

doi: 10.7690/bgzd.2018.04.024

基于 URWPGSim2D 平台的机器鱼稳定性及路径规划

柯浩康, 王 超

(北京信息科技大学计算机学院 北京 100101)

摘要: 水中机器人水球比赛 2D 仿真平台 URWPGSim2D 是对水中机器人进行仿真测试的平台, 由北京大学智能控制实验室组织开发, 真实模拟仿真机器鱼各个关节的位姿变化, 运动状态变化及机器鱼水球比赛运行等状况。基于 URWPGSim2D 平台提供的策略, 经过大量实验对比, 对水中机器人在仿真环境下的稳定性进行深入研究, 意在提高水中机器人的稳定性, 从而提高仿真比赛项目策略的健壮性, 进而为未来实体水中机器人奠定良好的算法基础。该策略实现的比赛程序在 2016 年国际水中机器人大赛中荣获二等奖, 表明了策略的有效性。

关键词: 水中机器人; 机器鱼; 水中搬运;

中图分类号: TP242.6 **文献标志码:** A

Robot Fish Stability and Route Planning Based on URWPGSim2D Platform

Ke Haokang, Wang Chao

(Computer School, Beijing Information Science & Technology University, Beijing 100101, China)

Abstract: Water Robot Water Ball Competition 2D Simulation Platform URWPGSim2D is a platform for simulation testing of water robots. It is developed by the Peking University Intelligent Control Laboratory. It simulates the joint gesture changes of robot fish, motion state change and robot fish water ball completion running and so on. The strategy is based on URWPGSim2D platform, through large amount of test completion, research on the water robot stability under simulation environment, which aims to improve the stability of the underwater robot. Further, it can be used to improve the robustness of the simulation project strategy and lay a good foundation of algorithm, for the solid water robots in future. This strategy has achieved the game program in the 2016 International Water Robot Competition won the second prize, which indicates its effectiveness.

Keywords: underwater robot; robot fish; water carry;

0 引言

国际水中机器人大赛是一项国际权威的机器人比赛, 以智能仿生机器鱼为主题, 在水中进行各类竞赛, 包括竞速、花样游泳、追逐和激烈对抗的水球比赛。水中机器人比赛主要分为实体机器鱼与 2D 仿真机器鱼两类项目, 其中 2D 仿真项目由原来的水球 5V5、抢球大作战、水球斯诺克、花样游泳、协作过孔, 更改为现在的抢球博弈、生存挑战、水中搬运与花样游泳^[1-2]。2D 仿真水中搬运采用水中机器人水球比赛 2D 版软件作为比赛平台。仿真器由模拟水中环境、呈现比赛过程的服务器端和加载模拟比赛策略的客户端组成。2015 年 2D 水中搬运游泳比赛的规则是, 每个学校由 1 支队伍参与, 每支队伍 2 条仿真机器鱼, 用到 6 个仿真水球, 6 个圆形地标。初始状态是, 队伍 2 条仿真机器鱼, 位于比赛场地左半场内; 6 个仿真水球按照从左到右, 从上到下的顺序被编为 0~5 号。场地左方有白色地标, 内有相应编号, 当相应编号的球被移入

地标内时得分(地标半径为 80 mm), 平台服务端弹出对话框提示得分, 并自动发“Pause”指令暂停比赛, 裁判发“Continue”指令继续比赛。比赛开始后, 仿真机器鱼在策略的驱动下将球推入相应编号的地标中。比赛时间为 10 min, 每将一个球推入相应的地标中, 得 1 分, 并记录当前时间, 重复推入不计分(6 个球全部被顶入后, 如时间未到, 比赛立即结束, 并且记录所剩时间)。比赛时间递减为 0 时, 平台服务端弹出对话框提示, 裁判确认比赛结果, 比赛结束。每支队伍在每场比赛可提出 2 次更换策略的请求, 由裁判手动暂停比赛, 以更换策略然后继续比赛。胜负标准包括记录比分和每次得分时间, 待所有选手比赛完毕后, 规定时间(10 min)内得分多的队伍取胜; 得分相同则两者中最高得分的最终形成时间少者获胜^[3]。

1 路径规划研究

1.1 找球-顶球路径

如图 1, 比赛项目采用标准仿真场地(3 000

收稿日期: 2017-12-20; 修回日期: 2018-01-17

基金项目: 北京市自然科学基金(9021723401); 北京市教育委员会科技计划项目(71E1710983); 北京市高水平人才交叉培养项目(71B1710824)

作者简介: 柯浩康(1995—), 男, 福建人, 从事仿真机器鱼路径规划研究。

mm×2 000 mm), 1.5 倍尺寸的场地, 规格为 4 500 mm×3 000 mm。

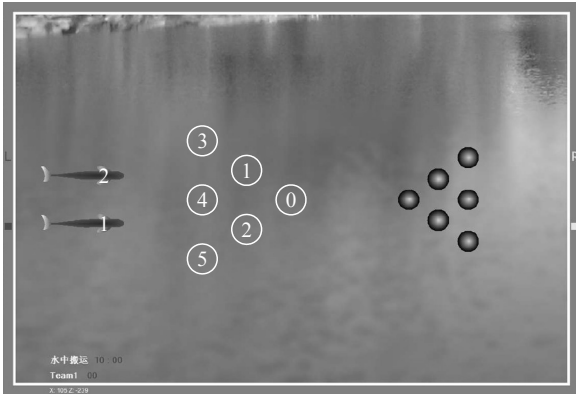


图 1 水中搬运比赛场地

在比赛当中, 由于仿真鱼初始的时候鱼头朝 X 轴正方向, 球在鱼的 X 轴正方向, 而球洞又在球的 X 轴负方向, 所以仿真鱼在找球到推球的过程中必然有一个调头的过程^[4]。在这里, 调头大致有 2 种方法: 一种方法如图 2, 仿真鱼先是经过快速的直线游动, 游至球附近时, 再急转调头, 转而顶球; 另一种方法如图 3 所示, 仿真鱼做一个由出发至球附近点形成的大弧线, 这样做的原因是为了避免鱼在急转调头过程中造成浪费时间的情況。

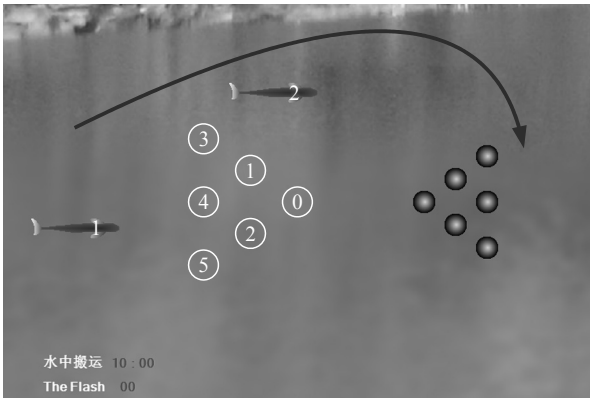


图 2 仿真鱼调头路线 1

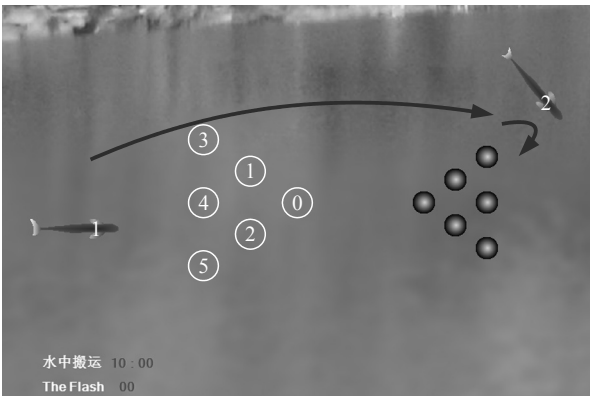


图 3 仿真鱼调头路线 2

而经过大量实践可知: 第 2 种情况, 即走“大弧线”的找球路径, 最佳的角速度将是 $3/12 \text{ rad}$ 或是 $4/11 \text{ rad}$ 。以此为基础, 笔者做了一组实验对照, 为了减少误差, 防止偶然性情况发生, 其中每对数据都是该策略运行 10 次的时间的平均值, 得到的实验数据如表 1。

表 1 2 种找球-顶球路径的运行时间

运行次数	路线 1	路线 2	
		角速度 $1/12 \text{ rad}$	角速度 $4/11 \text{ rad}$
1	21	16	15
2	19	15	16
3	20	15	15
4	19	16	14
5	22	17	17
6	21	17	16
7	21	17	16
8	19	15	15
9	18	16	15
10	20	17	17
Avg	20	16.1	15.6

从表中数据可以得出结论: 在找球到顶球的过程中, 仿真鱼最快的走法, 应是从出发点到球附近点做大弧线运动, 最佳的角速度为 $4/11 \text{ rad}$, 如此可以快速找到球, 并开始准备将球顶至球洞。

1.2 顶球-进球过程路径

当仿真鱼在球附近, 并且鱼头朝向为 X 轴负方向时, 仿真鱼开始着力将球顶向球洞, 此时由于有 2 条仿真鱼, 以及 6 个球, 先顶哪个球, 哪条鱼先顶, 这样的变化可以说数不胜数, 方法层出不穷^[5]。经过大量实际检测, 笔者发现了 2 条路径的实际效果尤为优秀。

路径 1, 如图 4 所示, 步骤如下:

- 1) 1 号鱼和 2 号鱼同时出发, 1 号鱼顶 5 号球, 2 号鱼顶 3 号球, 顶球不进, 继续执行下一步;
- 2) 1 号鱼顶 4 号球, 2 号鱼顶 1 号球, 顶球不进, 继续执行下一步;
- 3) 1 号鱼顶 2 号球, 2 号鱼顶 0 号球, 顶球不进, 继续执行下一步。

路径 2, 如图 5 所示, 步骤如下:

- 1) 1 号鱼和 2 号鱼同时出发, 1 号鱼顶 0 号球, 2 号鱼顶 2 号球, 顶球不进, 继续执行下一步;
- 2) 1 号鱼顶 4 号球, 2 号鱼顶 1 号球, 顶球不进, 继续执行下一步;
- 3) 1 号鱼顶 5 号球, 2 号鱼顶 3 号球, 顶球不进, 继续执行下一步。

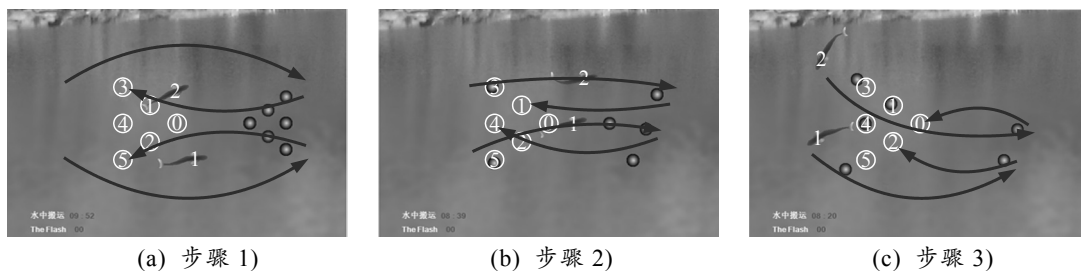


图 4 路径 1

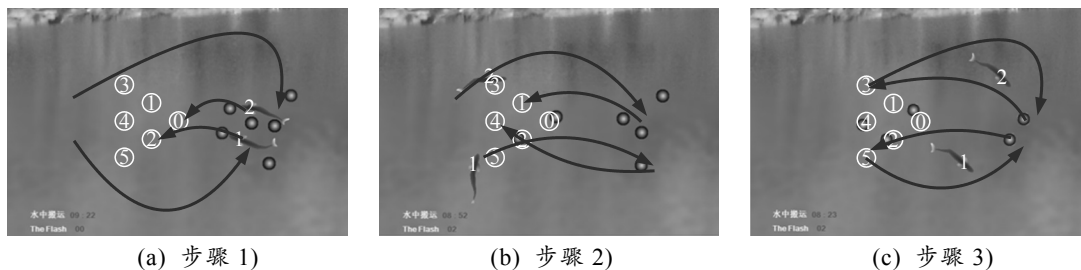


图 5 路径 2

以上面 2 种路径规划为理论基础，笔者设计了 2 套策略，分别进行多次实验，对结果进行平均之后，得到的实验结果如表 2 所示。

表 2 2 种顶球路径的结果对照

运行次数	路线 1	路线 2
1	2'53"	3'01"
2	3'13"	3'05"
3	3'05"	2'49"
4	2'32"	2'51"
5	2'40"	2'58"
6	2'51"	3'18"
7	2'26"	3'12"
8	2'55"	3'02"
9	2'42"	3'09"
10	2'49"	2'41"
Avg	2'48"	3'06"

2 稳定性研究

2.1 当前比赛中所暴露的一些稳定性上的问题

2.1.1 游动稳定性问题

由于在顶球过程中，笔者的算法决定鱼身的角度，其由球到球洞的角度值决定，加之鱼本身有角速度，这就使得游动的时候鱼身摇摆并不稳定，这样会导致有些时候鱼会将球顶至赛场的 4 个角落，加上平台本身的设定，鱼身在与赛场边界接触后会被弹出，如此在鱼将球顶至角落后，便陷入了僵持状态，从全局上来看，这条鱼便“作废”了，于是笔者将这 4 个角落称为赛场的“死角”，便是鱼在游动时的稳定性问题。图 6 为鱼和球进入死角位置。

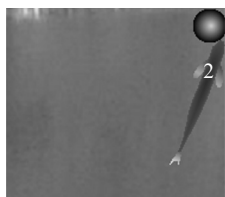


图 6 鱼和球进入死角后

2.1.2 进球稳定性问题

由于平台本身具有高度的仿真模拟性质，所以鱼在顶球过程中，会遭遇到由随机数据模拟的水波干扰，这样的干扰在鱼即将将球顶至球洞前的影响尤为严重。经常出现的情况就是，明明球已经快到球洞了，结果突然“掉下来了”，这是由于鱼在顶球过程中受到了水波的影响，失去了进球时的稳定性。进球时的失误如图 7 所示。

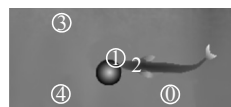


图 7 进球时的失误

2.2 问题对应的稳定策略

2.2.1 防死角设计

为了解决鱼在游动时误入角落的问题，笔者和队友进行过许多讨论，而经过实战检测可知：最有效的方法往往最简单，想要使鱼不误入死角，那就从最开始就不让鱼游过去。具体来说，就是利用平台本身提供的坐标系，人为地划分出 4 个“禁区”，每当检测到鱼头坐标在禁区内时，便启动策略退出禁区，这样将进入死角的危险提前释放，仿真鱼不会陷入死角后才察觉危险（那时候已经无法逃离）。

然而，从另一方面来说，因为禁区的设定对机器鱼的行为本身是一种限制，这就难免对顶球的效率造成了影响，所以经过一些实验，得出了一组既能起到禁区作用，对顶球效率影响又不大的参数数值，以此参数值作为半径，以 4 个角分别为圆心做出 4 个大小不同的扇形禁区，具体如图 8 所示。后

续将对这些参数值进一步优化。

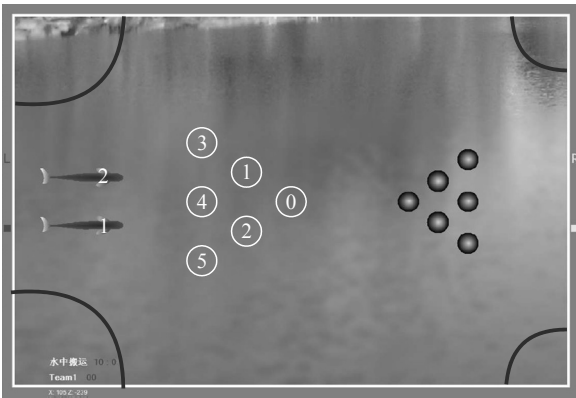


图 8 规定的禁区

2.2.2 补救策略

对于顶球时的失误，笔者准备了后续的策略来补救。即设当球在球洞附近，且球心坐标与球洞坐标所连成的直线，与坐标系的 X 轴成 α 角。对球洞到球心所连成的直线做反向延长，在反向延长线上某点处设定一个 A 点，此时令鱼头游到 A 点，鱼身与坐标系的 X 轴的角度成 α 角。此时令仿真鱼做直线高速运动，即可将球顺利补进球洞。补救方法如图 9 所示。



图 9 补救方法

(上接第 88 页)

3.5 最优解

经过实验得知：多关节鱼以正常前进游动的方式能将 1、2、3 号目标点撞倒，4 号目标离多关节鱼起始位置最近但难度中等，并且被多关节鱼以正常直线游动的方式撞倒的概率较小，5 号目标难度最大，通过直接撞击很难完成；因此，在 1、2、3 号目标点采用直接撞击救援，而 4、5 号目标点采用鱼头甩动撞击救援。实验中，按照给出的最短路径选择撞击鱼的顺序，既实现了缩短鱼到达各目标点的时间，又保证了如未能在规定时间完成任务，也可得到高效的救援效果。2 种撞击方式的结合能快速有效地完成撞击，从而一定程度上缩短了救援时间，提高了救援效率。

4 结束语

在多关节鱼水中救援项目中，通过大量的实验研究表明，在函数中封装迪杰斯特拉思想实现多关

3 结束语

笔者主要针对水中搬运比赛中出现的稳定性问题进行了研究，并给出了相应的解决方案和几种路径规划^[6]。实验结果表明：在优化了稳定性问题并使用最终确定的路径规划后，水中搬运的 2 条仿真鱼可以非常稳定地完成得分的工作，运用该策略，北京信息科技大学北信守夜人队在 2016 年 10 月 21 日的国际水中机器人大赛取得了二等奖，证明了该策略的有效性。目前本文的策略中仍存在两鱼互相干扰的情况，为此，如何避免该情况成为笔者接下来的研究重点。

参考文献：

- [1] 国际水中机器人联盟. 国际水中机器人联盟官方网站, [http://www.ilur.org\[Z\]](http://www.ilur.org[Z]).
- [2] 包华, 李淑琴, 郭琴琴. URWPGSim2D 仿真平台之花样游泳比赛项目的设计与实现[J]. 北京信息科技大学学报, 2011, 26(5): 84-88.
- [3] 胡庆松, 徐立鸿, ERIK G. 基于 NSGA-II 的 IPMC 机器人鱼动态多目标相容优化控制[J]. 系统仿真学报, 2011, 25(9): 1925-1931.
- [4] 王扬威, 王振龙, 李健. 仿生机器人鱼研究进展及发展趋势[J]. 机械设计与研究, 2011, 27(2): 22-25.
- [5] 朱毅, 张涛, 程农. 动态环境下基于子目标的移动机器人路径规划方法 [J]. 系统仿真学报, 2010(S1): 254-257.
- [6] 王梅娟, 王楠, 瞿逸洲, 等. 基于胸鳍辅助推进的仿生机器人鱼[J]. 兵工自动化, 2016, 35(5): 80-83.

节鱼的救援路径规划，采用鱼头甩动和直接撞击相结合的算法大大缩短了救援时间。但笔者研究的策略仍有不足，如度量的误差难以避免、鱼头甩动的速度过快，采用人眼可以识别的速度，误差也会较大。另外，在 Point2Point 函数中如果增加对距离差值的判断，将会避免机器人以较小误差“错过”目标点的情况，进而提高策略的准确性。

参考文献：

- [1] 曹培, 姜飞, 许晓霞, 等. 水中机器人鱼全局救援策略优化[J]. 福建电脑, 2015(11): 11-12.
- [2] 周伟诚, 夏庆峰. 一种全局“水中救援”比赛策略[J]. 兵工自动化, 2015, 34(5): 93-96.
- [3] 谢广明. 2016 国际水中机器人大赛全局视觉组规则[M]. 北京: 北京大学, 2016: 1-6, 13.
- [4] 严蔚敏, 吴伟民. 数据结构(C 语言版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007: 187-190.
- [5] 孙琴, 武海健, 夏庆峰. 机器人鱼游动性能改善方法[J]. 兵工自动化, 2014, 33(12): 67-71.