

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.11.026

## 基于虚拟切线圆的机器鱼比赛进攻策略

赵盛昌<sup>1</sup>, 纪志坚<sup>1</sup>, 谢广明<sup>2</sup>, 吕培淑<sup>3</sup>

(1. 青岛大学 自动化学院, 山东 青岛 266071; 2. 北京大学 工学院, 北京 100871;  
3. 青岛市平度仁兆中学, 山东 青岛 266741)

**摘要:** 为提高机器鱼射门的成功率, 提出了基于虚拟切线圆的机器鱼比赛进攻策略。通过切线圆来调整机器鱼的方向, 解决了改变方向时电机的抖动和不稳定性问题, 使机器鱼快速准确的调整位姿, 到达指定的进攻角度和位置, 从而达到快速而准确的射门效果。同时, 利用模糊控制准确地控制机器鱼的方向, 以便更好地进攻。实验证实了该方法的有效性和可行性。

**关键词:** 进攻策略; 虚拟切线圆; 模糊控制

**中图分类号:** TP249; TP391.9 **文献标识码:** A

## Biomimetic Robot-Fish's Attack Strategy Based on Virtual Tangent Circle

Zhao Shengchang<sup>1</sup>, Ji Zhijian<sup>1</sup>, Xie Guangming<sup>2</sup>, Lu Peishu<sup>3</sup>

(1. College of Automation, Qingdao University, Qingdao 266071, China;  
2. College of Engineering, Peking University, Beijing 100871, China;  
3. Qingdao Pingdu Renzhao Middle School, Qingdao 266741, China)

**Abstract:** In order to improve the successful rate of robotic fish shooting, put forward a new method of offensive strategy based on the virtual tangential circle. Through the tangential circle to adjust the direction of the fish, solve the motor's jitter and instability problems while changing the direction, make the robot fish adjust the position and orientation quickly and accurately, reach the specified angle and location of attack. At the same time, used fuzzy control to control the direction of the robotic fish accurately, better participated in attack, for achieving fast and accurate shooting result. Experiments confirmed the effectiveness and feasibility of this method.

**Keywords:** offensive strategy; virtual tangential circle; fuzzy control

### 0 引言

机器鱼水球比赛涉及到水动力学分析、水下通讯、图像处理、抗干扰技术等多方面的内容<sup>[1]</sup>, 与陆地机器人相比, 难度更大, 技术要求更复杂。

陆地机器人比赛中的进攻策略主要包括: 基于中位线的射门算法、基于动态基准圆的机器人足球射门算法<sup>[2]</sup>、利用渐开线的足球机器人射门算法<sup>[3]</sup>、基于圆弧的射门算法<sup>[4]</sup>、基于仿人智能控制的足球机器人圆弧射门算法<sup>[5]</sup>、基于区域和切圆弧的足球机器人射门动作研究<sup>[6]</sup>、足球机器人的双圆弧射门算法<sup>[7]</sup>等。由于水环境的复杂性、流动性和不确定性, 使机器鱼和水球很难稳定在水池中的某一点, 给机器鱼准确到达目标点, 参与进攻带来了极大的干扰, 因此这些算法均不适用于机器鱼。故根据机器鱼的游动特性, 提出了基于虚拟的切线圆的进攻策略, 以合理地规划机器鱼的进攻路径, 避免到达进攻点时的不稳定性, 使机器鱼的进攻更加合理, 更易进球取得胜利。

### 1 虚拟圆的进攻策略

#### 1.1 虚拟圆与转弯圆的确定

如图 1, 由于水的波动性, 连接球门中点与水球中心所构成的直线  $BG$  的斜率并非保持不变, 因此, 与  $BG$  相切的切线圆  $O_1$  的圆心位置和半径并不确定, 此处的圆是笔者虚拟出来的, 被称为虚拟圆。

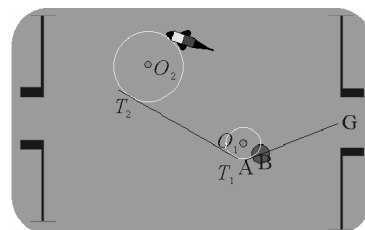


图 1 虚拟切线圆进攻策略示意图

机器鱼的进攻方式分为 2 种: 头部带球射门和尾部击球射门。由于带球射门的稳定性较高, 击球射门的速度较快, 故常采取带球射门的进攻方式, 通过机器鱼的头部顶球, 利用稳定的方向和速度控

收稿日期: 2010-06-12; 修回日期: 2010-09-10

基金项目: 国家自然科学基金资助 (10972003, 60604032)

作者简介: 赵盛昌 (1983-), 男, 山东人, 硕士研究生, 从事多水下机器人系统研究。

制来达到进球的目的。通过大量的实验数据得知，在速度 12 档时，机器鱼的顶球效果最好，此时可以得到虚拟圆  $O_1$  的半径  $R_1$  ( $R_1=7\text{ cm}$ )。

为了调整机器鱼的进攻角度，使其能稳定、快速且准确地到达目标点  $A$ ，笔者设置机器鱼在最大速度下转弯，此时形成的圆被称之为转弯圆  $O_2$ 。根据其速度可以得到最大速度下转弯圆  $O_2$  的半径  $R_2$  ( $R_2=10\text{ cm}$ )。由于模糊控制可以有效且便捷地实现人的控制策略和经验，且无需被控对象的数学模型即可实现较好的控制，故采用模糊控制<sup>[7-9]</sup> 来处理转弯的方向问题。

### 1.2 虚拟圆进攻原理

基于虚拟切线圆的进攻策略的基本思想是：让机器鱼在模糊控制基础上，首先调整机器鱼的位姿，让其沿着半径为  $R_2$  的转弯圆运动，当到达  $T_2$  时再沿着 2 个圆的公共切线  $T_2T_1$  达到虚拟圆的切点  $T_1$ ，最后，在虚拟圆上做一段圆弧运动，达到击球点，参与进攻。

## 2 进攻策略的实现

### 2.1 虚拟圆的选择

由于过  $B$  点与  $BG$  连线相切的虚拟圆有 2 个，因此要对虚拟圆进行选择，以水平向右和竖直向上方向为正方向建立直角坐标系，当球中心的纵坐标大于球门中心的纵坐标时，选择切线下方的虚拟圆，否则，选择切线上方的虚拟圆。

### 2.2 公切线的确定

针对不同情况确定机器鱼的切线：

#### 1) 球在机器鱼的上方

如果机器鱼的  $x$  轴坐标小于球的坐标并且机器鱼向右转时，选择切线斜率小的作为公切线；向左转时，选择切线斜率大的作为公切线。

如果机器鱼的  $x$  轴坐标大于球的坐标并且机器鱼向右转时，选择切线斜率小的作为公切线；向左转时，选择切线斜率大的作为公切线。

#### 2) 球在机器鱼的下方

如果机器鱼的  $x$  轴坐标小于球的坐标并且机器鱼向右转时，选择切线斜率大的作为公切线；向左转时选择切线斜率大的作为公切线。

如果机器鱼的  $x$  轴坐标大于球的坐标并且机器鱼向右转时，选择切线斜率小的作为公切线；向左转时选择切线斜率小的作为公切线。

### 2.3 切点的确定

如何确定并得到公切线前两个圆上的切点是进攻策略实现的关键，确定切点的情况如图 2。

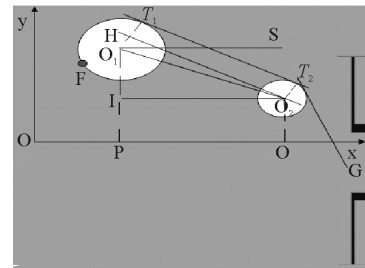


图 2 切点确定示意图

取一种普遍情况，假设机器鱼位于  $F$  点时，已知条件为： $O_1$ 、 $O_2$  分别为转弯圆和虚拟圆， $O_1(x_1, y_1)$ 、 $O_2(x_2, y_2)$  分别为转弯圆和虚拟圆的圆心，其半径分别为  $R_1$ 、 $R_2$ 。

由圆心  $O_1$ 、 $O_2$  向  $x$  轴做垂线，垂足分别为  $P$ 、 $Q$ ，过  $O_2$  做  $O_1T_1$  的垂线交于  $H$ ，做  $O_1P$  的垂线交  $O_1P$  于  $I$ ， $O_1S$  与  $x$  轴平行。

在  $\Delta O_1O_2H$  中， $O_1H = R_2 - R_1$ ，

$$O_1O_2 = d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

所以：

$$\cos \angle HQO_2 = \frac{O_1H}{O_1O_2} = \frac{R_2 - R_1}{d} = \frac{R_2 - R_1}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}} \text{ 因此:}$$

$$\angle HO_1O_2 = \arccos \frac{R_2 - R_1}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}}$$

因为  $\angle HO_1O_2 = \angle HO_1S + \angle SO_1O_2$ 。在  $\Delta O_1O_2I$  中，

$$\tan \angle O_1O_2I = \frac{y_1 - y_2}{x_2 - x_1}, \quad \angle O_1O_2I = \arctan \frac{y_1 - y_2}{x_2 - x_1}$$

且  $\angle O_1O_2I = \angle SO_1O_2$

$$\angle HO_1S = \angle HO_1O_2 - \angle O_1O_2I =$$

$$\arccos \frac{R_2 - R_1}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}} - \arctan \frac{y_1 - y_2}{x_2 - x_1}$$

由  $T_1$  向  $O_1S$  引垂线可得  $T_1$  的坐标为  $(x_1 + R_1 \cos \angle HO_1S, y_1 + R_1 \sin \angle HO_1S)$

同理可以得到  $T_2$  坐标为：

$$(x_2 + R_2 \cos \angle HO_1S, y_2 + R_2 \sin \angle HO_1S)$$

### 2.4 嵌套情况

在机器鱼顶球进攻时往往会遇到虚拟圆与转弯圆发生嵌套的情况。此时，过虚拟圆的圆心与切线相交于一点  $D$ ，过机器鱼所在点做转弯圆的切线，与过  $D$  点的直线交于一点  $F'$ ， $F'$  为机器鱼需要到达的过渡点，然后以  $DF'$  为直径，让机器鱼在以

$DF'$  为直径的圆弧上运动, 到达目标点  $D$ , 如图 3。

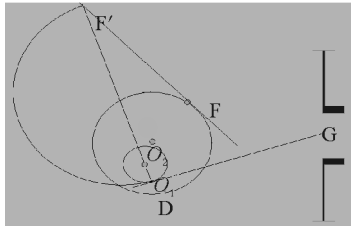


图 3 嵌套示意图

但由于机器鱼与水球的位置并不确定,  $F'$  点既可能在水池内部, 也可能在水池外部。

#### 1) $F'$ 在水池内时

已知虚拟圆  $O_1$  和转弯圆  $O_2$  的圆心坐标分别为  $O_1(x_1, y_1)$  和  $O_2(x_2, y_2)$ , 机器鱼的坐标  $F(x_f, y_f)$ , 球门的中心点坐标  $G(x_g, y_g)$  以及球的中心坐标  $B(x_b, y_b)$ 。

首先, 根据  $G$ 、 $B$  两点确定  $GD$  的斜率  $k = \frac{y_g - y_b}{x_g - x_b}$ ,  $O_1D$  与  $GD$  垂直, 令  $O_1D$  的斜率为  $k_1$ ,

则  $O_1D$  的斜率与  $GD$  斜率有如下关系:  $k \times k_1 = -1$ , 由此可获得  $k_1$  的值, 并且  $O_1$  的坐标已知, 即可确定直线  $O_1D$  的直线方程为:  $y - y_1 = k_1(x - x_1)$ 。

同理, 由于已知  $O_2$  和  $F$  的坐标, 可以获得其斜率  $k_2 = \frac{y_2 - y_f}{x_2 - x_f}$ , 此时,  $FF'$  的斜率  $k_3$  便可以由

$k_2 k_3 = -1$  得到, 即可得到  $FF'$  的直线方程  $y - y_f = k_3(x - x_f)$ 。然后, 可以由 2 条直线方程来确定交点  $F'$ 。

#### 2) $F'$ 在水池外时

如果出现交点在水池外的情况, 笔者通过如下设置使机器鱼的交点保持在水池内部: 先让机器鱼沿原方向运动, 达到水池边缘时可以获得机器鱼的位置  $F'$ , 连接  $DF'$  构成过渡圆的直径, 然后让其在  $DF'$  构成的圆弧上运动, 最后到达目标点  $D$ 。

### 3 实验及分析

采用机器鱼进攻策略, 以单机器鱼顶球为实验任务, 对该策略进行了验证。该实验要求机器鱼把皮球顶入到右边的球门内, 水池长 3 000 mm, 宽 2 000 mm, 球门宽 400 mm。实验情况如图 4。

图 4(a) 表示机器鱼实验的初始状态和在转弯圆上调整位姿, 图 4(b) 机器鱼沿公切线运动, 图 4(c)

机器鱼在虚拟圆上调整位姿, 图 4(d) 最终机器鱼把皮球顶入球门, 顺利完成实验任务。

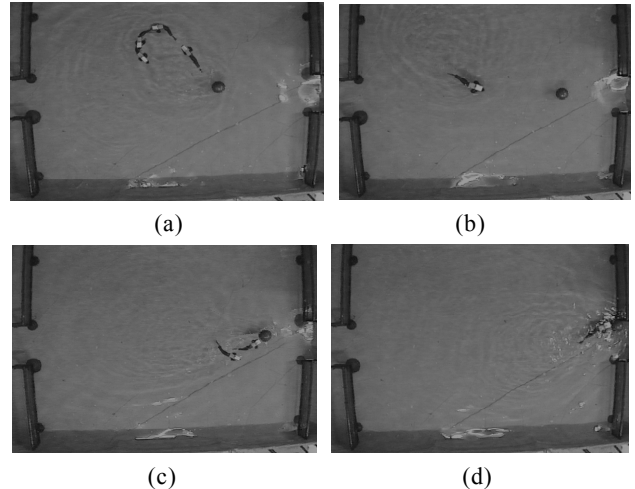


图 4 机器鱼进攻策略实验截图

### 4 结语

该策略能够使机器鱼沿着一条比较平滑的路径准确地到达顶球点, 参与进攻, 使机器鱼的进攻具有连续性和针对性。同时, 避免了角度变化引起的震动和水的波动等不稳定因素, 使机器鱼的进攻更有效, 提高了带球进攻的成功率。

### 参考文献:

- [1] 机器人水球比赛项目推介书[M]. 北京: 北京大学工学院, 2009.
- [2] 王月海, 董天祯, 洪炳. 基于动态基准圆的机器人足球射门算法研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2005, 37(7): 953-955.
- [3] 柳在鑫, 王进戈, 王强, 等. 利用渐开线的足球机器人射门算法研究[J]. 西安交通大学学报, 2009, 43(1): 95-98.
- [4] 刘宏志. 一种改进的射门算法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2004, 36(7): 975-977.
- [5] 肖斌, 李祖枢, 薛方正, 等. 基于仿人智能控制的足球机器人圆弧射门算法[J]. 自动化技术与应用, 2006, 10(25): 1-4.
- [6] 臧军旗, 赵臣, 崔炜, 等. 基于区域和切圆弧的足球机器人射门动作研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2005, 37(7): 950-952.
- [7] 柳在鑫, 王进戈, 朱维兵. 足球机器人的双圆弧射门算法[J]. 西安交通大学学报, 2007, 41(11): 1326-1329.
- [8] 喻俊志. 多仿生机器鱼控制与协调研究[D]. 北京: 中国科学院自动化研究所, 2003: 49-56.
- [9] 陈尔奎, 喻俊志, 王硕, 等. 仿生机器鱼运动方向的模糊控制研究[J]. 高技术讯, 2004, 24(2): 63-67.
- [10] 谢超平, 孔峰, 陶金. 基于模糊控制的仿生机器鱼转向控制研究[J]. 机器人技术与应用, 2009(4): 26-28.