

doi: 10.7690/bgzd.2015.12.019

基于区域划分和边角处理的机器鱼协作策略

原鑫^{1,2,3}, 李擎^{1,2,3}, 苏中^{1,2,3}, 刘福朝^{1,2,3}

(1. 北京信息科技大学, 北京 100192; 2. 高动态导航技术北京市重点实验室, 北京 100101;
3. 智能控制研究所, 北京 100101)

摘要: 针对水中机器人全局视觉水球 2VS2 比赛中出现的水球位于边角的特殊情况, 提出一种基于比赛场地的区域划分和边角处理的协作比赛策略。通过对比赛场地的划分, 划定了 2 条机器鱼各自负责的区域, 并利用机器鱼顶球方式建立机器鱼运动模型。基于水球位于 4 个边角的问题, 讨论了 3 种协作方式的利弊, 得出执行边角处理时采用 1 条机器鱼处理边角球, 1 条机器鱼游到合适的位置进行防守的协作策略为最优。在水中机器人平台上进行协作顶球实验验证, 实验结果表明: 该方法缩短了处理边角球、边界球的时间, 提高了机器鱼的协作和进攻效率, 使得水球总是朝着有利于己方的方向运动。

关键词: 水球 2VS2; 机器鱼; 区域划分; 边角处理
中图分类号: TP242.3 **文献标志码:** A

Cooperative Strategy of Robot Fish Based on Region Partition and Edge Corner Processing

Yuan Xin^{1,2,3}, Li Qing^{1,2,3}, Su Zhong^{1,2,3}, Liu Fuchao^{1,2,3}

(1. Beijing Information Science & Technology University, Beijing 100192, China;
2. Beijing Key Laboratory of High Dynamic Navigation Technology, Beijing 100101, China;
3. Institute of Intelligence Control, Beijing 100101, China)

Abstract: For the special circumstances, which in underwater robot global vision water polo 2VS2 games water polo is located in the edge corner, a venue of the regional partition and edge corner processing based on cooperative game strategy is proposed in this paper. The competition area is divided into different parts that two robotic fishes are separately responsible for their own part, and robotic fish motion model is established by using the ball-pushing movement. Based on the problem that water polo is located in the four edge corners, we discussed the advantages and disadvantages of the three kinds of collaboration, find the cooperative strategy which one robotic fish processes the edge corner case and at the same time the other fish swims to the suitable position for defense is the best. The experimental results that executed in the underwater robot platform show that: this strategy can improve the cooperation ability and scoring efficiency of two robot fishes, shorten the time of processing water polo which is located in edge corner and make water polo movement always in our favor.

Keywords: water polo 2VS2; robotic fish; region partition; edge corner processing

0 引言

国际水中机器人大赛是一项以智能仿生机器鱼为主题, 在水中进行的竞赛, 其中包括竞速、花样游泳和水球比赛等。水中机器人竞赛既有很强的技术挑战性, 又有很高的观赏性, 是科研和科普的完美结合, 是培养创新人才, 普及和推广机器人技术, 孕育机器人产业的重要平台^[1]。全局视觉组的水球 2VS2 项目除了涉及到机器人足球所涉及到的各种技术之外, 还涉及到水动力分析, 水中通信、图像处理, 抗干扰技术等内容, 难度更大, 技术更复杂。此外, 2VS2 的比赛项目更加考验 2 条机器鱼的分工

协作能力和快速响应能力。基于此, 笔者把比赛场地进行了区域划分, 2 条鱼各自负责一定的区域, 完成进攻或者防守任务。针对比赛中水球位于边角的特殊情况, 笔者提出了一种边角处理策略, 使得水球总是朝着有利于己方的方向运动。

1 区域划分

1.1 场地介绍

比赛场地为长方形水池, 包括 2 台比赛电脑、1 个支架、2 个摄像头、2 套球门、2 个无线通信模块。水池内部矩形区域为最终的有效比赛场地, 不包括水池壁及球门架两侧区域, 有效比赛场地尺寸为

收稿日期: 2015-08-14; 修回日期: 2015-09-16

基金项目: 国家自然科学基金(61261160497); 国家自然科学基金(61201417); 北京市科技计划课题(Z131100005313009)

作者简介: 原鑫(1990—), 男, 河北人, 硕士, 从事无人车、机器人等研究。

2 700 mm×2 000 mm×300 mm(长×宽×高), 如图 1 所示。

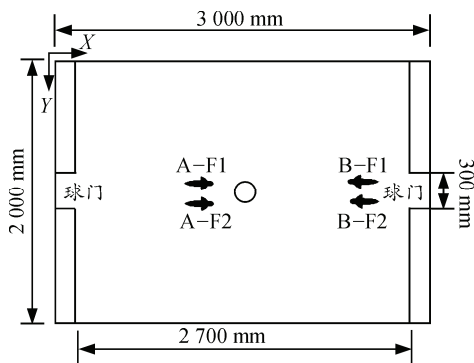


图 1 比赛场地

1.2 场地区域的划分

为了便于 2 条机器鱼的协作分工控制, 以向右进攻为例, 把比赛场地划分为若干个子区域^[2]: 子区域的划分不能过多, 否则会使程序变得冗长易出错, 计算时间也会相应增加; 子区域的划分也不能过少, 不能简单地一分为二, 使机器鱼无法始终执行对己方比赛有利的动作。基于以上两点, 笔者把比赛场地划分为如图 2 所示的几个区域, 划分情况如下式:

$$0 < R_i < S (i = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6) \bigcup_{i=0}^6 R_i = S. \quad (1)$$

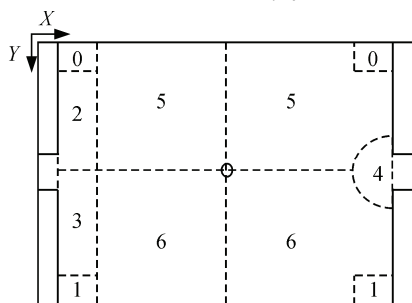


图 2 场地分区

其中区域 0、区域 1、区域 2 和区域 3 属于特殊区域, 需要用边角处理的协作顶球策略, 其余区域用一般的顶球方式。

对机器鱼的分工协作有具体的任务要求, 1 号机器鱼和 2 号机器鱼分别位于两球门中点连线的上下两侧。1 号机器鱼负责区域 0、区域 2 和区域 5; 2 号机器鱼负责区域 1、区域 3 和区域 6; 其中当球位于区域 4 时, 说明已很接近对方的球门, 此时需要 2 条机器鱼都负责来顶球, 使球最大可能地打进球门。

2 机器鱼顶球方式及其运动模型

2.1 机器鱼顶球方式

机器鱼采用头部顶球的顶球方式^[3]。由于机器鱼各个关节的衔接机理并不是简单的铰链连接^[4], 机器鱼鱼尾的自由摆动及与障碍物的碰撞将导致水球的不可控, 而且用头部顶球时可以最大化地利用机器鱼接近水球时形成的水波来推动水球, 使水球始终向着有利于己方的方向运动。

头部顶球方式如图 3 所示。过目标球门上侧的直角点做球下侧的切线, 过目标球门下侧的直角点做球上侧的切线, 形成如图 3 中的阴影区域。机器鱼在此区域实施头部顶球时, 若无敌方鱼的干扰, 可以有效地将球向前推进, 顶到目标球门区域^[5]; 如有敌方鱼的干扰, 也可以最大化地利用水的波动推动球向目标球门运动。

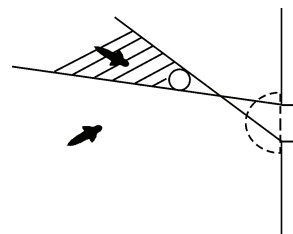


图 3 头部顶球示意图

2.2 机器鱼的运动模型

鱼类游动过程中, 按照波动推进理论, 通过身体的波动, 把水对鱼身体的反作用力转换为前向的推进力和侧向分力, 整个身体波动产生的侧向分力相互消减, 推动身体向前运动, 同时充分利用涡流的作用, 对产生的涡流进行能量回收, 提高游动效率。鱼体波动的方程为

$$y_b(x, t) = (c_1 x + c_2 x^2) \sin(kx + ft). \quad (2)$$

其中: y_b 为鱼体横向摆动的幅度; $k = 2\pi / \lambda$, λ 为身体波的波长; f 为身体波的频率。

然而由于流体环境的复杂性, 目前很难为机器鱼建立精确的水动力学模型; 因此, 在实际操作中通过实验测量获得机器鱼的线速度和角速度。以 v 表示机器鱼的线速度; 以 ω 表示角速度; (x, y) 表示机器鱼头部的位置点; γ 表示鱼头的方向。如图 4 所示。那么机器鱼的运动具有以下非完整约束, 如下式所示:

$$\dot{y} - \dot{x} \tan \gamma = 0. \quad (3)$$

即

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \gamma & 0 \\ \sin \gamma & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v \\ \omega \end{pmatrix} \quad (4)$$

给定一个目标位置 $P(x',y')$ ，以 (r,φ) 表示 $P(x',y')$ 在机器鱼坐标系下的极坐标， c_1 和 c_2 为 2 个正常数。为了保证机器鱼的位置稳定地收敛到目标点 $P(x',y')$ ，有

$$\left. \begin{aligned} v &= c_1 r \cos \varphi \\ \omega &= c_2 \varphi + c_1 \sin \varphi \cos \varphi, \varphi \in [-\pi, \pi] \\ c_1, c_2 &> 0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

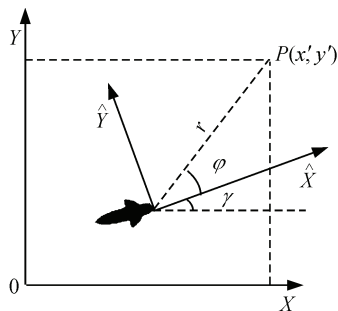


图 4 机器鱼运动学模型

3 边角处理策略

当水球位于特殊区域，即区域 0、区域 1、区域 2 和区域 3 时，机器鱼用一般的头部顶球方式处理区域 0 和区域 1 这样的边角球时需要耗费很长的时间，达到的效果也不理想；处理区域 2 和区域 3 这样的边界球时容易把球顶向己方球门附近，利于敌方机器鱼的进攻，甚至可能造成乌龙球。基于以上问题，笔者提出了一种特定的顶球协作策略，即边角处理策略。

3.1 协作方式

边角处理策略的根本是要遵守“利于己方”的原则。当其中一条机器鱼处理边角球时，另外一条机器鱼有 3 种协作方式，如图 5 所示。

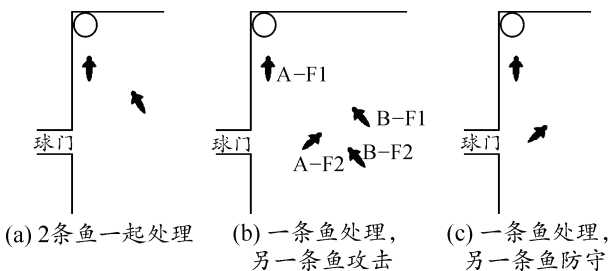


图 5 机器鱼的 3 种协作方式

- 1) 2 条鱼一起处理边角球。
- 2) 一条鱼处理边角球，另一条鱼负责攻击敌方

的机器鱼，阻碍其干扰己方鱼对边角球的动作执行。

3) 一条鱼负责处理边角球，另一条鱼游到合适的位置做好防守准备。

经过试验可得：图 5 中(a)的 2 条机器鱼一起处理边角球时会出现动作重叠，相互干扰对方的动作；(b)中己方机器鱼对敌方鱼的攻击效果不理想，不能有效阻碍他们的运动；而(c)中的方案既可以处理边角球又能提前做好防守准备，是比较理想的协作方式。综上所述：在执行边角处理时采用一条机器鱼处理边角球，另一条机器鱼游到合适的位置进行防守的协作策略为最优。

3.2 处理策略

1 号机器鱼负责处理区域 0 和区域 2 中的球，2 号机器鱼负责处理区域 1 和区域 3 中的球。当水球位于己方的区域 0 时，如图 6 中(a)所示，1 号机器鱼以垂直角度从贴近底边的方向切入水球与底、侧边死角，把水球从死角中切出来；当水球位于对方的区域 0 时，如图 6 中(b)所示，1 号机器鱼以垂直角度从贴近侧边的方向切入水球与底、侧边死角，把水球从死角中切出来；当水球位于区域 2 时，如图 6 中(e)所示，1 号机器鱼需要调整姿态以头部朝向己方的区域 0 方向来顶球，这样即使无法以最佳方式顶到球，也可以利用机器鱼游向球时形成的水波来推动球远离己方球门，最大限度地避免出现乌龙球；当球位于区域 1 和区域 3 时，2 号机器鱼做相同的处理，遵守“利于己方”的原则把球朝远离己方球门的方向推动。具体的处理动作如图 6 所示。

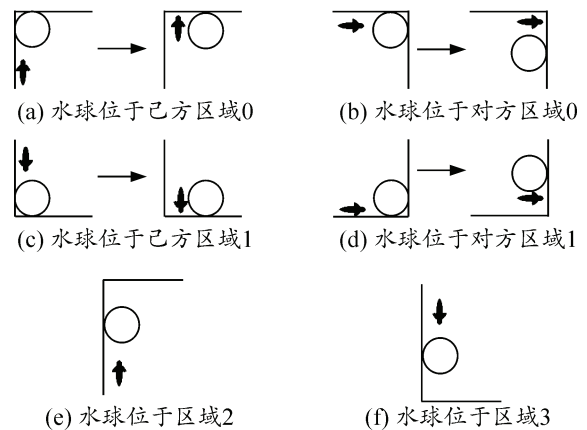


图 6 边角处理动作示意图

3.3 策略流程

3.3.1 一般区域的策略流程

机器鱼通过接收球的位置坐标来判断自身是否位于球和目标球门之间，若鱼位于球与目标球门之

间, 则机器鱼先游到球的另一侧, 再判断鱼是否位于如图 3 中所示的顶球区域, 以调整位置姿态实现最有效的顶球。策略流程如图 7。

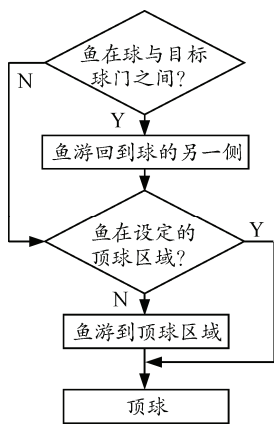


图 7 一般策略流程

3.3.2 总体策略流程

当水球位于机器鱼自己负责的区域时, 先判断水球所处的区域, 进而确定采用什么样的顶球策略。当水球不在机器鱼自己负责的区域时, 判断水球位于对方半场还是己方半场, 若水球在对方半场, 水球可能会由于敌方的机器鱼或者由于自身的漂移到达自己负责区域, 为使机器鱼在那时能更快地处理, 让该机器鱼游到发球点附近待命; 若水球在己方半场, 此机器鱼需要游到己方球门附近来防守, 做好尽快把球顶出己方半场的准备。策略流程如图 8。

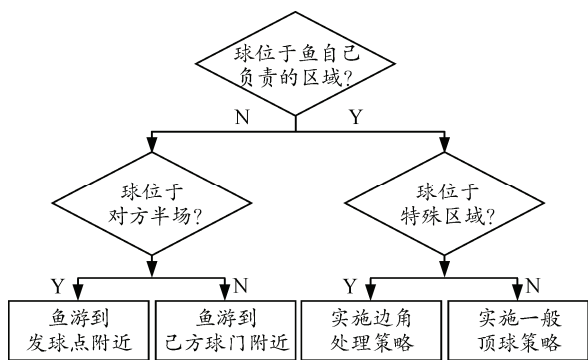


图 8 总体策略流程

4 实验分析

笔者采用该策略在水中机器人平台上进行协作顶球实验验证。实验情况如图 9。图 9 中的(a)是水

球处在边角的情况, 机器鱼实施边角处理策略; 图(b)是处理后水球被顶出的状态; 图(c)是水球处于底侧边界区域时鱼的处理状态; 图(d)是水球位于对方球门附近区域时 2 条鱼的协作顶球。

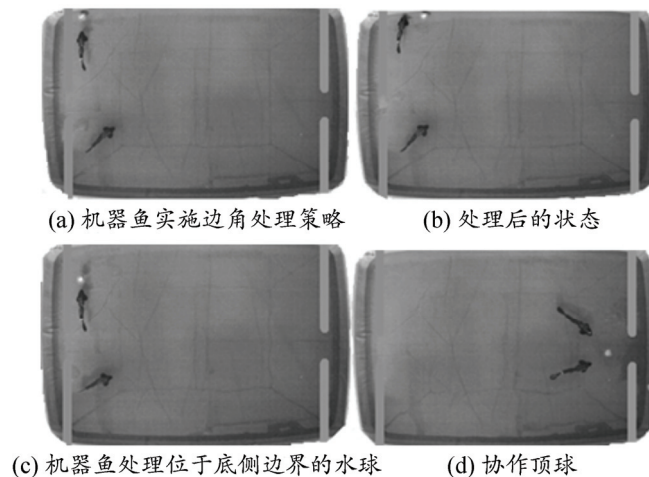


图 9 策略验证实验

实验结果表明: 机器鱼采用该策略能很好地处理水球位于边角及边界区域时的情况, 但也出现过在 5 min 内不能完成进球的情况, 说明该策略在顶球算法上还有待改进。

5 总结

该策略是在对场地区域划分的基础上提出的边角处理协作方式, 充分考虑到了水下环境的复杂性, 分配给 2 条机器鱼各自分工负责的区域, 在处理边角情况时能高效地完成顶球。该策略可提高 2 条鱼的协作能力, 使水球朝着有利于己方的方向运动, 更容易在比赛中取得优势。

参考文献:

- [1] 谢广明. 机器人水球比赛项目推介书[M]. 北京: 北京工业大学, 2009: 1-5.
- [2] 张明, 蒋玉莲, 丁勇. 基于任务规划的多机器鱼协作策略[J]. 兵工自动化, 2012, 32(11): 83-86.
- [3] 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.
- [4] 黄伯崢, 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.
- [5] 刘甜甜, 徐灿, 陈言俊. 基于有效区域和有效方向的全局顶球策略[J]. 兵工自动化, 2013, 32(12): 69-71.