

doi: 10.7690/bgzdh.2014.12.026

2D 仿真机器鱼协作过孔策略

滕江, 李淑琴, 韩丽丽

(北京信息科技大学计算机学院, 北京 100101)

摘要: 在机器鱼 2D 仿真协作过孔比赛项目中, 针对无球游动过程中固定路线的行进方法所存在的问题, 提出一种优化策略。根据比赛规则, 将比赛分为无球游动和带球运输 2 部分。在无球游动过程中, 使用一种根据当前所处位置动态选择最优路线的路径优化思路。在带球运输部分, 利用场地的特殊性使用机器鱼身体的所有部位运输。结果表明: 优化后的策略能充分考虑该项目的得分要求和场地特点, 在速度和稳定性上都有很大程度的提高。

关键词: 2D 仿真机器鱼; 协作过孔; 路径优化

中图分类号: TP242.6 **文献标志码:** A

Strategy of Hole-Crossing Collaboration of 2D Stimulation Robotic Fish

Teng Jiang, Li Shuqin, Han Lili

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

Abstract: The optimized strategy is put forward with respect to the competition of the 2D stimulated collaboration of two robotic fish getting through the hole. According to competition rules, the completion is divided into two parts, namely without the ball and the ball moving transport. Without the ball in the process of swimming, the best possible route is chosen to adapt to different locations. In the transport part of the ball, characteristics of the competition terrain are fully utilized to take advantages of every part of the robotic fish to transport the ball. The consequence proves that the optimized strategy has taken both the requirements of scoring goals and the characteristics of the competition terrain into full account. Both speed and stability are greatly improved.

Keywords: 2D stimulation robotic fish; hole-crossing collaboration; route optimization

0 引言

目前, 国际水中机器人大赛 2D 仿真组比赛共有 5 个项目, 2D 仿真协作过孔项目是仿真组比赛的项目之一^[1]。它是一种由 1 支队伍参与, 每支队伍 2 条仿真机器鱼, 用 1 个仿真水球, 3 个矩形仿真障碍物的非对抗性比赛项目。

笔者将比赛过程划分为无球游动和带球运输。无球游动过程就是当机器鱼从出发点游到水球位置, 期间机器鱼不会和水球有接触, 行进环境相同, 场地干扰因素也相同。当鱼开始运输水球, 在运输过程中, 鱼和水球都会受到水波的影响, 行进环境和场地干扰因素一直在变, 所以笔者将这一过程归纳为带球运输。

在比赛过程中, 笔者发现很多队伍在无球游动过程中, 采用一条鱼尾随一条鱼的方法游过障碍, 到达目的水球位置。通过大量的视频资料对比, 绝大部分队伍都固定了鱼的行进路线。采用固定路线的好处是鱼在游动过程中, 即使发生事故, 机器鱼还是按照规定路线游到下一个点, 不会破坏整个比

赛的顺序。缺点是由于平台本身有模拟水波的干扰算法, 有时就会出现鱼转身过大或过小, 会在一个区域内浪费很多时间; 因此, 笔者设计一种优化算法, 能通过分析机器鱼当前所处环境来选择最优路线。并对带球运输阶段提出一种优化策略。

1 协作过孔优化策略

1.1 协作过孔项目介绍

比赛场地如图 1。从左到右 3 个障碍物依次为障碍物 3、障碍物 2、障碍物 1; 以障碍物为界限, 将水池分为 4 个区域, 从左到右依次为区域 4、区域 3、区域 2、区域 1; 区域 4 的门为门 2, 区域 1 的门为门 1。比赛规则: 初始状态 2 条仿真机器鱼, 其位置随机产生于场地左下方; 1 个仿真水球位于右球门内。比赛开始后, 仿真机器鱼在策略驱动下按照项目规则协作把仿真水球推进左球门。项目规则中有 4 个协作目标: 目标 1、目标 2、目标 3 分别要求把水球推过第 1 个、第 2 个、第 3 个孔, 目标 4 则要求把水球推进左球门内, 然而在完成每个目标前, 要求两条鱼都碰过球。比赛时间为 5 min, 比赛

收稿日期: 2014-07-02; 修回日期: 2014-08-09

基金项目: 市教委“PXM2014_014224_000079 教育教学-本科生科研训练项目”; 北京信息科技大学 2014 大学生科技创新计划项目经费资助

作者简介: 滕江(1993—), 男, 北京人, 满族, 本科, 从事人工智能研究。

2 次，每次比赛过程中不得暂停；且 2 次比赛可以采用相同或不同策略。计分规则，完成一个目标得 1 分，共 4 分。时间递减到零，比赛结束；任务完成，比赛结束，记录得分和剩余时间；整场比赛，记录 2 次比赛的总得分和总剩余时间，取最佳成绩。

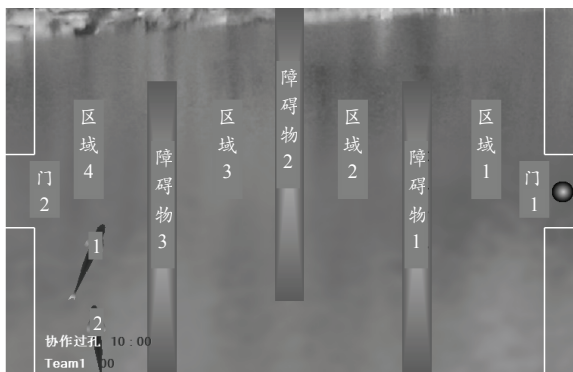


图 1 2D 仿真协作过孔示意图

1.2 无球游动过程策略优化

在机器鱼的无球游动过程中，对鱼的行进影响来自 3 个方面：1) 平台水波影响，平台通过水波算法在鱼的游动过程中产生水波，对其以及鱼身周边的另外一条机器鱼游动过程产生干扰，增加行进难度，降低机器鱼游动的精准度。2) 精准度的降低，如果控制不好 2 条鱼的距离，很容易发生 2 条鱼相撞的事故，由于 2D 比赛平台的缺陷，机器鱼的碰撞体不是整个鱼身，而是鱼尾会交叉，如果相撞要花费不少时间才能处理好。3) 碰触平台障碍物，当鱼尾碰触到比赛场地的各个障碍物以及场地边缘时，机器鱼会将自己弹出一定范围，这个情况在无球游动过程中会影响机器鱼的行进路线。比赛过程中会出现鱼尾碰触障碍物时产生向相反方向瞬移的现象，文中称之为“弹鱼”。

根据以上分析可知，平台的最优路线不能单靠障碍物的 2D 几何位置算出。如果遵循 2D 几何位置得出两点之间线段最短的路径，很可能发生鱼尾碰触场地障碍物产生弹鱼现象，或者鱼身碰触障碍物产生减速现象。加之水波的存在即使控制机器鱼沿直线行进，也可能受到水波的影响碰触到障碍物。

机器鱼应该随时监测自身所处环境，包括与障碍物的距离，与另一条鱼的距离，与下一个转弯点的距离。根据所处环境，动态选择最佳角度和最佳速度。笔者的策略也是使鱼 1 先出发，鱼 2 尾随。笔者在策略的每一帧都监测鱼的所有数据，包括鱼的方向、角速度、线速度鱼身上所有点的坐标。通过计算，得出鱼与身边障碍物、场地边缘以及与另

一条鱼的距离。由于比赛平台的所有信息都能捕捉到，通过分析所在位置，部署机器鱼应该执行的任务，以该环境下最快速度通过。如果发现鱼的数据超出了之前规划的数据，分析鱼是否在置信区间内，如果不在，则及时纠正鱼的角速度和线速度，尽快回归最优路线。这样就能保证鱼不会因为 3 个方面的影响发生浪费时间较多的事故，但在鱼的调整路线过程中还是会耽误一定时间，不过与事故时间比起来还是少很多。笔者根据对鱼产生影响的 3 个方面，在鱼的无球游动过程中将事故率降到可控制的最低点，大大节省了行进时间，提高了鱼的稳定性以及准确性。无球游动过程截图如图 2。

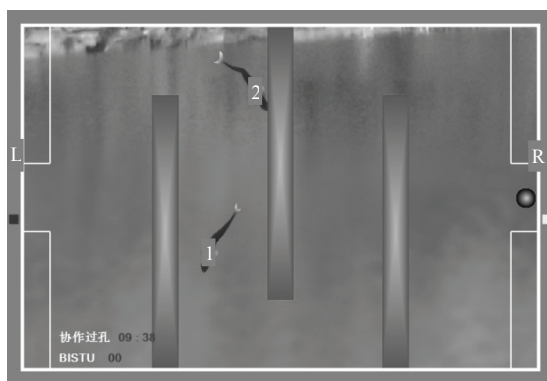


图 2 无球游动过程截图

1.3 带球运输过程策略优化

整个带球运输过程中，水球会受到鱼身产生的水波影响，水球会同时受到水波和鱼头的力，合力方向不一定是鱼头带球方向，所以机器鱼带球时的速度会受到限制，速度快容易将球带过，要花费时间调整位置，再者场地本身狭窄场地边界还会发生弹鱼的现象。由于协作过孔场地的特殊性，每一条区域的距离很近，所以笔者利用场地障碍物和场地边缘带球，尽可能地避免使用鱼头顶球，并利用比赛场地的特点，提高带球效率，展现出机器鱼协作能力。

带球运输过程用到 2 种带球的控制方法，分别为顶球和扫球。

文献[2]提出了一种在顶球过程中出现绕球现象的处理方法。笔者设计的顶球算法，在带球过程中，根据目标点坐标、击球点坐标、机器鱼自身向量分别计算出目标点与击球点的向量、击球点与鱼头的向量，机器鱼自身向量。向量两两之间有置信区间。如果 3 个向量都在置信区间内，则带球不会出现绕球；如果不在置信区间，则需要根据机器鱼当前向量，调整机器鱼的角速度、线速度，使得数

据纠正回置信区间。具体分3种情况：

1) 如果3个向量相同，那么就可以使机器鱼保持高线速度的状态带球，而且不会出现绕球现象。

2) 如果击球点与目标点的向量与机器鱼自身向量之差的绝对值，不在置信区间内，则证明鱼可能从球侧冲出产生绕球，所以需要及时降低机器鱼自身线速度，调整角速度。

3) 如果击球点与目标点的向量、击球点与鱼头的向量之差，不在置信区间内，则证明机器鱼自身再向前游动就会出现绕球，所以需要将线速度降到最低，及时找回正确的带球位置。顶球函数图示如图3。这种现象出现的概率非常低，如果机器鱼鱼头成功碰触到击球点，之后就不会出现这个现象。

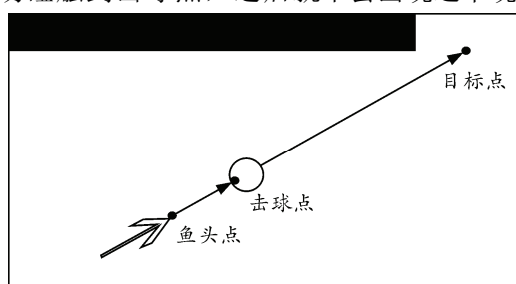


图3 顶球函数图示

笔者在文献[6]中对扫球函数做了详细介绍，根据机器鱼的特殊结构，利用鱼头和鱼鳍夹角，依靠场地边缘或障碍物，使机器鱼保持一定角度将水球固定在鱼头与鱼鳍之间运输。这种方法的优点是避免了弹鱼现象，由于将球位置固定，所以运输速度上也有了很大的提升；缺点就是非常依赖场地。

2 带球运输分区域详细策略

在带球运输过程中，笔者在4个区域使用了不同的策略。下面笔者将对应不同区域逐个分析水中环境以及应对策略。

区域1。当鱼1率先到达区域1，其目标是将水球从球门中顶出来，让鱼1抵达球门下方向上扫球，当球到达球门上边界再向左扫球。水球离开球门后，鱼1向上游动，利用鱼身宽度尽可能将水球带出球门，鱼2也调整好了角度，之后采用鱼2顶球将球带到区域2。此流程的缺点是稳定性不高，在鱼2带球过程中很容易发生将球带过。所以笔者降低了鱼2带球速度，试带球过程中降低失误率。通过对稳定性的降低，达到最快通过区域1的策略。鱼在区域1的运动见图4、图5。

区域2。2D仿真平台的另一个特点就是平台本身有向下的水流，机器鱼向下运动比向上游动要快，

带球稳定性也大大提高。结合比赛场地区域比较狭窄，当鱼2带球到达图6位置后将球靠在障碍物2上，鱼头左下 $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 顶球。利用障碍物和鱼头的合力方向向下，可以最稳定地将球带到区域2和区域3的交界处A点。

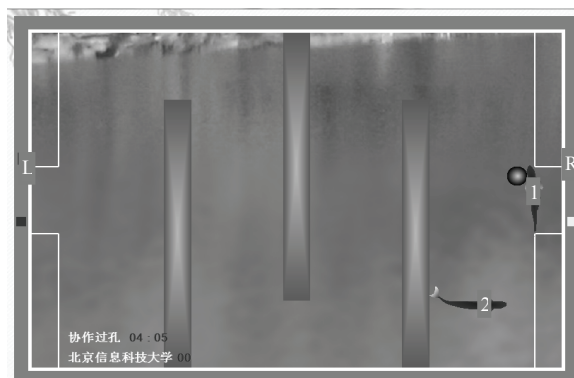


图4 鱼在区域1运动截图1

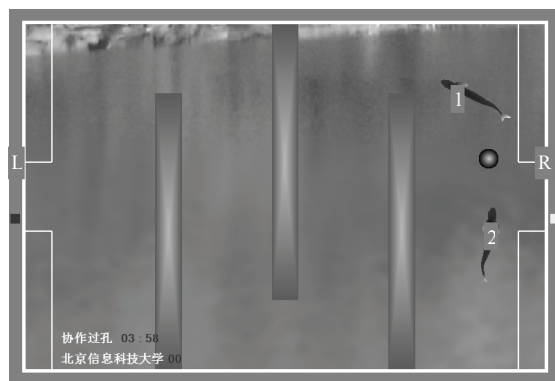


图5 鱼在区域1运动截图2

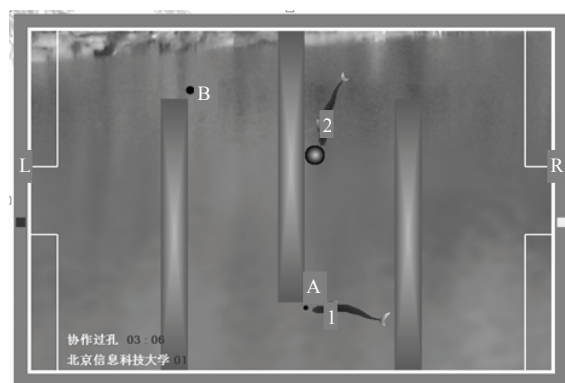


图6 鱼在区域2运动截图

区域3。当鱼2将球带到图5中A点后，鱼1向左使用头部顶球到障碍物3。利用障碍物3向上扫球。由于平台自身有向下的水波，所以此时鱼1向上扫球会很慢，且效率很低。鱼2顶住鱼1的鱼身向上游动，可提高鱼1带球速度，当到达B点后进入区域4。

区域4。方法和区域3类似，鱼1向左头部顶球，带球到球门上方，鱼2尾随，随后鱼1达到图

7 所示位置。鱼 2 类似区域 2 借助球门上方障碍物向下扫球，当球心超过球门上边界。鱼 1 向左转身，利用鱼尾帮助鱼 2 将球带入门中。

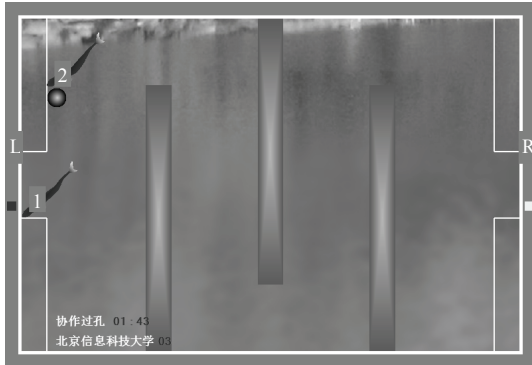


图 7 鱼在区域 4 运动截图

3 实验验证

为了验证优化后策略的效率和稳定性。笔者利用 2D 仿真机器鱼平台的协作过孔项目，按照比赛规则分别加载优化前策略与优化后策略在不用系统的 4 台计算机上各进行 2 次实验。记录每一次实验的数据，并加以分析，得出实验结果。由于协作过孔项目的比赛规则最终比较的是队伍之间比赛得分和剩余时间，所以记录的比赛数据为每一次比分改变时的剩余时间。

3.1 实验数据

实验表格为表 1 和表 2，记录了执行策略每一次比分改变时剩余时间。比分越高或在相同比分情况下剩余时间越多，则证明策略的速度和稳定性越好。表 1 为优化前策略，表 2 为优化后的文中策略。

表 1 优化前测试数据

序号	剩余时间			
	1 min	2 min	3 min	4 min
1	—	—	—	—
2	2:40	1:00	—	—
3	2:50	1:30	0:10	—
4	—	—	—	—
5	2:45	—	—	—
6	3:00	2:20	1:21	0:21
7	—	—	—	—
8	2:15	0:45	—	—

表 2 优化后测试数据

序号	剩余时间			
	1 min	2 min	3 min	4 min
1	3:26	2:42	1:45	1:19
2	3:25	2:45	1:48	1:23
3	3:27	2:42	1:45	1:18
4	—	—	—	—
5	3:33	2:50	1:50	1:20
6	3:20	2:32	1:35	1:08
7	3:35	2:50	1:51	1:21
8	3:35	2:51	1:54	1:30

实验使用 4 台电脑，2 台 XP 系统，2 台 Win7 系统。第 1 台 XP 系统电脑的记录数据为实验数据表的序号 1、3。第 2 台 XP 系统电脑的记录数据为实验数据表的序号 2、4。第 1 台 Win7 系统电脑的记录数据为实验数据表的序号 5、7。第 2 台 Win7 系统电脑的记录数据为实验数据表的序号 6、8。

3.2 实验结果分析

从表 1 的实验数据得出结论，优化前策略，无论是在无球游动或是在带球运输这 2 个阶段都存在很多问题。表 1 的序号 1、4、7 数据，都是在无球游动时出现失误。其余数据虽然通过了无球游动过程，但是花费的时间明显多于优化后策略，而且在之后的带球运输中，也存在带球稳定性差的问题。

从表 2 的实验数据得出结论，在优化后的策略解决了优化前策略在不同阶段会出现的问题。优化后的策略在整个实验环境中都很稳定，效率也高于优化前策略。根据优化后的策略，笔者在 2014 国际水中机器人大赛中荣获了水中机器人仿真组协作过孔季军。

4 结论

优化后的 2D 仿真协作过孔策略充分考虑了比赛场地的水环境以及场地地形特点，利用不同的场地环境采用合理的策略。针对弹鱼现象，设计出了一套利用规避缺陷，合理利用鱼身资源的运球方法，很大程度上提高了运输效率。该方法不仅提高了机器鱼的稳定性，而且提高了有障碍下的运输效率。下一步，笔者希望通过更加深入的研究，将水下机器人成功运用到实际生活中去。

参考文献:

- [1] 谢广明. 机器人水球比赛项目推介书[M]. 北京: 北京大学工学院, 2009: 1-5.
- [2] 黄永安, 马路, 刘惠敏. Matlab7.0/simulink 6.0 建模仿真开发与高级工程应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007: 1-75.
- [3] 何洋, 李淑琴. 盾形洄游算法[J]. 兵工自动化, 2013, 32(12): 94-96.
- [4] 安永跃, 李淑琴, 龙海楠, 等. 机器鱼仿真水球斯诺克比赛策略[J]. 兵工自动化, 2012, 31(11): 52-54.
- [5] 陈晓, 李淑琴, 谢广明. 基于启发式路径评估的仿真机器鱼策略研究[J]. 北京信息科技大学学报, 2012, 28(1): 79-82.
- [6] 滕江, 李淑琴, 龙海楠. 仿真抢球大作战策略的优化[J]. 兵工自动化, 2014, 33(3): 89-92.