

doi: 10.7690/bgzd.2013.12.017

一种 2D 仿真水球 5VS5 比赛策略

卞迪, 夏庆锋

(南京大学金陵学院机器人实验室, 南京 210089)

摘要: 针对水中机器人 2D 仿真水球 5VS5 比赛的规则, 提出一种有效的多鱼协作带球与抢球方法。从速度控制、方向控制、顶球动作和智能反应 4 个方面进行单鱼动作设计, 在此基础上进行简化后增加特殊角度的设计, 采用动态顶球点和动态最优位置来设计协作带球, 并通过“领域智能算法”进行协作抢球。分析结果证明: 该策略能提高机器鱼之间的协作, 并在 2012 中国机器人大赛 2D 仿真水球 5VS5 项目中取得了亚军。

关键词: 机器鱼; 多鱼协作; 路径规划

中图分类号: TP242; TP301.6 **文献标志码:** A

A Game Strategy of 2D Simulation Water Polo 5VS5

Bian Di, Xia Qingfeng

(Laboratory of Robotics, Nanjing University Jinling College, Nanjing 210089, China)

Abstract: For the rules of the game of underwater robot 2D simulation water polo 5vs5, this thesis puts forward a kind of more effective method by multi-robot fish's collaborating dragging and grabbing the ball. The thesis mainly makes a design of a single fish movement from the speed control, direction control, heading action and intelligent response. On the bases, the special angle is used to simplify the design. In addition, dynamic head points and dynamic optimal position are adopted to design dragging the ball, and grabbing the ball is completed through the “field of the intelligent algorithm”. Analysis results show that: the strategy can enhance collaboration among robotic fish, and get the runner-up in 2012 China Robot Contest 2D simulation water polo 5VS5 project.

Key words: robot fish; multi-robot fish collaboration; path planning

0 引言

水中机器人比赛是中国机器人大赛的正式项目, 同时也是中国人的首创, 更有望成为世界标准赛事^[1]。比赛以仿生机器鱼在水池之中进行竞速、追逐和水球等形式展开。目前, 水中机器人比赛主要分为全局视觉组、自主视觉组、2D 仿真组和自由创意组 4 大类。笔者主要对中国水中机器人大赛的 2D 仿真组中水球(5:5)比赛策略进行研究, 以提高竞赛水平。

1 2D 仿真水球 5VS5 比赛介绍

2D 仿真水球(5:5)为对抗性比赛项目, 由 2 支队伍参与, 每支队伍 5 条仿真机器鱼, 在仿真场地上进行类似于足球规则的比赛^[2], 如图 1 所示。

其中, 仿真机器鱼由 1 个弧形鱼头、1 个矩形鱼体、3 个首尾相接底边长递减的等腰梯形鱼尾、1 个月牙形尾鳍以及 2 个扇形胸鳍构成, 比赛用球为半径为 58 mm 的圆形。各自队伍中第 1 号仿真机器鱼为自由队员, 可以在整个场地范围内游动, 第 2、3 号仿真机器鱼为后防队员, 不能越过进攻线; 第 4、

5 号仿真机器鱼为进攻队员, 不能游回防守线内。双方在规定的时间内通过多条机器鱼相互协作, 来模拟足球比赛中抢球、带球以及射门等一系列动作, 最终进球多者取得比赛胜利, 如果打成平局则通过加时或加赛的方式来排定成绩, 具体参见文献[3]。

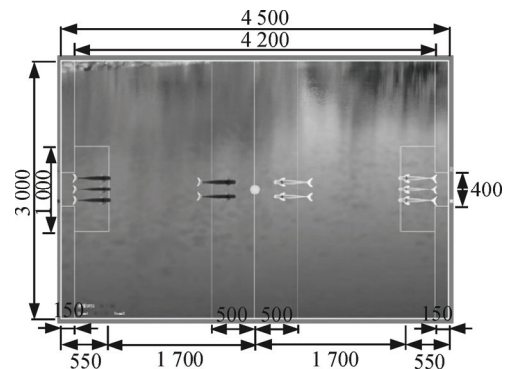


图 1 仿真比赛场地(单位: mm)

2 单鱼动作设计

本项目需要由多机器人协作完成, 对于单条机器鱼来说, 要想最终实现协作功能, 必须能够确保每一条鱼的功能足够齐全, 才有协作的基础, 因而协作的重中之重就是设计单鱼动作。根据比赛要求,

收稿日期: 2013-06-30; 修回日期: 2013-07-15

基金项目: 南京大学金陵学院 2012 年度教学改革与研究立项项目“《竞赛机器人》课程建设”(0010111231)

作者简介: 卞迪(1990—), 男, 江苏人, 本科在读, 从事通信工程专业研究。

单鱼动作设计的内容包括：速度控制、方向控制、顶球的动作、智能反应。

2.1 速度控制

单鱼速度控制设计的出发点是稳定性和时间。水中机器人比赛中的机器鱼的速度是通过档位来控制的，速度档位为 0~15，数字越大，速度越快。

2.1.1 近距离直游划分

为了达到直游的效果，应该使得在距离水球较近处，速度变化较为平滑，这样有利于仿真机器鱼游动的稳定性，具体的划分如下：取球体半径 R 的 3 倍长度作为直游划分距离(注：取 3 倍半径距离是实验得到的数据)，从距离球心 4 倍半径距离位置开始准备带球；对于速度档位的选择，笔者选取的是 6 个档位的渐变，即每个档位对应于一个球的半径距离的一半 ($r=R/2$)，如表 1 所示。

表 1 近距离速度划分方案

距离	速度档位	距离	速度档位
$r \times 1$	10	$r \times 4$	13
$r \times 2$	11	$r \times 5$	14
$r \times 3$	12	$r \times 6$	15

2.1.2 远距离速度划分

在距离水球较远处，机器鱼只要游得足够快即可，对于其游动的稳定性要求不是很高，因而不必要求速度档位的渐变、平滑。笔者取距离球的边缘 15 倍半径处开始划分远距离直游方案，并非按照等距离划分，而是按照一定的比例进行划分，如表 2。

表 2 远距离直游划分方案

比例	距离范围	档位
6	$(9 \sim 15)R$	15
3	$(6 \sim 9)R$	12
2	$(4 \sim 6)R$	11
1	$(3 \sim 4)R$	10

2.2 方向控制

仿真机器鱼的方向也是通过档位来控制的，方向档位为 0~14(0~6 档左转，0 档左偏转最大；8~14 右转，14 档右偏转最大；7 档不偏转)。方向控制的目标是在尽可能短的时间内实现平滑的偏转。

2.2.1 近距离角度划分

为了达到直游的效果，应该保证机器鱼能够迅速调整到与球之间需要转过的小角度范围，在 $\pm 3^\circ$ 内(注： 3° 为实验获取的数据)，在这个范围内调整角度时，需要比较平滑才有利于机器鱼比较稳定地控球，使得带球过程中不易丢球。具体的划分方案

如表 3 所示。

表 3 近距离角度划分方案

弧度角/rad	档位	弧度角/rad	档位
$0 \sim \frac{1}{480}\pi \times 1$	7	$-\frac{1}{480}\pi \times 1 \sim 0$	7
$\frac{1}{480}\pi \times 1 \sim \frac{1}{480}\pi \times 2$	8	$-\frac{1}{480}\pi \times 2 \sim -\frac{1}{480}\pi \times 1$	6
$\frac{1}{480}\pi \times 2 \sim \frac{1}{480}\pi \times 3$	9	$-\frac{1}{480}\pi \times 3 \sim -\frac{1}{480}\pi \times 2$	5
$\frac{1}{480}\pi \times 3 \sim \frac{1}{480}\pi \times 4$	10	$-\frac{1}{480}\pi \times 4 \sim -\frac{1}{480}\pi \times 3$	4
$\frac{1}{480}\pi \times 4 \sim \frac{1}{480}\pi \times 5$	11	$-\frac{1}{480}\pi \times 5 \sim -\frac{1}{480}\pi \times 4$	3
$\frac{1}{480}\pi \times 5 \sim \frac{1}{480}\pi \times 6$	12	$-\frac{1}{480}\pi \times 6 \sim -\frac{1}{480}\pi \times 5$	2
$\frac{1}{480}\pi \times 6 \sim \frac{1}{480}\pi \times 7$	13	$-\frac{1}{480}\pi \times 7 \sim -\frac{1}{480}\pi \times 6$	1
$\frac{1}{480}\pi \times 7 \sim \frac{1}{480}\pi \times 8$	14	$-\frac{1}{480}\pi \times 8 \sim -\frac{1}{480}\pi \times 7$	0

2.2.2 远距离角度划分

当机器鱼和目标点之间的距离比较远时，不需要角度偏转得太平滑，而应尽可能缩短到达目标的时间，这时对机器鱼游动的稳定性要求也不太高，因而没必要将机器鱼到目标点之间需要偏转的角度进行等分，这样才能尽量缩短时间，划分方法与上面类似。同时还要指出的是，这里讲的远距离只是一个相对概念，当这个距离逐渐变小的时候，就不能采用大幅度偏转，当距离逐渐减小的时候，对于不同的距离值范围，应该采用不同的角速度值，当距离值较小的时候，稳定性成为重点，当远距离时，缩短时间成为重点。

2.3 顶球设计

顶球设计的难点在于如何选取最佳顶球点。顶球点的设计应该考虑单鱼顶球时和多鱼顶球时顶球点的设计，这里重点讨论单鱼顶球点的设计。

在以往的比赛过程中，大部分设计者都会尝试将顶球点设在球心，但是多次调试试验的结果证明这样很容易将球顶偏。笔者在以前算法的基础上，经过大量的实验测试，最终确定将顶球点设在距离球心 40 mm 的地方，例如：对于我方为左半场时，球心坐标为 $(x, 0, z)$ ，则顶球点为 $(x-40, 0, z)$ 。

这套游动设计的优点是：能够有效区分距离与速度(Vcode)，角度与偏转速度(Tcode)，由于速度的设计与角度的设计不相干，因而简化了设计，实验效果也比较理想。这套游动设计的缺点是：因为速度设计与角度设计不相干，所以在一些特殊的角度下，速度并不能满足要求。基于此，笔者在上面的距离划分中，增加了特殊角度的 Vcode 设计，即

除了最后3个比例的划分，在每一段划分的距离范围中，增加一些特殊角度下对于Tcode的细化，但是主体Tcode不变。

3 多鱼协作带球与抢球设计

3.1 动态顶球点的设计

单鱼顶球过程中，球容易被顶偏，且容易丢球，多鱼协作顶球时，需要解决的问题是寻找处于最佳位置的鱼，用该鱼来顶球。

根据规则，在对方半场能够用来进攻的机器鱼的编号为：1、4、5，因而参赛选手需要设计的动态顶球点有3个，如何设计这3个顶球点就非常重要。仿真场地上只有1个球，如果3条鱼同时去争1个顶球点，则常出现3条鱼之间相互碰撞，不利于顶球。此现象尤其在双方争抢球时最为明显，此时特别容易丢球。为此笔者采用动态顶球点方法，具体如图2所示。

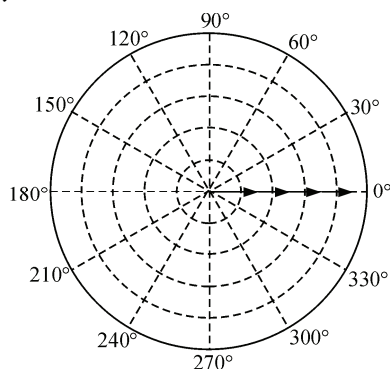


图2 动态顶球点法示意图

如图2所示，以水球球心为极坐标原点，以球心与对方球门的中心点连线为极轴的正方向，以期望距离为半径确定一个圆，以期望偏转角作为偏离极轴的正方向的角度，建立一个动态点函数，则当传递给该函数一个期望距离与期望偏转角时，通过极坐标的旋转就可以得到以期望距离为半径，以期望距离为偏转角的圆上任意点。

假设圆心为球的中心，则图中标0°的地方就是球心与对方球门中心的连线建立的极轴的方向，图2中各个不同的箭头代表不同的期望距离，则这些不同的期望距离就建立了一个同心圆簇。然后，再通过期望偏转角进行极坐标旋转，就可以得到以球心为参考的任意确定位置的点的坐标。

基于这样一种动态机制，很容易根据鱼的不同位置，来设置不同的点，使得不同的机器鱼做出顶球动作来进行进攻或者防守，这就避免了复杂的对

于鱼和球之间的位置关系的判断，使得在多鱼协作时容易进行防守、进攻动作。

3.2 动态最优位置的设计

前面介绍了动态顶球点的确定策略，下面将围绕这一策略来进行多鱼协作，配合本方带球的“前锋”，进行“抢球、带球、传球”的动作设计。

根据规则，在对方半场能够用来进攻的鱼的编号为：1、4、5，因而所有的对方半场的动作设计的对象就是这3条鱼，笔者首先来探讨多鱼协作策略，如图3所示。

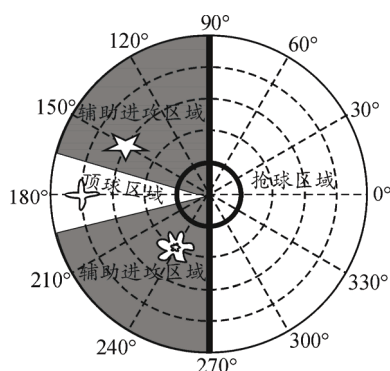


图3 动态最优位置法示意图

图3中的四角星形、五角星形、六角星形分别代表3条鱼，中间阴影区域为球。与足球比赛类似，每条进攻的机器鱼的角色有主攻^[4]和辅助进攻2种，笔者设定某一时刻负责主攻的机器鱼只有1条，其他2条为辅助进攻机器鱼。主攻机器鱼和辅助进攻机器鱼的确定依赖于前面所设定的动态点，对于图3中设计的极坐标同心圆簇，能够利用的参数只有极径和极角，因而顶球点和辅助进攻点就可以用极径和极角确定，顶球区域和辅助进攻区域和抢球区域见图3。以90°和270°为界限，划分抢球区域和进攻区域，其中进攻区域又包括顶球区域和辅助进攻区域。

根据3条机器鱼的极角，判断其处于进攻区域还是抢球区域，然后，分以下4种情况进行讨论：

1) 3条鱼都在进攻区域。

根据极角判断3条鱼的上下位置关系，然后计算3条鱼距离球心的距离，当中间位置的鱼距离球心的距离小于设定的1个距离值时，把中间的鱼作为主进攻鱼。上面的鱼为上辅助进攻鱼，游动到上面的设置的顶球点位置；中间位置的鱼为主进攻鱼，游动到中间主进攻顶球点；下面的鱼为下辅助进攻鱼，游动到下面的设置的顶球点位置。

当中间位置的鱼距离球心距离大于设定的 1 个距离值时,则此时把离球心最近的鱼作为主进攻鱼,其他 2 条鱼,位置偏上的为上辅助进攻鱼,位置偏下的为下辅助进攻鱼。

2) 2 条鱼在进攻区域, 1 条鱼在抢球区域。

首先判断在抢球区域的鱼的极角在上半区还是下半区,如果是上半区,则将抢球点设置在上辅助进攻点位置,否则设置在下辅助进攻点位置。

对于进攻区域的 2 条鱼,把距离球心较近的鱼作为主进攻鱼,而把另外 1 条鱼作为辅助进攻鱼,而这条辅助进攻鱼的顶球点设置在与抢球区域的鱼的相反位置,即:如果抢球区域的鱼设置在上辅助顶球点,则这条鱼应该设置在下辅助进攻顶球点,反之为上辅助顶球点。

3) 1 条鱼在进攻区域, 2 条鱼在抢球区域。

首先判断在抢球区域的鱼看其极角在上半区还是下半区,如果是上半区,则将抢球点设置在上辅助进攻点位置,否则设置在下辅助进攻点位置;对于在进攻区域的鱼,则始终作为主进攻鱼。

4) 3 条鱼在抢球区域。

首先判断在抢球区域的鱼的极角在上半区还是下半区,如果是上半区,则将抢球点设置在上辅助进攻点位置,否则设置在下辅助进攻点位置。

3.3 抢球设计

在多次调试过程中,发现仿真机器鱼在执行顶球带球动作时,时常因为鱼的速度太大而导致丢球,因而限制了机器鱼的动力,这在多鱼争抢球时是非常不利的,为了保证顶球的稳定度,同时为了获得在多鱼争抢球时的动力,笔者提出了所谓的“领域智能算法”。所谓的领域,就是根据自己的需要设定的一个圆域。在这套算法中,主要是利用该圆域实现机器鱼的智能化判断,实现鱼的自动化模式切换,即主模式和辅助模式之间的切换。其中主模式主要运用正向带球反向抢球函数实现,辅助模式则是由完全用抢球函数实现,这 2 个函数的最大差异在于:

主模式主要适合于鱼带球,即稳定度比较好,但是动力不是很大的情况;而辅助模式主要考虑鱼抢球的动力,即动力比较大,但是稳定度较差的情况。

在本项比赛中,仿真平台提供了参赛者获取剩余仿真周期的接口,基于此,笔者设定 1 个固定的“采样”周期 T ,在这个采样周期起始时,通过平台获取球的坐标,然后在整个采样周期内保持该坐标,以此坐标点为圆心,建立 1 个不等式,确定圆域,如式 (1) 所示。

$$(x - \text{ball}.x)^2 + (z - \text{ball}.z)^2 < R \quad (1)$$

在下一个采样时刻到来时,如果新的球的坐标在这个圆域内,那么就认为此时双方处于胶着状态,此时需要更大的动力来争抢球,而不是考虑带球的稳定度,抢到球才是此时的首要任务;如果球不在圆域内,则认为此时带球比较顺利,带球稳定度为首要考虑的问题。

4 结束语

竞技比赛获得好成绩的前提是充分理解规则并且合理利用规则(尤其是暂停)。2D 仿真水球(5:5)项目属于对抗性项目,参赛者均无法完全预测比赛过程中对方的行为;因此,参赛选手不必写一套完整的代码,可以针对比赛中某一个特定区域做出一些应急代码。该方法的不足之处是:代码本身并不完善,代码间存在一定的相互制约,且不能适用所有队伍,所以要求参赛者必须做好应对多种不同情况下尤其是特殊情况下的准备,不断调整作战方法。

参考文献:

- [1] 北京大学智能控制实验室. 水中机器人竞赛推介书. <http://robot.pku.edu.cn/>, 2012.
- [2] 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): 51-55.
- [3] 北京大学智能控制实验室. 2012 中国水中机器人大赛暨首届国际水中机器人公开赛 2D 仿真组规则. <http://robot.pku.edu.cn/>, 2012.
- [4] 覃勇, 李宗刚, 谢广明. 机器鱼比赛中的协作策略[J]. 兵工自动化, 2012, 31(11): 56-58.