

doi: 10.7690/bgzdh.2013.12.020

机器鱼水球比赛中精确与模糊协作顶球策略

谭焜予, 买智源, 向伟

(西南民族大学电气信息工程学院, 成都 610041)

摘要: 为使机器鱼的顶球兼备精确性以及在水球脱离预定轨道的情况下尽可能使水球朝有利于我方进攻方向偏离, 提出一种精确与模糊协作的顶球策略。在分析以往顶球算法的基础上, 设计一种以水球与目标点连线为基准的区域划分, 综合考虑理想情况以及水中各种复杂因素影响后的鱼、球以及目标点的相对位置和几何关系, 合理组合路径规划算法和动作决策算法, 并以实例在符合路径规划条件和不符合路径规划的条件下进行测试。实验结果表明: 该算法能最大限度地利用机器鱼目前所处的环境, 使机器鱼的顶球兼备精确性和模糊性。

关键词: 机器鱼; 顶球算法; 精确与模糊协作

中图分类号: TP24 **文献标志码:** A

Precise and Fuzzy Collaboration Heading Ball Strategy in Robot Fish Water Polo Game

Tan Kunyu, Mai Zhiyuan, Xiang Wei

(College of Electronic & Information Engineering, Southwest University for Nationalities, Chengdu 610041, China)

Abstract: In order to ensure the heading ball precise movement, and make the ball deviated to the direction which is benefit for our attack as possible as we can in the case of the fish breaking away from the predicted track, put forwards a method of precise and fuzzy collaboration offensive strategy. Analysis the past heading ball algorithm based on the design of a connection to the water polo and target point basis zoning, and considering the ideal situation as well as water fish a variety of complex factors, the ball and the target point relative position and geometric relationships reasonable combination of path planning algorithm and action decision-making algorithm, the precise path planning with fuzzy action decisions collaboration, with examples in meet the requirements for the path planning and path planning is not in conformity with the conditions for testing. The experimental results show that the algorithm can maximize the use of present environment where robot fish in, make heading ball movement with accuracy and fuzziness.

Key words: multiple robot fish; dribbling algorithm; precise and fuzzy collaboration

0 引言

机器鱼水球比赛涉及自动控制、程序设计、图像采集、水下通讯、抗干扰技术和流体力学等多门学科, 是一个综合性的研究^[1]。机器人水球比赛的基本形式主要分为对抗赛和计时赛, 无论哪种比赛形式, 参赛队伍要想取胜, 就必须进更多的球或是比赛用时最短, 这就涉及到一项基本的技术——顶球^[2]。在已有的单鱼顶球算法中, 应用最多的大致可分为 2 大类: 1) 各种路规划算法, 例如切入圆法、弦端点法等; 2) 基于动作决策的机器鱼顶球算法。这 2 类算法各有优劣。为了使单鱼顶球更加智能化, 笔者综合分析了前人提出的算法, 设计了一种既包含路径规划, 又在机器鱼偏离路径的情况下能合理执行动作决策的算法, 最大限度地利用了机器鱼在各种情况下的动作, 使得球尽可能地朝着对己有利的方向漂移。

1 单鱼顶球路径规划算法

1.1 单鱼顶球路径规划算法基本思想

单鱼顶球路径规划的中心思想是将球和目标点用一条直线连接, 得到最佳击球点, 然后规划一定的路径, 让机器鱼在靠近击球点的同时逐渐调整方向, 最终达到鱼的方向和球到球门的射线方向相同, 然后沿线带球的目的。这类算法中, 弦端点法较优。

1.2 弦端点法基本思想

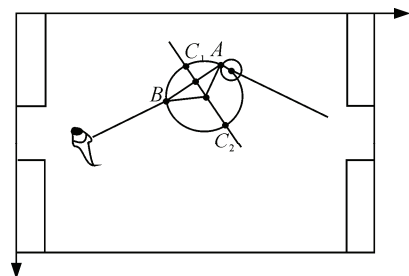


图 1 弦端点法示意图

收稿日期: 2013-06-30; 修回日期: 2013-07-22

基金项目: 成都市科技项目(12GGYB218GX-001); 西南民族大学中央高校专项基金(13NZYQN10)

作者简介: 谭焜予(1991—), 男, 湖北人, 本科, 从事机器人控制系统及控制算法研究。

弦端点法的基本思路可以描述为：以后击球点 A 为切点，球和目标点的连线为切线，做一个半径适当的辅助圆，连接球心和鱼中心的连线交辅助圆于一点 B ，连接 AB ，做 AB 的中垂线交圆于 C_1 和 C_2 两点，取 C_1 为鱼的目标点，如图 1。随着鱼的运动， C_1 逐渐逼近 A 点，最终重合，此时鱼的方向恰与球到目标点的射线方向相同。

1.3 路径规划顶球算法的弊端

较好的路径规划虽然在理论上能够比较准确地实现机器鱼带球进攻，但是在实际运用中并非如此。原因主要有以下 3 点：

1) 路径规划对鱼的方向和位置调整，需要鱼和球有较远的初始距离，然而在实际比赛中，情况千变万化，对方机器鱼以及水波的影响不可忽略，无论从时间还是距离上讲，机器鱼往来来不及调整到最佳的方向击球。

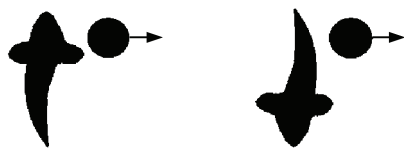
2) 由于机器鱼头部比较光滑，宽度也较窄^[4]，即便机器鱼按照预定轨迹达到了最佳击球点和最佳方向，实现机器鱼长时间带球向目标点运动难度也比较大。

3) 在机器鱼偏离路径的情况下，若机器鱼的方向偏离最佳顶球方向较大，不宜立刻寻找最佳顶球朝向，此时用头部甩击球将鱼球距离拉大，反而会让机器鱼更加容易回到最佳击球点。

2 基于动作决策的机器鱼顶球算法

2.1 基于动作决策的机器鱼顶球算法基本思想

先让鱼快速逼近球，然后再根据机器鱼、水球以及目标点的相对位置以及几何关系，判断执行不同的机器鱼摆动策略，动作决策顶球算法如图 2。如可根据不同的情况执行右转弯大、右转弯小、直游、左转弯小和左转弯大 5 种动作^[4]。



(a) 机器鱼用头部击球 (b) 机器鱼用尾部击球

图 2 基于动作决策顶球算法示意图

2.2 基于动作决策的机器鱼顶球算法的弊端

基于动作决策的机器鱼顶球算法有效地利用了机器鱼的各个部位，虽然通过对机器鱼动作决策的合理组合能够大幅提高机器鱼对水球位置的影响能力，但是仅仅依靠这些动作策略却难以达到精确将球搬运到某个位置的目的。其主要原因有以下 2 点：

1) 依靠机器鱼的摆动击球方向本身带有一定的不确定性，只能达到让球大致朝某个方向运动的效果。

2) 机器鱼大幅摆动对水波的影响较大，进一步增加了球运动方向的不确定因素。

3 单鱼精确与模糊协作的顶球策略

3.1 基本思想

针对一般的路径规划算法和基于动作决策的机器鱼顶球算法进行分析，平衡了 2 种算法的优劣，合理地利用 2 类算法的优点，得到了一种更加合理的综合性算法，提出精确与模糊协作的机器鱼顶球算法。该算法以球为基准点，将水池平面划分为 8 块区域，当鱼处于不同区域时，考虑鱼所在的平面坐标点、鱼的方向、鱼球相对几何关系、机器鱼在水中运动具有较大惯性等综合因素，提出一种判定条件，其算法结构图如图 3。

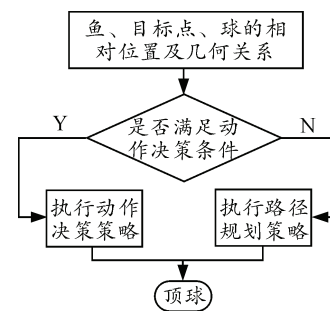


图 3 算法结构

3.2 算法实现

3.2.1 区域划分

如图 4，已知目标点的坐标为 $A(x_a, y_a)$ ，球的坐标为 $B(x_b, y_b)$ ，机器鱼头的坐标 $F(x_f, y_f)$ ，机器鱼的方向向量与 x 轴的夹角为 β ，目标点与球的连线 AB 与 x 轴的夹角为 α ，过 B 点的 2 条相交虚线与直线 AB 的夹角均为 θ (笔者将 θ 取为 $\pi/4$)，球的半径为 r ，以球为圆心作 2 个辅助圆，其半径分别为 R_1 和 R_2 ，鱼头坐标到球的距离为 d 。

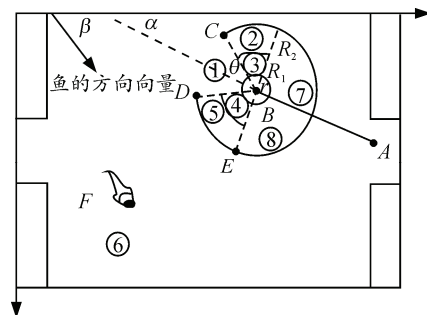


图 4 分区示意图

当 $y_b = y_a$ 时, 直线 BE 的方程可表示为 $x = x_b$ 。

直线 AB 的斜率可表示为 $k_1 = \frac{y_b - y_a}{x_b - x_a}$ (当

$x_b = x_a$ 时球已经进入球门, 没有考虑的必要), 当

$y_b \neq y_a$ 时, 直线 BE 的斜率 $k_2 = \frac{-1}{k_1}$, 由到角公式得

直线 BC 、 BD 的斜率分别 $k_3 = \frac{k_1 - \tan \theta}{1 + k_1 \tan \theta}$,

$$k_4 = \frac{k_1 + \tan \theta}{1 - k_1 \tan \theta}。$$

则直线的方程可表示如下:

$$BC: y = k_3(x - x_b) + y_b$$

$$BD: y = k_4(x - x_b) + y_b$$

$$BE: y = k_2(x - x_b) + y_b$$

鱼头到球的距离 $d = \sqrt{(x_f - x_b)^2 - (y_f - y_b)^2}$ 。

然后可以根据以上方程确定表示各个区域的方程组。以第⑤个分区为例表示如下:

$$\begin{cases} R_1 < d < R_2 \\ y_f - y_b - k_3(x_f - x_b) > 0 \\ y_f - y_b - k_2(x_f - x_b) < 0 \end{cases}$$

类似的, 可以求出①、②、③、④、⑦、⑧区域的方程组表示, 此处不再赘述。

3.2.2 判定条件

1) 如图 4, 显然, 当鱼头进入③、④区域时, 再好的路径规划也不能高效地让鱼沿着既定轨迹带球, 然而这正是机器鱼执行基于动作决策策略的最佳位置, 此时应当引入基于动作决策的机器鱼顶球策略。

2) 当机器鱼的鱼头处于①、②、⑤、⑥区域时, 由机器鱼方向向量的角度 β 与目标点与球的连线与 x 轴夹角 α (即机器鱼的最佳顶球方向角) 做差, 并取绝对值, 得到一个新的变量 γ , 定义为机器鱼相对最佳顶球方向的偏离角。

$$\gamma = |\beta - \alpha|$$

再添加机器鱼与球的距离 d 这个变量, 作为判定机器鱼是执行路径规划策略还是执行基于动作决策的依据。

当机器鱼鱼头与球的距离 d 已经小于一个比较小的值 (笔者取为 R_2), 而且 γ 还比较大的时候, 就

应该考虑路径规划是否能够顺利完成, 即考虑引入基于动作决策的策略。用方程组表示如下:

$$\begin{cases} \gamma > \omega \\ d < R_2 \end{cases} \quad (1)$$

根据大量实验可以得到比较合理的 ω 以及 R_2 的值 (笔者经过大量实验认为将 ω 取为 $\pi/6$ 、 R_2 取 $6r$ 比较合理)。

3) 当机器鱼的鱼头处于⑦、⑧区域时, 无疑应该迅速绕开球进入其他区域。

3.2.3 具体策略方案

1) 当机器鱼的鱼头处于⑥区域时, 认为路径规划策略有效可行, 执行较好的路径规划策略使得机器鱼准确到达最佳击球点。

2) 当机器鱼的鱼头处于⑦、⑧区域时, 应当尽快绕到球的后方而且尽量不与球发生碰撞, 此时可根据机器鱼的方向角, 即 β 来判定机器鱼绕行的方向, 当 $\beta \in (-\pi + \alpha, \alpha)$ 时, 从上方绕行, 当 $\beta \in (\alpha, \pi - \alpha)$ 时, 从下方绕行。

3) 当机器鱼的鱼头处于②、⑤区时, 引入判定条件 (1)。若满足方程组 (1), 则以直线 AB 上背离球门且距球心为 $3r$ 的点为目标点游动, 调整机器鱼的方向, 为机器鱼执行动作决策策略创造条件; 否则认为机器鱼来得及执行路径规划策略。

4) 当机器鱼的鱼头进入③区时, 则执行于动作决策的动作。当 $\gamma \in (0, \pi/4)$ 时, 执行左小转弯用头部 (此时 $\beta - \alpha > 0$) 或尾部 (此时 $\beta - \alpha < 0$) 击球; 当 $\gamma \in (\pi/4, \pi)$ 时, 执行左大转弯用头部 (此时 $\beta - \alpha > 0$) 或尾部 (此时 $\beta - \alpha < 0$) 击球。

5) 当机器鱼的鱼头进入④区时, 则执行于动作决策的动作。当 $\gamma \in (0, \pi/4)$ 时, 执行右小转弯用头部 (此时 $\beta - \alpha < 0$) 或尾部 (此时 $\beta - \alpha > 0$) 击球; 当 $\gamma \in (\pi/4, \pi)$ 时, 执行右大转弯用头部 (此时 $\beta - \alpha < 0$) 或尾部 (此时 $\beta - \alpha > 0$) 击球。

6) 当机器鱼的鱼头进入①区时, 则引入判定条件 (1)。若满足方程组 (1), 则当 $\pi/4 > \beta - \alpha > 0$ 时, 执行左小转弯用头部击球; 当 $-\pi/4 < \beta - \alpha < 0$ 时, 执行右小转弯用头部击球; 当 $-\pi < \beta - \alpha < -\pi/4$ 时, 执行左大转弯用鱼身击球; 当 $\pi/4 < \beta - \alpha < \pi$ 时, 执行右大转弯用鱼身击球。若不满足方程组 (1), 则执行路径规划策略。