

doi: 10.7690/bgzd.2020.07.021

一种水中机器人协作顶球策略

孙玉娟, 陆倩倩, 夏庆锋, 李亨凡, 孔碧滢, 张燕
(南京大学金陵学院智能机器人实验室, 南京 210089)

摘要: 针对国际水中机器人大赛全局视觉组水中协作顶球项目, 提出一种有效的多鱼协作顶球方法。从速度控制、方向控制、多鱼协作和顶球动作 4 个方面制定整体策略, 进行特殊位置的设计, 让机器鱼交替顶球, 并经过反复测试。测试结果表明: 该策略能提高机器鱼的顶球效率, 更加有效地完成比赛任务, 已在 2018 年国际水中机器人大赛中获得冠军。

关键词: 机器鱼; 路径规划; 协作算法
中图分类号: TP24 **文献标志码:** A

A Strategy of Topping Ball by Cooperative Underwater Robots

Sun Yujuan, Lu Qianqian, Xia Qingfeng, Li Hengfan, Kong Biying, Zhang Yan
(Intelligent Robot Laboratory, Nanjing University Jinling College, Nanjing 210089, China)

Abstract: According to the underwater collaborative ball-scrambling project in the global vision group of the International Under-Water Robot Competition, we pose an effective multi-robot ball-scrambling strategy. In terms of the four aspects of speed control, direction control, multi-fish cooperation and heading action, the overall strategy is formulated to design the special position. The robotic fish alternates the topping ball has been tested repeatedly. The application in the case illustrates that the overall strategy has increased the robot fish efficiency in the ball scrambling competition and completed the game task more effectively. In addition, it has won the championship in the 2018 International Water Robot Competition.

Keywords: robot fish; path planing; cooperative algorithm

0 引言

国际水中机器人大赛是由北京大学发起创立的一项国际性机器人赛事, 自 2008 年以来已连续举办了十二届。这项赛事已经逐步成为世界各国展示水中机器人研发、制作和应用成果的重要舞台, 搭建起相互学习、交流友谊的桥梁。大赛以智能仿生机器鱼为主体, 在水中进行各类竞赛, 包括产业类项目及科研类项目, 比如石油管道巡检、海陆空联合救援、海参捕捞、水球竞赛和花样游泳等。

2018 国际水中机器人大赛共设全局视觉组、自主视觉组、目标抓取组、2D 仿真组、水面垃圾清理组和工程项目组等多个组别, 每个组别下设若干比赛科目。笔者对全局视觉组中的水中协作顶球项目进行研究, 提出了一种多机器鱼协作带球策略。该策略利用了两鱼的协作, 很好地互补了两鱼的比赛空闲时间, 极大程度提高了时间效率和竞赛水平, 最终获得了较好的竞赛成绩。

1 协作顶球项目规则简介

如图 1 所示, 参赛队派 2 条机器鱼参加比赛,

每条机器鱼起始时刻分别位于水池两侧。水池以 2 个短边池壁的中点连线为分界线, 将水池划分为上、下 2 个区域。门 1 与门 2 放置如图 1 所示的门卡, 其余位置为比赛球门(门 1 只能由上向下开启, 门 2 只能由下向上开启)。裁判员鸣哨后, A 鱼将门 1 顶开, B 鱼将球通过门 1 顶向上区, A 鱼或 B 鱼顶开门 2, 将水球顶入球门。

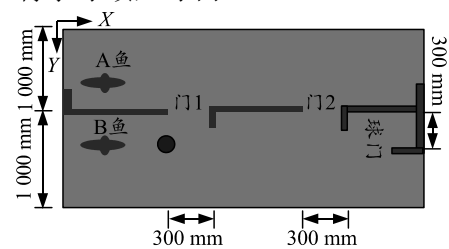


图 1 全局视觉机器鱼

计分规则: 比赛时间为 5 min, 若在 5 min 内完成比赛, 则按带入球门的时间排序, 时间最短者获得第 1 名; 若在 5 min 内未完成比赛, 则按通过门卡的个数排序, 通过门卡多者胜出, 若通过门卡个数相同, 则按通过前一门卡的时间排序, 用时短者胜出。

收稿日期: 2020-03-12; 修回日期: 2020-04-27

基金项目: 2018 年教育部产学合作协同育人项目(201801086014、201801279020、201802003026、201802026004); 南京大学金陵学院 2018 年教学改革与研究立项项目(0010521805)

作者简介: 孙玉娟(1998—), 女, 安徽人, 学士, 从事移动机器人、自动控制技术研究。E-mail: 2282579335@qq.com。

2 区域规划与分析

2.1 区域划分

如图 2 所示,水池分成^[1]上区和下区。其中上区又划分成左上区和右上区,下区分为左下区和右下区。当机器鱼和球分别处于不同的区域位置时,比赛形势则有所不同,需要编写相应的策略将机器鱼和球的位置调整到规划的路线之内。

1) 左上区。

在左上区, A 鱼需要调整好自身的姿态,为顶开门卡 1 做好准备。A 鱼撞击门卡 1 前,姿态应以与门卡 1 水平线成一定角度来对开门卡 1,撞击时应以恰当的速度来产生最佳的力度,争取一次成功。

2) 右上区。

在右上区, A 鱼顶开门卡 2 之后,游动至水池边缘,可以避免 B 鱼在上区游过门卡 2 期间与 A 鱼发生碰撞,影响比赛的进程。

3) 左下区。

左下区与左上区情况类似,首先 B 鱼游至水池边缘应尽量拉开水球的距离,接着寻找顶球的最佳切入点,当 A 鱼将门卡 1 顶开并与 B 鱼保持合适位置时, B 鱼即刻带球入门卡 1。

4) 右下区。

右下区是比赛的终点,也是比赛的重点区域。A 鱼将球从门卡 2 带至右下区, B 鱼把球顶入球门。

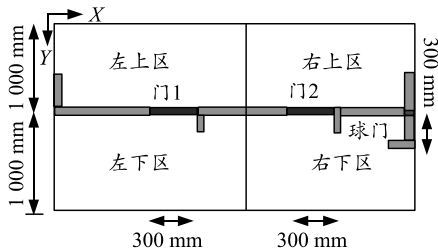


图 2 区域规划

2.2 关键点的选取

机器鱼相互协调完成指定任务过程中,需要设定一些临时点。这些临时点可以起到缓冲、调整姿态^[2]和冲击门卡的作用。如图 3 所示,在区域划分的基础上分别定义缓冲点和冲击点。

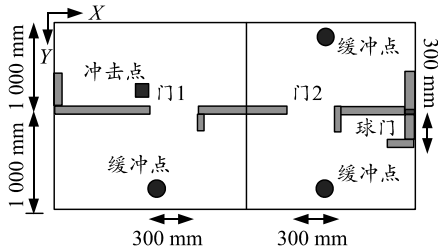


图 3 点的选取

1) 缓冲点。

缓冲点的选取有以下特点:

① B 鱼在带球前需等待门卡 1 开启,因 B 鱼并非静止不动,为避免水波对球的影响, B 鱼需要选取一个距球有一段距离并且能与球、门保持合适角度的地方,原地待命。

② A 鱼带球试图过门卡 2 时,需在门口将球与鱼分离,找一合适点使鱼与球门共线,从而提高球通过门卡 2 的几率。

③ A 鱼将球从上区带入下区过程中,需要使 B 鱼在某个合适位置,等待 A 鱼将球带至下区。

2) 冲击点。

机器鱼顶门卡前需到达门卡附近的某点,与门卡水平线呈一定夹角,以获得更大的斜向上冲击力,故在门卡 1 左上角设定一个冲击点。

3 策略设计及实现

3.1 前期策略

如图 4 所示,前期任务为 A 鱼顶开门卡 1 与门卡 2,随后 B 鱼带球进入上区。

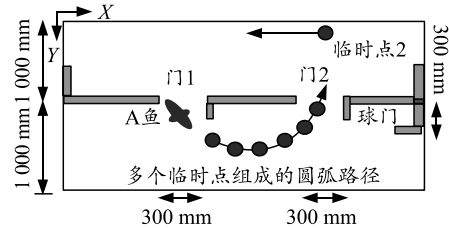


图 4 A 鱼跨区策略

1) A 鱼穿越门卡 1 策略。

在水池中, A 鱼与 B 鱼分别静止摆放在左侧,球放在 B 鱼前端。编写策略前,通过定位测试,得出门卡 1 的中心坐标为(233, 259),门卡 2 的中心坐标为(482, 217)。

根据比赛规则, A 鱼需从上到下顶开门卡 1, B 鱼才能带球到达上区。控制 A 鱼到达临时点 0,其坐标为(113, 199),与门卡水平线大约呈 28°夹角。如表 1 所示,该角度为多次实验获得的最佳角度,既可达到将门卡推翻的冲力强度,又可提高机器鱼整体行进的流畅程度。

表 1 A 鱼撞击结果分析

水平夹角/(°)	首次撞击成功率/%	A 鱼穿门时间/s
15~25	51	10
25~35	74	8
35~45	75	10
45~55	68	11
55~65	69	11
65~75	71	13
75~90	78	13

顶开后游至左下区。若 A 鱼的头部被门卡撞偏了方向，此时函数算法将修正 A 鱼的头部方向，A 鱼头部不断地撞击门卡 1 直至门卡 1 被撞开。

2) A 鱼过门卡 2 策略^[3]。

A 鱼穿过门卡 1 后，以圆弧形的路径直接撞击门卡 2。需注意，撞击门卡 1 和门卡 2 时有所不同，撞击门卡 1 时机器鱼是静止出发，无法产生较大的冲击力，所以需要调整好姿态才能保证撞击的成功率。而撞击门卡 2 前，机器鱼处于游动状态，因而可以直接撞击门卡 2。在 A 鱼的路径规划中，设定了多个临时点，让 A 鱼从门卡 1 到门卡 2 的路径近似成一个圆弧，使用 `if(dir)` 判断语句，在不同的角度范围内，A 鱼具有不同的速度，可快速调整方向。

撞开门卡 2 后，为避免 A 鱼与 B 鱼发生碰撞，设定了临时点 2，该点设在水池边缘，目的是让 A 鱼沿着水池壁快速离开。

3) B 鱼带球过门卡 1 策略。

B 鱼带球过门卡 1 前，需等待 A 鱼将门卡 1 顶开；因此，定义临时点 1(79, 422)，B 鱼游至该点原地等待。门开启后，B 鱼开始带球。如图 5 所示，在测试过程中发现门卡边框有死角区。若机器鱼不小心游进了死角，那么机器鱼无法利用拐弯逃出死角。因此，B 鱼带球过门卡 1 前设定了一个安全点(126, 335)，先让 B 鱼带球到达安全点(此安全点必须保持与球门有合适的角度与距离，否则很容易造成将球带偏)，使 B 鱼大大减少卡死在死角的几率，提高将球带过门卡 1 的效率。

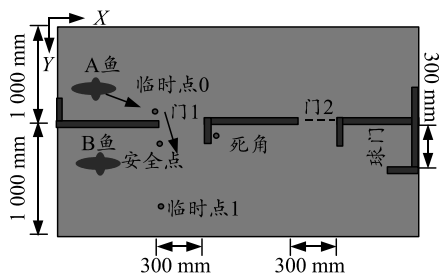


图 5 前期策略

B 鱼带球期间尽量控制球与鱼的相对位置，防止发生鱼将球反方向带的情况(尽量使鱼、球、门保持相对共线的位置)，`if(f_pt.x > b_pt.x)` 语句判断鱼与球的相对位置，若鱼和球未能保持设定的相对位置，则使用 `Roundp2p(aimpt)` 函数，使 B 鱼在不触碰到球的情况下到达设定的位置。

此时，可能出现 B 鱼到达上区而球却在下区，由于门卡作用，B 鱼很难找到合适的路径区到达设定的鱼-球相对位置。可用 `if(f_pt.y < 240 && b_pt.y`

`> 250)` {`GoToTempt(back_2)`} 语句进行判断，如果出现鱼在上区并且球在下区的情况，那么 B 鱼就会回到下区。

3.2 中期策略

前期策略顺利实现后，B 鱼带球进入左上区，同时 A 鱼顶开所有门卡后回到左上区。这时 B 鱼需从上区重新回到下区。路径规划如图 6 所示。

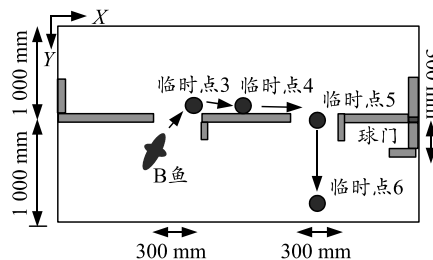


图 6 B 鱼跨区策略

B 鱼带球到达上区后，分别设定临时点 3、4、5、6。临时点 3 和 4 的作用是让 B 鱼到达门卡 1 附近后，贴着水池中间墙壁一直游至门卡 2 附近的临时点 5(482, 241)，之后穿过门卡 2 到达临时点 6。选取贴近门卡的密集临时点，旨在约束 B 鱼的行进方向，从而减少其与 A 鱼相互干扰的几率。

3.3 后期策略

如图 7 所示，后期策略主要是 A 鱼将上区的球带到右下区与 B 鱼汇合，B 鱼再将球带入球门。

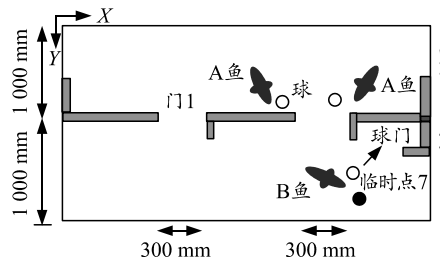


图 7 后期策略

1) A 鱼带球跨区策略^[4]。

B 鱼离开上区后，A 鱼开始带球过门卡 2。使用 `if (Distance(b_pt, second_door) > 20)` 语句判断球与门卡 2 的距离。当球与门卡 2 的距离较远时，通过判断球与门卡的相对位置，使 A 鱼选择合适的带球方向。当球与球门的距离小于一定值时，使鱼与球脱离，并使鱼到达开始时提到的缓冲点，尽量达到球和鱼与门卡之间形成共线位置，再进行顶球，以提高鱼带球通过门卡 2 的几率。

2) B 鱼顶球入球门策略。

A 鱼带球到右下区，由于球门前有挡板，不利于 A 鱼顶球入球门，所以让 B 鱼进行最后顶球任务。

此时，A 鱼已经完成了它的全部任务，可以使其重返上区选一固定点待命，也可以考虑让 2 条鱼协作顶球入门，但实际测试时发现 2 条鱼之间带球的策略相互干扰较为严重，反而降低了算法效率。

由此可见，只需控制 B 鱼顶球入门即可。定义临时点 7(520, 289)。如图 7 所示，该点靠近水池墙壁，让 B 鱼游至该点，目的是尽量让球处在鱼的左侧，B 鱼可顺球门方向将球顶入门，提高时间效率。使用 `if(b_pt.y>260&&f2_pt.x>350)` 语句，判断球是否已到达下区且 B 鱼在球左边。用电脑测量出球门中心点的坐标为(682, 254)，最后使用自定义 `GoToGoal_RBELLOWAREA(b_pt, Fish_B, goal_pt, attackrange)` 语句，当 $0 < attackrange < 5$ 时，B 鱼速度从 9 挡提到 14 挡，瞬间向左拐弯造成甩头^[5-6]的效果，将球甩入球门内，若球在过程中出现路径偏差，则改用 `Head2AnyGoal(b_pt, fishB, g_pt)` 语句，直接将球带入球门中。多次反复测试结果证明：B 鱼甩头一次性将球送入球门，可最大限度地缩短比赛时间，若失败，直接带球入球门也是比较可靠的做法，可圆满完成比赛任务。实验结果如表 2 所示。

表 2 B 鱼带球入门数据分析

甩球入门	带球入门	入门平均消耗时间/s
成功	否	3
失败	是	7

(上接第 92 页)

参考文献：

[1] 张明路, 彭平, 张小俊. 特殊环境下服役机器人发展现状及其关键技术研究[J]. 河北工业大学学报, 2013, 42(2): 70-75.

[2] 刘少强, 黄惟一, 王爱民, 等. 机器人触觉传感技术研发的历史现状与趋势[J]. 机器人, 2002, 24(4): 362-366, 374.

[3] 许宝森. 基于 CAN 总线的机舱监控模拟系统的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2006: 106-115.

[4] 邓阳春, 陈钢, 杨笑峰. 消除电阻应变片大应变测量计算误差的算法研究[J]. 实验力学, 2008, 23(3): 227-233.

[5] 史鑫, 王伟, 李金平. 基于 SOI 压阻式噪声传感器的声学动态特性分析与设计[J]. 传感器与微系统, 2018, 37: 61-69.

[6] 尹福炎. 电阻应变片与应变传递原理研究[J]. 衡器,

4 结束语

水中协作顶球项目对 2 条鱼的协作程度、带球、撞门算法都有极高的要求^[7]。经过大量的测试和比赛验证可知：笔者提出的多鱼分区域协作算法具有较好的算法效率，互补了 2 条鱼在时间上的工作空缺，表现明显优于其他策略。南京大学金陵学院参加 2018 年国际水中机器人大赛全局视觉组水中协作顶球项目中，使用该算法取得了冠军，证明了该策略的有效性和优越性。

参考文献：

[1] 陈辉, 夏庆锋, 张园, 等. 基于抢球博弈的逃生策略[J]. 兵工自动化, 2016, 35(5): 92-96.

[2] 肖权. 机器鱼位姿控制与协作顶球研究[D]. 柳州: 广西工学院, 2012: 20-22.

[3] 张新彬. 基于表面张力的仿水龟机器人研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016: 65-67.

[4] 陈伟. 机器鱼运动形态与比赛项目策略研究[D]. 柳州: 广西工学院, 2012.

[5] 周伟诚, 夏庆锋. 一种全局“水中救援”比赛策略[J]. 兵工自动化, 2015, 34(5): 93-96.

[6] 朱红秀, 杜闯, 孟庆博, 等. 电磁驱动机器鱼的驱动器研究[J]. 兵器装备工程学报, 2019, 40(S2): 29-32, 61.

[7] 陈林, 王梅娟, 姚奕. 基于水波建模的交替式顶球改进算法[J]. 兵工自动化, 2019, 38(3): 83-87.

[8] 2010, 39(2): 1-8.

[7] 华振宇, 徐大诚. 硅压阻式压力传感器误差修正算法的 FPGA 实现[J]. 传感器与微系统, 2017, 36(2): 101-103, 106.

[8] 葛伟, 齐志, 温闻, 等. 多种中值滤波算法在可重构架构上的映射实现[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2014, 44(4): 697-701.

[9] 肖荣清, 伍济钢, 饶春晓. 基于 PMAC 的自动投球机器人控制系统[J]. 武汉大学学报(工学版), 2004, 37(2): 65-68.

[10] 戈瑜. 机器人传感器的研究与发展[J]. 高技术通讯, 1992(2): 1-5.

[11] 张旭, 开学广, 李世光, 等. 基于 STM32 电力数据采集系统的设计[J]. 电子测量技术, 2010, 33(11): 90-93.

[12] 严海荣. 嵌入式微处理器原理与应用: 基于 ARM Cortex-M3 微控制器(STM32 系列)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2014: 96-97.