mu \\ \theta_0 &= \arccos \mu \end{aligned} \right\}. \quad (2)$$

利用余弦定理求解，得圆心角  $\theta_0$ ，其中 OP、OQ 分别表示圆心 O 到 P、Q 点的距离，PQ 表示 P 点到 Q 点的距离，即弦的长度。为验证圆心角与仿真机器鱼旋转角度的大小关系，引入如图 3 所示数学模型。

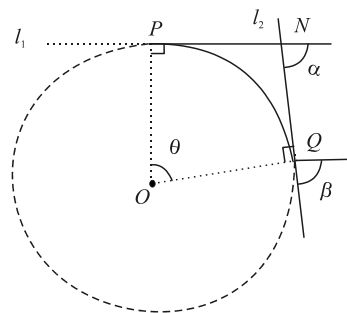


图 3 仿真机器鱼旋转角度的数学模型

由上图可知， $\angle PNQ$  与  $\theta$  互补，且  $\angle PNQ$  与  $\alpha$  互为补角，再由同位角性质可得  $\alpha = \beta$ ，图 2 所示模型中圆心角  $\theta$ 。即为仿真机器鱼旋转角度，且后续所需旋转角度  $\phi = \pi/2 - \beta$ 。

笔者针对方式 1 以及弧切算法 2 种路径规划方式做了一组实验对照，为减少误差，防止实验过程中的偶然情况发生，笔者进行了 10 次实验，最终计

算 10 次实验所得结果的平均值,得到的实验数据如表 1。

表 1 路径规划耗时 s

实验次数	弧切算法	方式 1
1	10.22	11.72
2	11.15	11.98
3	10.40	12.23
4	11.35	11.92
5	10.94	11.85
6	10.56	12.31
7	11.23	12.09
8	10.86	11.93
9	10.72	12.29
10	10.93	12.15
Avg	10.84	12.05

从上表中数据可以得出: 仿真机器鱼游动到目标点的过程中, 采用弧切算法和方式 1 的耗时分别为 10.84 s 和 12.05 s, 采用弧切算法可以将平均耗时缩短 1.21 s。通过实际结果证实弧切算法实现了仿真机器鱼游动与旋转的统一, 缩短了仿真机器鱼游动过程的耗时。

## 2.2 基本参数确定

### 2.2.1 距离角度计算

算法的执行和博弈策略的实施均需以我方仿真

机器鱼与目标点(目标球)的距离及角度为基础, 笔者分别采用以下方法计算我方仿真机器鱼鱼头到目标点的距离及角度的具体数值, 并有选择地将其应用到实际算法中。

设我方仿真鱼头坐标为 $(x_1, z_1)$ , 目标点坐标为 $(x_2, z_2)$ , 采用 2 点间的距离公式<sup>[5]</sup>求得距离

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (3)$$

方向角

$$\alpha = \arctan(\Delta z / \Delta x) \quad (4)$$

其中:  $\Delta z = z_2 - z_1$ ;  $\Delta x = x_2 - x_1$ ;  $\alpha \in (-\pi/2, \pi/2)$ 。

### 2.2.2 角速度档位确定

仿真机器鱼在运动到目标点的过程中, 角速度并非一成不变, 不同运动状态需对应不同的角速度, 准确设置角速度可大大提高仿真机器鱼的进攻效率, 从而进一步增强策略的稳健性。笔者采用分段控制的思想对仿真机器鱼的角速度  $\omega$  进行控制, 根据鱼头到目标点的角度  $\gamma$  划分成范围为 0~14 的角速度档位<sup>[6]</sup>, 以达到更优的抢球效果。

具体控制思想如图 4 所示。

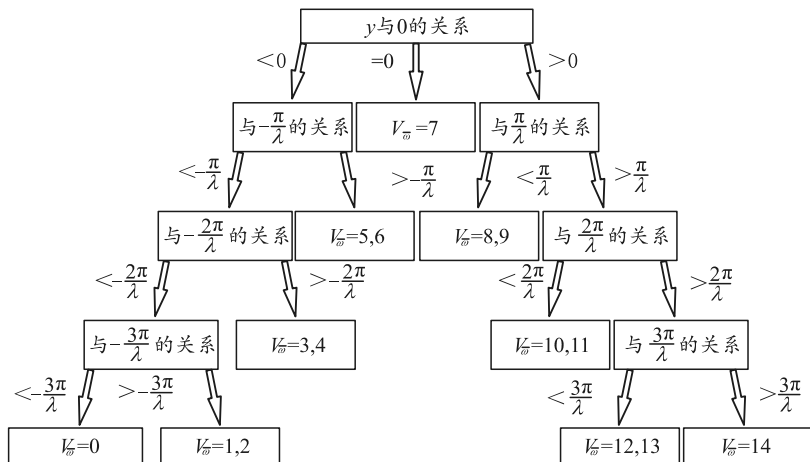


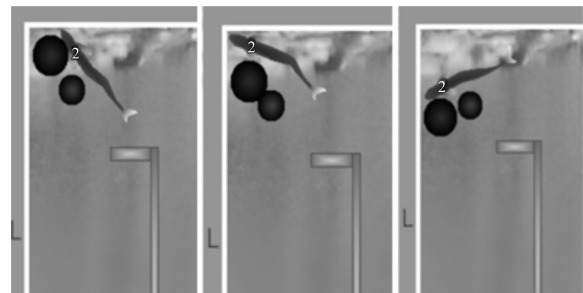
图 4 角速度档位控制

### 2.3 死角避险

场地 4 角的 4 个仿真水球所在的位置为仿真机器鱼带球转体的危险区域。在此区域内, 对仿真机器鱼带球游动的路径规划不当会导致机器鱼无法实现带球转体。

以左半场为例, 在争抢目标球时由于场地边界的限制, 在死角区域内鱼身不能及时带球转向, 陷入无法正常执行后续顶球操作的“死亡状态”, 延误进攻策略的执行; 因此, 笔者提出增设目标点规划仿真机器鱼路径的方法, 以达到仿真机器鱼高效且快速带球转体的目的, 缩短进球时间, 达到更好的

比赛效果, 具体转体情况如图 5 所示。



(a) 情况 1 (b) 情况 2 (c) 情况 3

图 5 转体避险

在横坐标为 $[-1\ 500, -1\ 100]$ 的范围内, 笔者将

目标点  $X$  坐标以 50 个单位作划分, 并采取多次计时求平均的方法避免偶然误差, 得到成功转向时间 Success-Time 随目标点  $X$  坐标 Position  $X$  的变化结果。根据目标点  $X$  坐标建立成功转向时间分档如表 2。

表 2 成功转向时间分档

PositionX	Success Time
-1 150	10.32
-1 200	8.83
-1 250	8.27
-1 300	10.19
-1 350	11.71
-1 400	16.45
-1 450	60+

### 2.4 双鱼协作合力顶球

抢球博弈比赛中的穿模现象经常发生在单条仿真机器鱼独立顶球游动的过程中, 仿真水球会穿过机器鱼的身体发生穿模现象。为有效解决此问题, 笔者采用借助场地边界或其他具有碰撞体积的物体作为屏障的方法, 避免穿模现象的发生。同时, 将弧切算法、死角避险算法、角速度档位控制等应用于双鱼协作合力顶球算法<sup>[7]</sup>的不同阶段, 将以上算法统一于双鱼协作合力顶球算法中, 实现有机结合。

双鱼协作合力顶球算法分为 2 部分, 其中第一部分为仿真机器鱼运送仿真水球到球门区域内, 其大致思想为: 2 条仿真机器鱼各司其职, 分别争抢设定好的目标球, 并按照预先规划的路径将目标球运送到球门区域, 具体步骤为:

1) 2 条仿真机器鱼各自执行第一阶段策略——调用弧切算法规划到目标球的路径, 实现仿真机器鱼获取目标球, 并使用基于鳍顶式<sup>[8]</sup>(用仿真机器鱼的鳍部)算法将目标球运送至边角区域, 运输过程中通过角速度档位的划分减少仿真机器鱼到达目标点的时间消耗, 提高仿真机器鱼游动过程的效率。

2) 仿真鱼抵达边角区域, 执行第二阶段策略<sup>[9-10]</sup>——调用死角避险算法, 通过增设目标点规划路径, 实现鱼身在场地边角区域内带球旋转, 避免陷入“死亡状态”。成功转体后, 同样采用基于鳍顶式的顶球算法将目标球运输至球门区域, 如图 6 所示, 为双鱼协作合力顶球第二部分做铺垫。

双鱼协作合力顶球算法第二部分的大致思路是: 2 条仿真机器鱼呈一定夹角, 以仿真机器鱼的身体为屏障避免穿模现象的出现, 通过仿真机器鱼的横游将球顶入球门, 具体实现步骤为:

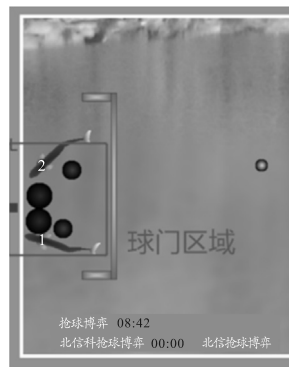


图 6 球门区域

仿真机器鱼 fish1 到达指定位置后调用位置判断函数实时获取我方仿真机器鱼 fish2 的位置, 判断 fish2 是否满足双鱼协作合力顶球算法的位置条件: 如果 fish2 未到达指定球门区域内, fish1 进入等待状态, 直到 fish2 满足相应的位置条件; 如果 fish2 已到达指定区域内且 fish1 和 fish2 满足如图 7 所示相对位置关系, 则调用横游函数。笔者将 fish1 角度调整至  $205^\circ$  并用 fish1 身体的碰撞体积作为 fish2 顶球过程中的屏障, 通过 fish2 的横游将仿真水球顶入球门。

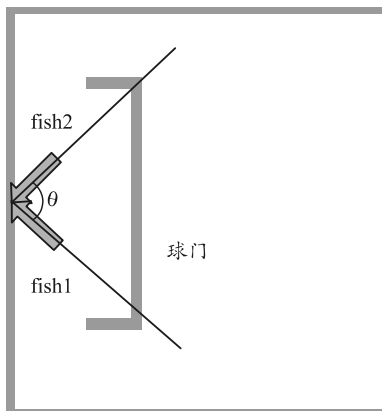
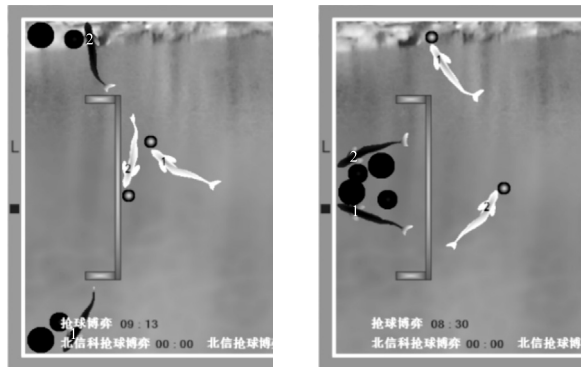


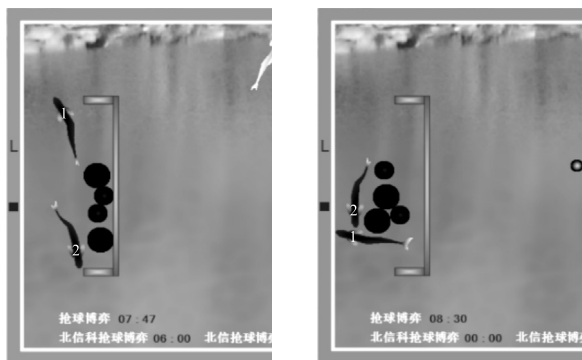
图 7 仿真鱼相对位置关系

双鱼协作合力顶球算法的实际效果流程如图 8 所示。



(a) 抵达边角区

(b) 运送至球门区



(c) fish2 以 fish1 身体为屏障 (d) 最终结果

图 8 双鱼协作合力顶球

图 8(a)为仿真机器鱼抵达边角区域并在此处执行死角避险算法，图 8(b)呈现仿真机器鱼将仿真水球运送至球门区域后的效果图，即双鱼协作合力顶球算法第一部分执行后的结果，图 8(c)为 fish2 以 fish1 身体为屏障的效果图，图 8(d)为双鱼协作合力顶球算法最终结果。

### 3 实验结果与分析

在 URWPGSim2D 仿真平台上，以上半场为例，选取笔者的策略与对方策略进行博弈对抗。通过记录双方得分情况对我方策略的有效性以及可行性进行验证，并将数据进行可视化展示。

#### 3.1 实验方案

开局采用弧切算法规划仿真机器鱼的游动路径争抢目标球，到达场地边角区域调用死角避险算法实现仿真机器鱼带球转体，采用双鱼协作的方式实现进球，力争在尽可能短的时间内取得更高分数的领先，然后更换防守策略干扰对方仿真机器鱼进攻，最终取得比赛胜利。

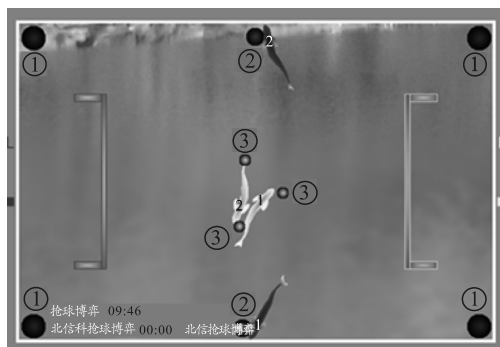
#### 3.2 结果对比

基于 URWPGSim2D 平台测试下，通过选取笔者的策略和对方策略进行对抗，笔者策略具体步骤为：以左半场为例，先运用弧切算法使仿真机器鱼按照规划的路径抵达②号水球位置，再采用鳍顶式算法将②号水球运至①号水球所在处，即死角区域，再使用死角避险算法实现仿真机器鱼带球转体，继而将水球运送至球门区域，在球门区域内 fish2 以 fish1 为屏障，借助 fish1 鱼身实现进球，进球完成后便转为防守策略干扰对方的进攻。

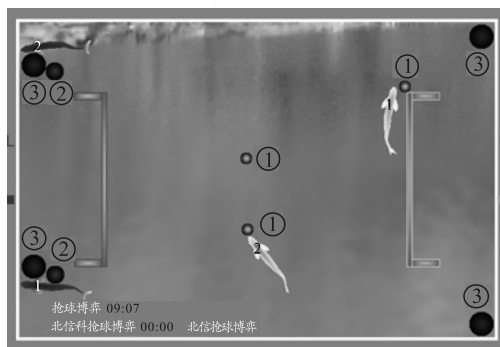
对方策略具体步骤为：以右半场为例，仿真机器鱼首先到达③号水球所在位置，随后 2 条仿真机器鱼各自选取一个水球并带球跑点，以将水球运送

至球门区域，待③号球进入球门后转攻②号水球，最后争抢①号水球。

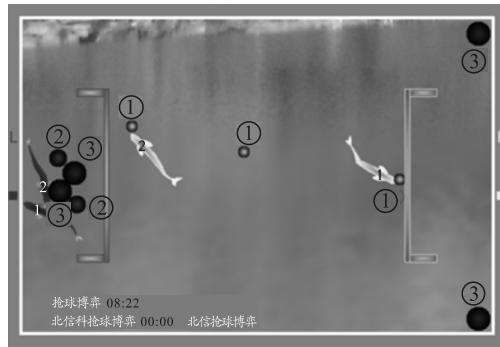
以上半场为例，双方抢球博弈过程中部分时刻的执行效果如图 9 所示，并对比赛结果进行记录，根据实验结果记录我方仿真机器鱼与对方得分情况如表 3。



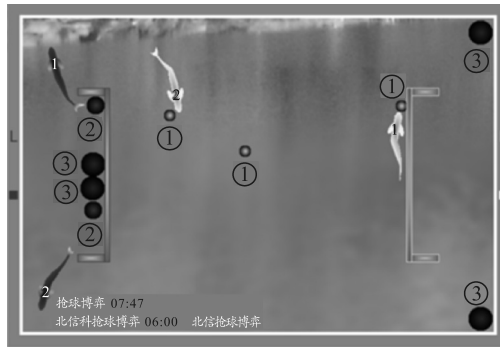
(a)  $t=14\text{ s}$



(b)  $t=53\text{ s}$



(c)  $t=98\text{ s}$



(d)  $t=133\text{ s}$

图 9 抢球博弈实时效果

表 3 得分结果对比

实验次数	我方得分	对方得分	实验次数	我方得分	对方得分
1	6	4	6	6	2
2	6	3	7	6	4
3	8	3	8	6	1
4	7	2	9	9	4
5	6	3	10	7	3

结果显示：我方仿真机器鱼平均得分为 7 分，而在相同时间下对方平均得分仅为 3 分。且我方仿真机器鱼在平均 143 s 的时间内便可取得 4、5 分的领先优势，证明笔者所采用的算法具有耗时短、效率高的显著效果。

如图 10，将实验测得的数据进行可视化展示。

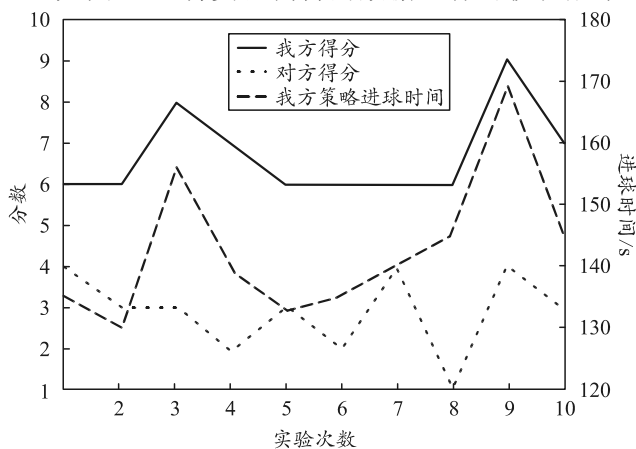


图 10 可视化结果

#### 4 结束语

笔者以距离角度的计算值作为策略算法的基础，提出弧切算法，解决了仿真机器鱼运动过程的路径规划。死角避险算法的使用有效保证了双鱼协

作合力顶球算法在场地边角区域的高效执行，提高了仿真机器鱼处理球能力，保证了进球的稳定性以及高成功率，使得在我方仿真鱼在相同时间内能取得较大的分数领先，在博弈策略的对抗中存在明显优势；但是对比赛过程中出现的穿模现象仍需进行更深入的研究和探索。

#### 参考文献：

- [1] 国际水中联盟 2D 仿真委员会. URWPGSim2D 开发人员手册 v1. 2 Revised20120101[Z]. 北京：北京大学智能控制实验室，2012.
- [2] 国际水中联盟 2D 仿真委员会. 2015 国际水中机器人大赛 2D 仿真组比赛项目及规则[Z]. 北京：国际水中机器人联盟，2015.
- [3] 王耀威，纪志坚，翟海川. 仿生机器鱼运动控制方法综述[J]. 智能系统学报，2014，9(3): 276-284.
- [4] 赵盛昌，纪志坚，谢广明，等. 基于虚拟切线圆的机器鱼比赛进攻策略[J]. 兵工自动化，2010，29(11): 89-91.
- [5] 龙海楠，李淑琴，安永跃. 仿真机器鱼抢球大作战比赛策略的研究[J]. 计算机仿真，2013，30(7): 312-316.
- [6] 雷艳敏，祁吉，钱俊如，等. 水中机器人 2D 仿真比赛策略[J]. 兵工自动化，2020，39(1): 92-96.
- [7] 张进，李淑琴，侯霞. 仿真机器鱼双鱼协作过孔策略的研究[J]. 计算机仿真，2013，30(1): 344-347.
- [8] 黄伯峥，董辉跃，史豪斌. 水中机器人带球接力策略[J]. 兵工自动化，2013，32(12): 59-62.
- [9] 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.
- [10] 姚宪华，剧建军. 浅述机器鱼水球比赛策略优化[J]. 机器人技术与应用，2009(4): 33-35.