

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.11.015

机器鱼比赛中的协作策略

覃勇¹, 李宗刚¹, 谢广明²

(1. 兰州交通大学机电工程学院, 兰州 730070; 2. 北京大学工学院, 北京 100871)

摘要: 通过建立反映控制对象定位信息的环境模型, 针对多机器鱼协作顶球策略进行研究。提出通过多竞标函数与模糊控制规则进行动态任务分配, 实现多机器鱼协调控制的算法。实验结果表明, 采用所提控制策略, 机器鱼能快速地完成协作顶球任务。

关键词: 机器鱼; 多竞标函数; 任务分配

中图分类号: TP242 **文献标志码:** A

Collaborative Strategy in Robot Fish Game

Qin Yong¹, Li Zonggang¹, Xie Guangming²

(1. School of Mechanical & Electrical Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China;

2. College of Engineering, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: An environment model is first established to reflect the positioning information of control object, and researched the multiple robot fish collaborative strategy. Put forwards the algorithm that realizing multiple robot fish bid control algorithm by dynamic task assignment to carry out multi-bid function and fuzzy logic rule. The results of experiment show that the presented method is valid for multiple robot fish to push ball quickly.

Key words: robot fish; multi-bid function; task assignment

0 引言

多机器人协作是机器人研究领域的重要内容^[1]。众所周知, 单一机器人在完成某些任务时非常困难。为了弥补单一机器人的缺陷, 可通过多个机器人协作提高完成任务的效率。机器鱼水球比赛平台结合电子技术、通讯技术、人工智能、自动控制、流体力学、图像处理与目标识别等学科, 在一个具有对抗性与动态环境时变性的环境中, 为多机器人控制研究提供了一个良好的研究平台^[2]。

目前协作策略中任务的分配方法主要有 2 种: 一种是固定的分配方式; 另一种是动态的分配方式。前者是为每个机器人分配固定的任务, 其优点是机器人之间的任务分工明确, 但同时限定了机器人在不同场景中的灵活应变能力。动态分配方式的优点在于机器人根据场上的情况动态地决定其将要执行的任务, 具有良好的灵活性和高效性。2 种方法在机器人比赛中应用广泛, 尤其是动态任务的分配方法。笔者根据多个竞标函数^[3]及有利完成任务的原则, 并结合模糊控制规则, 给场上的机器鱼动态分配任务。该协作方法不需要大量的计算, 在动态变化的环境中具有很强的实时性, 能顺利完成

协作顶球任务。

1 机器鱼协作系统

多机器鱼协作系统^[4]可描述为: 多条机器鱼在一个实时、噪声及对抗的环境下, 通过协作、配合完成一个共同的目标或任务。面对复杂的任务, 机器鱼群体如何协调好各自的任务和整体的目标, 如何避免相互间的碰撞和死锁, 是多机器鱼协作系统实时决策中的一个基本问题。协作系统中预先设定的协作策略与控制原则是提高整个系统实际控制效率的主要方法。

1.1 系统描述

多机器鱼协作系统主要由 4 个子系统组成^[5]: 机器鱼子系统、图像采集子系统、决策子系统和无线通信子系统。摄像头 (CCD 相机) 采集机器鱼的运动信息和环境信息, 经图像识别后, 作为决策输入量, 经过决策子系统进行分析与决策; 决策系统的输出通过无线通讯子系统发送给机器鱼子系统, 从而控制多机器鱼的协作行为。

1.2 环境描述

在多水下机器人协作控制平台中, 通过视觉系

收稿日期: 2012-06-29; 修回日期: 2012-07-17

基金项目: 国家自然科学基金项目 (61064008); 教育部科学技术研究重点项目 (2111185); 甘肃省自然科学基金 (1112RJZA042)

作者简介: 覃勇 (1987—), 男, 重庆人, 硕士研究生, 从事机器人控制研究。

统获取场上物体图像。图像处理系统根据获取的图像信息计算出包括球、机器鱼和球门等目标的位置坐标。通过计算也能得到例如己方机器鱼的身份代码(每一条机器鱼都有各自不同的身份代码)、对方机器鱼的运动方向和速度等。

2 策略

根据这些信息在决策子系统中给机器鱼设置不同的任务, 包括主攻、助攻、防守和守门等任务。最简单任务分配策略是在整个比赛中都不改变机器鱼固有的任务。然而, 永久的固定易引起不希望的情况发生, 如即使球离机器鱼很近但却不在它的任务范围之内, 或者当机器鱼进入了防守的范围时, 却放弃了它作为进攻者的控球权; 因此, 决策子系统中要避免前面提到的情况发生, 需要合理的协作方法和控制原则。

为了便于判断, 使用竞标函数进行机器鱼之间角色权重的比较。竞标函数由机器鱼到球的距离和机器鱼到球的方向 2 个变量组成。由于很难根据不同的情况把不同的情形特殊化成一个适当评价数值, 因此用竞标函数来描述复杂的行为进行机器鱼动态任务规划就变得非常必要。

2.1 多竞标函数的任务分配

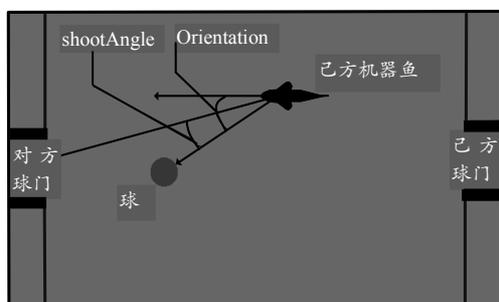


图 1 参数图示说明

合理的任务分配能够避免机器鱼同时抢球时的冲突, 以及防止没有指派任何一条机器鱼抢球的情形发生。然而, 仅仅简单地根据机器鱼到球的距离进行任务分配, 在竞争性很强, 场上环境动态变化的比赛中是不适合的。在一个连续、动态的环境中, 不但机器鱼到球的距离快速变化着, 而且机器鱼的位姿信息也不停变化。其中不但要避免同队之间的相互碰撞, 还要避免和对手之间的冲撞。比赛的主要目的是得分, 如果当机器鱼的位姿处于较好的顶球位置时, 一定要抓住机会争取快速顶球得分; 因此, 一个有效、合理的任务分配方式在策略中就变

得及其重要。策略中的参数设置主要包括机器鱼到球的距离 (Distance To Ball)、机器鱼的方向和机器鱼到球的方向的夹角 (Orientation) 和机器鱼到球的方向和机器鱼到球的方向夹角 (Shoot Angle), 如图 1 所示。

2.2 量化参数

分别计算 2 条机器鱼到球的距离, 并找出最短距离 (Distance To Ball_{min}); 然后通过最短距离与机器鱼到球的距离的比值 u_D , 如公式 (1)。到球的距离最近的机器鱼的比值将为 1.0。

$$u_D = \frac{\text{Distance To Ball}_{\min}}{\text{Distance To Ball}} \quad (1)$$

通过余弦函数对参数 Orientation 和 Shoot Angle 进行量化, 并规定顺时针的方向为正。当 Orientation 和 Shoot Angle 的值在 $[-\pi/2, \pi/2]$ 时, 其量化值分别 u_O 和 u_S , 如公式 (2) 和公式 (3)。其他情况下取值为 0。

$$u_O = \cos(\text{Orientation}) \quad (2)$$

$$u_S = \cos(\text{Shoot Angle})$$

分别计算出每条机器鱼的 3 个参数以后, 对每条机器鱼的 3 个参数进行求和, 如式 (3)

$$f_{\text{bid}} = u_D + u_O + u_S \quad (3)$$

取值最大的机器鱼的任务将被分配为主攻。余下的机器鱼的任务将根据场上的形式进行分配。

2.3 任务分配方法

任务分配的主要目的是便于协作及完成任务的效率, 任务分配原则^[5-6]主要有:

1) 主攻原则。任务的主要目的在于尽快地控制球, 并能适当地调整射门角度, 根据球的位置及自身的位姿选择动作, 不需要考虑路径中的障碍物, 而是本方其他机器鱼主动避让或者清理存在的障碍物。

2) 助攻原则。当本方主攻在对方半场处理球时, 助攻队员应主动向对方球门靠近, 以备随时转换为主攻角色; 而当球在本方半场时, 助攻者返回到中场附近, 不要求其靠近己方球门, 保持与球的纵向坐标相同位置, 以接应主攻的机器鱼。

3) 防守原则。当球在己方半场时, 则要求协作的机器鱼返回己方球门附近, 以备随时出击。

4) 守门原则。当球在接近己方球门时, 此时主要的任务是防守, 尽可能地将球顶出靠近球门的区域。

基于模糊逻辑的任务分配方法^[7]。设 $IN = \{A_1, A_2\}$

为输入集合，其中 A_1, A_2 分别表示球的位置和球的运动方向；设 $OUT=\{B_1, B_2, B_3, B_4\}$ 为输出集合，其中 B_1, B_2, B_3, B_4 分别表示全力进攻，偏重进攻，攻守平衡，全力防守。

球的位置：根据球到对方球门的距离，分为靠近，较近，较远，远离；球的运动方向：根据球的运动方与球到球门方向连线的夹角，分为准确，较准，较偏，偏离。

全力进攻：一条机器鱼主攻，另一条机器鱼助攻；偏重进攻：一条机器鱼主攻，另一条机器鱼防守；攻守平衡：一条机器鱼主攻，另一条机器鱼守门；全力防守：一条机器鱼防守，另一条机器鱼守门。

运用模糊逻辑规则决定攻防任务，其语言规则如表 1。

表 1 语言规则

$A_1 \setminus A_2$	靠近	较近	较远	远离
准确	B_1	B_1	B_1	B_3
较准	B_1	B_1	B_1	B_4
较偏	B_1	B_2	B_3	B_4
偏离	B_2	B_2	B_3	B_4

2.4 任务分配周期

多机器鱼协作平台中，策略的运行周期在 40 ms 左右。实际比赛中，不要求以很快的频率进行任务分配，通常将其设置为 800 ms 左右。计算竞标函数值与通讯模块发送信息的频率相同，即每 40 ms 会向机器鱼发送一次任务的动作指令。在一个任务分配周期中计算 20 次，20 次的函数值进行均值滤波，并将该值作为最终的竞标值^[8]，有

$$\overline{f_{bid}} = \sum_{i=1}^{20} f_{bid_i} / n。$$

3 实验分析

在多机器鱼控制平台^[9]对协作策略进行验证，全局视觉^[10]中场地信息如图 2 水池信息所示。水池长 300 cm，宽 200 cm，球门宽 40 cm。

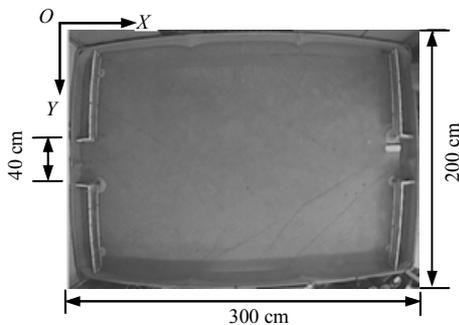


图 2 水池信息

图 3 显示其中一条机器鱼距离球较近，机器鱼的方向与机器鱼到球的方向较小，并且机器鱼的方向

向与球到球门的方向较小，球在有利进攻的位置。此时，有利进攻的机器鱼的任务被分配为负责进攻，并且快速游向顶球点；另一条机器鱼的任务为负责助攻，缓慢游向球。

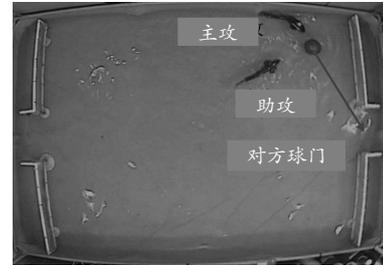


图 3 全力进攻

图 4 显示球在不利于进攻的位置，但其中一条机器鱼同样有利于顶球。此时，有利于顶球的机器鱼的任务被分配为进攻，机器鱼快速游向顶球点；另一条机器鱼的任务则被分配为防守，并调整位姿以便于在有利的条件下被分配为负责进攻。

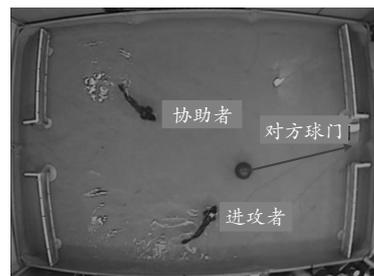


图 4 偏重进攻

图 5 显示球在不利于进攻的位置并且比较靠近球门，其中有利于进攻的机器鱼将被分配为负责进攻，机器鱼快速游向顶球点，以便于将球顶出危险区域；另一条机器鱼将被分配为负责守门，游向球门区域，以便于在球靠近球门的时候快速地将球顶向安全区域。

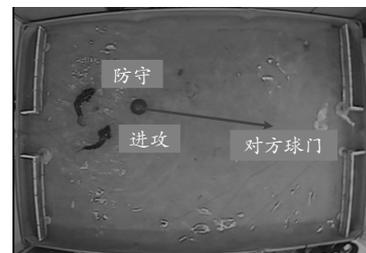


图 5 攻守平衡

图 6 为球靠近我方球门，有利于顶到球的机器鱼将被分配为负责防守，另一条机器被分配为负责守门。防守的机器鱼快速游向顶球点以便将球顶出危险区域；负责守门的机器鱼将调整位姿，以便在有利于顶到球的情况下，被分配为负责防守的任务。