

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.11.019

## 基于坐标变换的机器鱼顶球算法

韩虹飞<sup>1</sup>, 谭文<sup>1</sup>, 谢广明<sup>2</sup>

(1. 华北电力大学控制与计算机工程学院, 北京 102206;

2. 北京大学工学院, 北京 100871)

**摘要:** 为了使机器鱼的顶球兼备速度性和连贯性并提高带球进攻效率, 提出一种基于坐标变换的顶球算法。在分析典型的顶球算法的基础上, 设计了机器鱼的几种简单动作, 依据机器鱼、球和对方球门的坐标几何位置关系的设计决策机制来选择机器鱼下一步动作, 并在多水中机器人协作控制平台上进行了单鱼顶球实验。实验结果表明, 该算法是有效的, 能大大提高机器鱼顶球效率和缩短一次进球所需要的时间。

**关键词:** 机器鱼; 坐标变换; 顶球算法; 水球比赛

**中图分类号:** TP242 **文献标志码:** A

## Robot Fish Ball-Pushing Algorithm Based on Coordinate Transformation

Han Hongfei<sup>1</sup>, Tan Wen<sup>1</sup>, Xie Guangming<sup>2</sup>

(1. School of Control & Computer Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;

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

**Abstract:** The ball-pushing algorithm based on coordinate transformation is proposed to accelerate speed, smooth the ball-pushing movement, and improve the efficiency of goals. The algorithm designs several simple actions on the basis of analyzing the basic ball-pushing algorithms and uses arbiter for action decision according to the geometry sites of robot fish, the ball and opponent's gate. The algorithm is validated by a ball-pushing experiment on the multiple robot collaboration in water control platform. Results show that this ball-pushing algorithm is effective and can improve the efficiency of goals and shorten the goal time.

**Key words:** robot fish; coordinate transformation; ball-pushing algorithm; water ball game

### 0 引言

近年来, 移动机器人是国际机器人学术界研究和关注的热点问题<sup>[1-3]</sup>。机器人水球比赛是以智能仿生机器鱼为主体, 进行类似陆地机器人足球的激烈的对抗性比赛。它不但涉及机器人足球应用的各种技术, 还涉及水动力学分析、水下通讯、抗干扰技术等多方面的内容, 既具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<sup>[4]</sup>。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<sup>[5]</sup>。顶球策略的优劣是衡量一支队伍实力的关键因素。笔者在分析典型顶球算法的基础上, 考虑影响进球的客观因素, 提出了一种新颖的基于坐标变换的机器鱼带球算法。该算法秉承以头顶球为主的进攻模式, 最大限度地利用机器

鱼尾巴和身体击球, 大大提高了机器鱼带球进攻的效率。

### 1 机器鱼控制系统

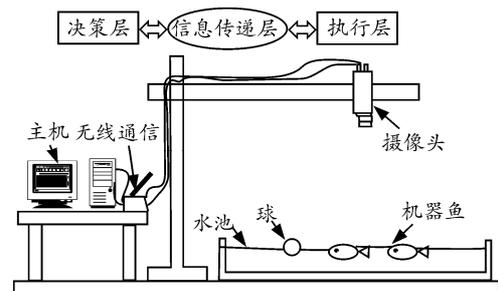


图1 机器鱼软件控制平台系统的硬件构成

如图1, 机器鱼软件控制平台系统<sup>[6-7]</sup>可以分为3个子功能层: 信息交换层、决策层、执行层。信息交换层主要包括一个电荷耦合器件(charge coupled device, CCD)采集摄像头和一个全双工的无线通信模块。CCD摄像头负责采集机器鱼的外部

收稿日期: 2012-05-29; 修回日期: 2012-06-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(61174096)

作者简介: 韩虹飞(1987—), 男, 安徽人, 硕士, 从事多水下机器人系统和网络控制研究。

状态信息和环境信息并输入到计算机的采集卡中；无线通讯模块不仅把控制命令发送给机器鱼，也接受机器鱼反馈的内部控制信息。决策层是 1 台装有协作系统软件平台的主机，处理采集到的图像信息，然后以图像识别结果作为控制和决策的输入，根据给定的任务，规划多机器鱼的运动；执行层是若干条三关节的机器鱼，机器鱼接收无线通模块发出的命令，执行相应的动作<sup>[8]</sup>。

## 2 基本顶球算法

基本顶球算法<sup>[9]</sup>先让机器鱼  $F$  沿直线运动到最佳射门点  $G$  (最佳射门点  $G$  的求取参看切入圆顶球算法)，再调整自身方向，然后前游顶球。整个过程一般要经过先加速后减速到  $G$  点，然后转角，最后加速顶球，过程如图 2。

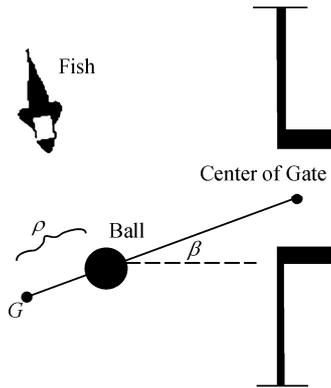


图 2 基本顶球算法

基本顶球算法原理简单，容易实现，相应的射门算法在机器人足球比赛中得到了广泛应用，但在机器人水球比赛中效果并不好，主要原因在于：1) 水中阻力较小，目前比赛中用到的机器鱼没有制动机构，不能做到旋停，也不能倒退运动，即使尾部摆动频率降为零，机器鱼仍将沿着原来的运动方向漂移，这就造成了准确到达  $G$  点的困难性；2) 因机器鱼硬件条件的限制，使较大角度的转弯不能一次完成，多次转弯调整中产生的水波会给环境造成更大干扰，增加了控制的难度；3) 如果机器鱼处于球和对方球门之间，机器鱼为了达到  $G$  点可能会碰到球，极易造成为对方鱼助攻甚至出现“乌龙球”。

## 3 基于坐标变换的顶球算法

目前机器鱼水球比赛中常用到的基本顶球算法主要是在路径规划<sup>[10]</sup>上做了较好的研究。虽然合理的路径规划可以调高机器鱼靠近球以及运动到目标

点的准确度，但在实际比赛中还存在以下问题：1) 水下环境的复杂性和不确定性给系统带来的大量的干扰，降低了控制的效率和准确度<sup>[11]</sup>。目前，机器鱼还不能做到较好的跟踪，难以达到理想的效果；2) 机器鱼头部很光滑，宽度也很窄，在大量实验中发现机器鱼头部顶球的精度比较低，特别容易顶偏。实际比赛场景中的进球往往不是机器鱼头顶着球，长途奔袭式的进球，大多数情况下是靠机器鱼反复调整，反复顶球而最终完成的。

### 3.1 基本思想

在鱼与球距离较远时，先让机器鱼快速地趋近球<sup>[12]</sup>，在距离球一定的范围内(笔者取 15 cm)，根据机器鱼、球以及对方球门的坐标几何位置关系设计动作决策机制，来选择机器鱼动作。其目的是让机器鱼不管是用头顶球，用头摆球，用身体蹭球，或是尾巴甩球，最大限度地使球靠近对方球门，在此过程中即使机器鱼没有碰到球，激起的水波也有助于球漂向对方球门。在这种思路的引导下，笔者提出了一种基于坐标变换的顶球算法。

### 3.2 算法实现

在实际比赛中，机器鱼带球的方向可能是任意的，因此为使机器鱼可以向任意球门位置带球，首先需要进行相应的坐标变换，如图 3 所示。

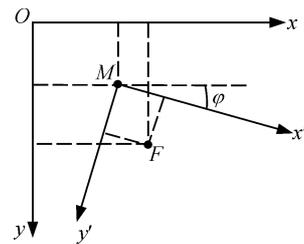


图 3 坐标变换

其中：坐标系  $xOy$  为平台原有坐标系；坐标系  $x'My'$  为需要转化的坐标系，它是以水球中心点  $M$  为原点，以水球与球门中心点连线方向为  $x$  轴的正方向；水球与球门中心点的连线在原有坐标系下的方向角为  $\varphi$ ，即新坐标系  $x'$ 、 $y'$  轴正方向是原有坐标系  $x$ 、 $y$  轴正方向上绕水球中心点顺时针旋转  $\varphi$  所得。设任意点  $F$  在原有坐标系下的坐标为  $(F_x, F_y)$ ，水球中心点  $M$  在原有坐标系下的坐标为  $(M_x, M_y)$ ，则由坐

标转换公式可得点  $F$  在新坐标系下的坐标  $(F_{x'}, F_{y'})$ , 即

$$\begin{bmatrix} F_{x'} \\ F_{y'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \phi & \sin \phi \\ -\sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} M_x \\ M_y \end{bmatrix}$$

经过坐标转化得出新坐标系下鱼中心点、水球和鱼头的坐标, 原有坐标系下得到的方向角均顺时针旋转  $\phi$  得到新的方向角, 然后再进行顶球控制策略的设计。

这里以向右顶球进攻为例进行相关动作设计, 以水球为原点建立相对坐标系, 如图 4 所示。

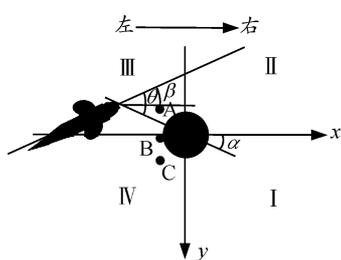


图 4 相对坐标系

首先通过机器鱼协作平台计算机器鱼鱼头与水球的距离  $d$ , 设定 2 个临时顶球目标点  $A$ 、 $C$ , 根据所设球门中心点及球的连线方向设定球面击球点  $B$ , 再设定一个极限距离值  $l$ , 当  $d < l$  时, 通过平台检测机器鱼的坐标位置, 判断其位于坐标系的哪一象限, 计算鱼头与球的方向角  $\alpha$ , 再计算其与机器鱼方向角  $\beta$  的偏差角  $\theta$ , 即  $\theta = \beta - \alpha$ 。

若机器鱼位于坐标系中的第三象限, 即机器鱼在水球的左上方, 当  $0^\circ < \alpha < 60^\circ$  时, 若  $-180^\circ < \theta < -60^\circ$ , 让机器鱼以最大速度档位极速左转以呈现其甩尾动作, 利用其尾巴甩球前进, 如图 5(a) 所示; 若  $-30^\circ < \theta < 30^\circ$ , 让机器鱼游向  $C$  点; 其他情况时机器鱼通过位姿调整游向击球点  $B$ 。

若机器鱼位于坐标系中的第四象限, 即机器鱼在水球的左下方, 当  $-60^\circ < \alpha < 0^\circ$  时, 若  $60^\circ < \theta < 180^\circ$ , 让机器鱼以最大速度档位极速右转以呈现其甩尾动作, 利用其尾巴甩球前进, 如图 5(b) 所示; 若  $-30^\circ < \theta < 30^\circ$ , 让机器鱼游向  $A$  点; 其他情况时机器鱼通过位姿调整游向击球点  $B$ 。

若机器鱼位于坐标系中的第二象限, 即机器鱼在水球的右上方, 当  $90^\circ < \alpha < 135^\circ$  时, 若  $0^\circ < \theta < 45^\circ$  且鱼头刚刚越过水球中心点, 让机器鱼以最大速度档

位极速左转以呈现其摆头动作使球前进, 如图 5(c) 所示; 若  $\theta$  为其他角度值时, 让机器鱼游向  $A$  点; 当  $\alpha$  为其他角度值时, 机器鱼通过位姿调整游向击球点  $B$ 。

若机器鱼位于坐标系中的第一象限, 即机器鱼在水球的右下方, 当  $-135^\circ < \alpha < -90^\circ$  时, 若  $-45^\circ < \theta < 0^\circ$  且鱼头刚刚越过水球中心点, 让机器鱼以最大速度档位极速右转以呈现其摆头动作使球前进, 如图 5(d) 所示; 若  $\theta$  为其他角度值时, 让机器鱼游向  $C$  点; 当  $\alpha$  为其他角度值时, 机器鱼通过位姿调整游向击球点  $B$ 。

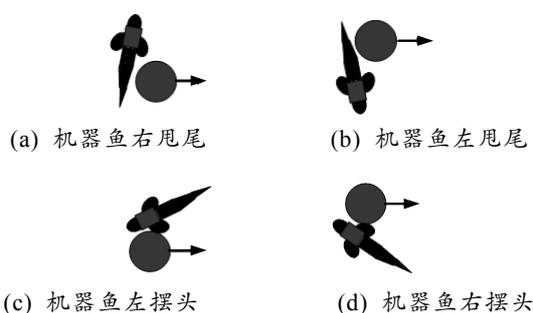


图 5 理想动作位置

当  $d > l$  时, 让机器鱼通过位姿调整游向击球点  $B$ 。

在实际应用中, 将此算法中涉及到的变量进行以上的坐标变换后, 便可以实现机器鱼向任意球门位置的带球。

## 4 实验

采用该算法在多水中机器人协作控制平台下进行单鱼向右顶球实验, 对算法进行验证。实验情况如图 6 所示。

在图 6 中, (a) 实验开始, 机器鱼游向击球点; (b) 机器鱼到达向左摆头位置摆球前进; (c) 机器鱼到达向左甩尾位置甩球前进; (d) 机器鱼到达向右摆头位置摆球前进; (e) 机器鱼到达向右甩尾位置甩球前进; (f) 机器鱼顶球入门; 这一过程用时 23 s。

将该实验进行了 20 次, 记录进球时间, 机器鱼一次进球时间范围在 17~40 s, 并且全部完成任务; 而采用先前的顶球算法进行相同的实验, 一次进球时间大多在 50~240 s, 且还出现过数次 5 min 内未完成任务的情况, 由此证明了该算法的高效性。