

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.11.022

基于任务规划的多机器鱼协作策略

张明, 蒋玉莲, 丁勇

(西南民族大学电气信息工程学院, 成都 610041)

摘要: 为解决 2D 仿真机器鱼比赛中多鱼对抗项目的任务分工、整体合作及实时动态调整问题, 提出基于多机器鱼协作任务规划原理的协作策略。根据机器鱼自身完成任务的能力和效率, 将给定的任务分解和分配, 按照各比赛项目的特征分别采取不同的协作策略: 对 2vs2 采用群协作分配方式, 5vs5 项目采用集中分配方式, 并设计了三鱼协作队形以提高动作的有效性。仿真结果表明: 该协作任务规划方法可增强多鱼的协作能力、动态调整能力和进球率, 较好地满足了多机器鱼系统的控制要求。

关键词: 机器鱼; 协作; 任务规划; 策略

中图分类号: TP242 **文献标志码:** A

Multiple Robot Fish Cooperation Strategy Based on Mission Planning

Zhang Ming, Jiang Yulian, Ding Yong

(School of Electric & Information Engineering, Southwest University for Nationalities, Chengdu 610041, China)

Abstract: To solve the problems of task division, cooperation and real-time dynamic adjustment in the 2D simulation robot fish game, this paper proposes the strategy based on the principle of multiple robot cooperative mission planning. Decompose and assign the task according to the capacity and efficiency of each robot fish. In terms of the characteristics of competition, we take corresponding strategy: in 2 vs 2 competition, the strategy is assigning the tasks among the fishes in cooperation pattern. The strategy of 5 vs 5 competition is assigning the tasks among fishes in master-slave pattern. At the same time, we design collaborative formation of three fishes to improve the efficient. The result shows that these strategies can enhance fishes' cooperation ability, dynamic adjustment ability and the rate of scoring, meet the control requirements of multiple robot fishes system.

Key words: robot fish; cooperation; mission planning; strategy

0 引言

水下机器人是人类开发利用海洋资源的重要手段。由于仿生机器鱼具有效率高、机动性好、噪音低等特点, 成为机器人研究领域的热点之一^[1]。中国水中机器人比赛则为大学生研究机器鱼的仿生特性、机械原理及控制方式搭建了良好的平台。在 2D 仿真机器鱼比赛中, 大多数项目为多条机器鱼参加任务, 如何对多鱼进行合理分工且使其默契协作, 是目前迫切需要解决的问题。笔者基于多机器人协作任务规划原理, 提出基于多机器鱼协作任务规划原理的协作策略。

1 多机器人协作任务规划原理

1.1 任务分解

机器人需要根据自身完成任务的能力和效率, 将给定的任务分解成若干子任务。一般有 2 种分解方法^[2]:

1) 按环境分解。当各个目标分散在广阔的工作

环境中时, 按照目标聚集的特点, 将整个工作区分解成若干个子区域, 针对每一个子区域目标的搜集任务就是一个独立的子任务。各个子任务之间相对独立, 便于控制与管理。

2) 按完成步骤分解。把整个任务分解成若干步骤来完成, 完成一件任务, 需要经过多个流程和环节, 每一个流程和环节之间相互联系, 相互影响, 某些时候还能相互转化。机器人只有把每个子任务依次完成, 才能完成整个任务。

1.2 任务动态分配

1) 群协作分配。

群协作就是大量个体间的协调与合作。自然界中, 蚂蚁、蜜蜂等, 尽管个体能力极其有限, 但依靠自己的本能和个体之间的交互, 利用移动规则、避障规则、觅食规则, 可完成许多复杂精密的任务^[3]。群协作的多机器人系统按照一定的结构、组织、模式结合起来可构成一个有机整体。在面对广阔的工作环境时, 机器人个体间表现为相互独立性,

收稿日期: 2012-06-29; 修回日期: 2012-07-10

基金项目: 西南民族大学大学生创新创业训练计划项目(201210656007); 西南民族大学科研项目(2012NFW002); 西南民族大学中央高校基本科研业务费专项项目(11NZYTD07)

作者简介: 张明(1991—), 男, 四川人, 本科, 从事信号处理与智能控制研究。

无意识地单独执行相关策略^[4-5],整体上则表现为彼此默契的协作性,对外部事件进行协商谈判,分配规划,分工协作。

2) 集中分配。

机器人在没有干扰的情况下,都认为有能力独立完成任务;但当环境发生动态变化时,或者出现外界干扰,或者超过了机器人自身的负荷,机器人便不再具备独立完成任务的能力,则需要当前机器人向其他机器人发出求助信号,通过协作共同完成任务。

1.3 多机器人协作流程设计

2D 仿真平台是一个自身建有二维坐标的空间区域,可自动返回机器人、水球等各个状态量的相关参数,供参赛队伍调用。在 2D 仿真机器人比赛的多鱼对抗项目中,可应用任务分解和任务动态分配的思想,制定多条机器人的协作策略,提高进球率,协作流程如图 1 所示。

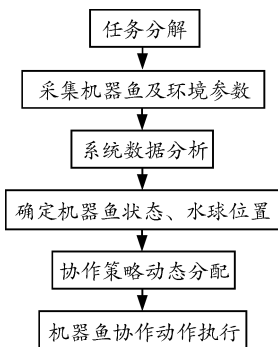


图 1 多机器人协作流程

其中,任务分解与协作策略动态分配是流程的重点,也是笔者讨论的主要内容。任务类型不同,则实现协作任务所需的体系结构也不同^[6]。基于多机器人协作的思想,根据各比赛项目的特征,分别采取不同的协作策略: 1) 2vs2 项目按环境进行任务分解,并设定优先级,机器人之间采用群协作分配方式; 2) 5vs5 项目较 2vs2 复杂,结合环境和完成步骤将任务分解为防守、传球、进攻,机器人之间采用集中分配方式,并设计了多鱼协作队形,以更好地实现防守、进攻、避障等动作。

2 2vs2 项目的协作策略

在 2vs2 抢球大作战项目中,场地中分布着 9 个水球、4 条仿真机器人(双方各 2 条鱼),在比赛规定时间内进球多者取胜。

2.1 空间分区

基于环境分解的思想,可将整个比赛场地划分

成适当数量的子区域,以最适宜控制为准。若子区域划分过细,则计算数据较复杂,程序代码也相应复杂,执行时间长;若子区域划分过大,则机器人动作执行不精确。根据实际情况,将场地划分为 7 个子区域,如式 (1)

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

其中 i 的编号顺序代表子区域优先级的高低,从而使子任务具有不同的执行优先级。图 2 为己方处于左半场时的分区示意;当己方处于右半场时,分区优先级相反。

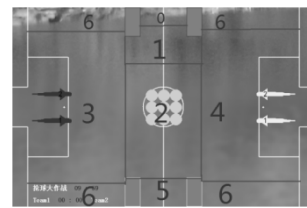


图 2 空间分区

根据带球的难易程度和比赛进展阶段,将子区域分为 2 类:一般区域和特殊区域,如式 (2)

$$\begin{aligned} \text{一般区域} &= R_1 \cup R_2 \cup R_3 \cup R_4, \\ \text{特殊区域} &= R_0 \cup R_5 \cup R_6 \end{aligned} \quad (2)$$

一般区域采用常规的协作策略;特殊区域采用特定的协作策略。

2.2 机器人的任务动态分配协作策略

2.2.1 一般区域的任务动态分配协作策略

给各个水球依次编号为 $i (i = 0, 1, \dots, 8)$,再定义一组布尔型标志变量 $F_i (i = 0, 1, \dots, 8)$ 并初始化为 0,则第 i 个水球的标志变量为 F_i ,每个水球便有了唯一的身份识别标志 (i, F_i) 。

首先,己方 1 号机器人扫描己方球门区域(判断释放球的区域 0),以确定己方进球数;接着机器人按优先级对其他区域进行扫描。若当前区域存在有效水球,则停止扫描,锁定该区域;若当前区域同时存在多个有效水球,则比较机器人与各水球的距离,置距离最近的水球 $F_i = 1$,即机器人只能顶该水球,计算机器人与水球之间的距离如式 (3)

$$r_i = \sqrt{(X_f - X_b)^2 + (Z_f - Z_b)^2} \quad (3)$$

式中: r_i 是机器人与水球 i 的距离; (X_f, Z_f) 为机器人的中心点坐标; (X_b, Z_b) 为水球的中心点坐标。

接着,2 号机器人重复 1 号机器人的识别动作。为防止己方机器人因同时顶一个球而引起混乱,故

2 号鱼从标志量 $F_i = 0$ 的水球中, 即从剩下的水球中搜索。如果水球被顶进了区域 0, 释放该水球, 重新置其 $F_i = 0$ 。

2.2.2 特殊区域的任务动态分配协作策略

1) 区域 6 中, 机器鱼与障碍发生碰撞的几率较大, 降低了带球的稳定性。由于机器鱼以寻找最佳顶球点^[7]、用头顶球的方式带球, 一旦在顶球过程中失去最佳顶球点, 就必须重新找球。区域 6 的特殊环境会使机器鱼始终处于找球状态。若机器鱼改用身体蹭球, 将球挤出区域 6, 会降低进球效率; 因此在比赛中, 为达到快速进球的目的, 往往放弃区域 6 中的水球, 或者无球可顶时才考虑区域 6 中的水球。

2) 水球进入区域 5, 控制策略即认为对方进球。笔者编写了程序用于统计对方进球数 `goal_oppo` 和己方进球数 `goal_self`, 以确定己方下一步是否执行掏球动作。

```
for (int j = 0; j < 9; j++)
{
    status_ball[j].whereball=JudgeBallPrio(ball.EnvRef.Balls[j].PositionMm.X,
    ball.EnvRef.Balls[j].PositionMm.Z);
    if (0 == status_ball[j].whereball)
    {
        goal_self++;
    }
    else if (5 == status_ball[j].whereball)
    {
        goal_oppo++;
    }
}
if (goal_oppo >= goal_self || goal_oppo >= 3)
{
    flag_out = true;
}
```

通过对 `goal_oppo` 与 `goal_self` 的分析, 确定当前机器鱼的协作策略。若己方无有效水球可顶, 则己方执行 2 条机器鱼同时去掏对方球门中的球的策略; 若某个高优先级区域尚存在有效水球, 则执行由任意一条机器鱼去掏对方球门中的球, 另一条机器鱼向己方球门中顶球的策略。

3 5vs5 项目的协作策略

2vs2 项目中, 由于搜索目标较多 (共 9 个水球), 各鱼之间的竞争相对较小, 协作相对容易。但在 5vs5

项目中, 数量众多的双方机器鱼争夺 1 个水球, 此时仅依靠前述协作方式显然不够。下面分析这种复杂情况下的协作策略。

3.1 比赛环境和步骤分解

结合按环境分解和按完成步骤分解的方式, 将整个比赛场地划分为 3 大部分, 后场用于机器鱼的防守, 中场用于传球, 前场用于进攻和射门。如图 3 所示 (设左半场为己方队伍)。

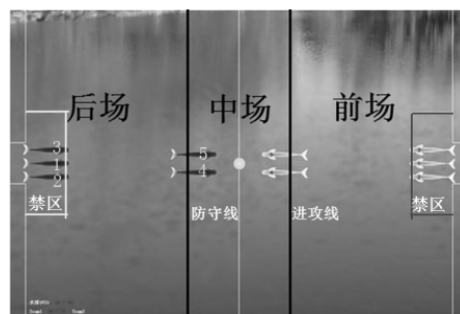


图 3 5vs5 项目任务分解

其中: 1 号为自由鱼; 2、3 号为防守鱼; 4、5 号为进攻鱼, 比赛过程中各区域的机器鱼被分配不同的角色, 承担相应的任务。

3.2 多机器鱼动态角色分配

1) 后场: 该区域为防守区, 策略目标为己方机器鱼拦截水球、防止对方进球, 夺取控球权。

当水球未进入后场时, 2、3 号防守鱼留在己方禁区线后, 根据检测到的水球位置及其运动状态, 不断调整自身的方向, 始终正对水球; 一旦检测到水球即将进入后场, 2、3 号鱼便立即启动, 高速冲向水球, 将水球顶进中场; 如果水球已进入后场, 特别是处于禁区时, 防守鱼极易碰撞水球误入球门造成“乌龙球”, 这需要己方机器鱼计算出最佳扑球方向与扑球点, 将水球尽早截下并顶出后场。

2) 中场: 该区域的策略目标为己方机器鱼带球避障往前场游动。

带球过程中, 采取离球最近的己方机器鱼为主攻, 另 2 条机器鱼分居主攻机器鱼两侧为助攻的策略, 如图 4 所示。

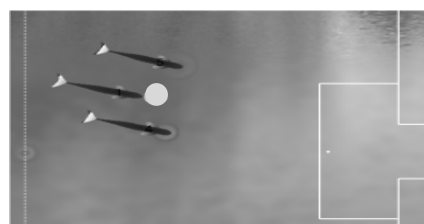


图 4 带球策略

当受到对方数条机器鱼围攻时, 己方主攻机器

鱼将避开对方机器鱼的拦截方向，将水球传给任意助攻鱼，己方助攻鱼接球后变为主攻鱼，继续向前带球。

3) 前场：该区域的策略目标为带球进攻。

机器鱼带球越过进攻线后，采取与中场相同的协作带球策略。射门时禁区的处理尤为重要，当水球进入对方禁区甚至更近时，远程进攻时采用的单个中心点瞄准方式不再能满足射门需求，因为机器鱼调节自身方向去对准单个中心点对应的最佳顶球点 G 所花费的时间较长。可设置多个中心点，以方便机器鱼选择最合适的射门中心点，进而提高进球率，机器鱼禁区射门如图 5。

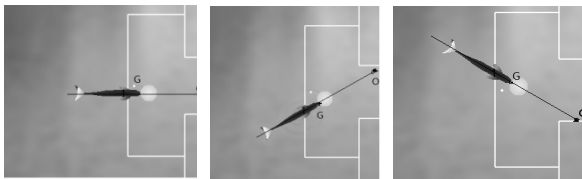


图 5 机器鱼禁区射门

笔者以机器鱼处于平台 Z 轴负方向为例，给出计算相应最佳顶球点的代码：

```

BGLenth =
GetLengthToDestpoint(mission.EnvRef.Balls[0].PositionMm.X, mission.EnvRef.Balls[0].PositionMm.Z, 1500, 100);
BGAngle =
GetAnyangle(mission.EnvRef.Balls[0].PositionMm.X, mission.EnvRef.Balls[0].PositionMm.Z, 1500, 100);
rdx = (float)((BGLenth + rd) *
Math.Cos(BGAngle));
rdz = (float)((BGLenth + rd) *
Math.Sin(BGAngle));
x = 1500 - rdx; z = -rdz+100;

```

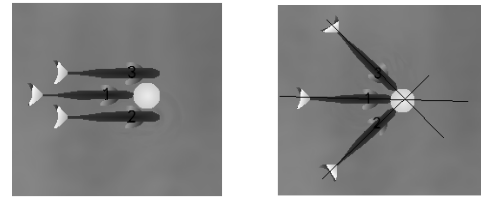
其中 GetLengthToDestpoint、GetAnyangle 为自定义分别返回距离、角度的子函数，rd 表示水球半径。

另外，射门过程中，若己方主攻鱼在距离球门很近处失去最佳顶球点，且已无法调整方向时，可由助攻鱼向前顶球或甩球，将球送入球门。

3.3 多机器鱼的带球队形设计

因水球容易发生漂移，依靠单鱼顶球不能保证良好的稳定性，因此可考虑使用三鱼带球队形。当水球进入己方防守区时，首先由己方 2、3 号防守鱼和 1 号自由鱼共同拦截对方进攻鱼，夺得水球后按照三鱼协作队形带球至中场；从中场至前场，则由己方 4、5 号进攻鱼替换 2、3 号防守鱼，继续保持

三鱼队形带球前进，三角带球队形如图 6。



(a) 平行队形 (b) 单点队形

图 6 三鱼带球队形

图 6(a)为平行队形，自由鱼 1 用头顶球；2、3 号防守鱼随 1 号自由鱼同步移动，一方面可纠正水球位置，令水球沿预设路径运动，不发生偏移；另一方面可阻止对方冲散和截断水球。但笔者在测试中发现，己方这三条机器鱼会互相碰撞，协作带球的稳定性不如预期。

图 6(b)为单点队形，3 条鱼均用头顶球。虽可增加机器鱼的活动空间、降低各鱼之间的干扰，但同时会对多鱼的稳定配合能力提出了较高要求，否则会造成水球受力不均，方向不确定性增加。另外，由于 2、3 号鱼牺牲了一部分水平方向速度，因此整体带球速度将变慢。

目前，三鱼带球队形还未取得理想的实验结果，笔者将在下一阶段致力于策略和程序的改进。

4 总结与展望

笔者引入任务分解、任务动态分配的思想，制定了 2D 仿真机器鱼比赛中多鱼对抗项目的协作控制策略。实验结果表明：该策略可增强机器鱼的协作能力、动态调整能力和进球率，较好地完成比赛要求。三鱼带球队形的改进、提速和避障等，将是笔者下一步研究的重点。

参考文献：

- [1] 刘祚时, 张海英, 林桂娟. 群体机器人研究的现状和发展[J]. 技术应用, 2004(1): 38-41.
- [2] 张家飞. 机器人群体协同任务规划与协调避碰[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学自动化学院, 2010(1): 34-43.
- [3] 薛颂东, 曾建潮. 机器人研究综述[J]. 模式识别与人工智能, 2008, 21(2): 177-185.
- [4] 丁滢颖, 何衍, 蒋静坪. 基于蚁群算法的多机器人协作策略[J]. 机器人, 2003, 25(5): 414-418.
- [5] 张叶蒙. 多仿生机器鱼协调控制研究[D]. 天津: 天津大学电气与自动化工程学院, 2010(6): 1-8.
- [6] 谭民, 范永, 徐国华. 机器人群体协作与控制的研究[J]. 机器人, 2001, 23(2): 178-182.
- [7] 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.