

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.11.025

基于模糊逻辑和几何学的机器鱼顶球路径规划

高溥^{1,2}, 台秀华^{1,2}, 李宗刚^{1,2}

(1. 兰州交通大学 机电工程学院, 甘肃 兰州 730070;
2. 兰州交通大学 北京大学多智能体系统联合实验室, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 针对人工势场法及流场法的缺点, 将模糊逻辑与几何学路径规划方法相结合, 提出一种新的机器鱼顶球路径规划方法。利用几何方法规划机器鱼的运动轨迹, 采用模糊规则产生机器鱼的方向控制指令, 使得机器鱼能够沿期望轨迹运动, 并在机器鱼平台上进行了验证。结果表明, 该方法是有用的, 能使机器鱼的位姿始终处于最佳的顶球状态。

关键词: 机器鱼; 模糊逻辑; 几何学; 路径规划

中图分类号: TP249; O18 **文献标识码:** A

A Path Planning Method Based on Fuzzy Logic and Geometry for Robotic Fish Pushing-Ball

Gao Pu^{1,2}, Tai Xiuhua^{1,2}, Li Zonggang^{1,2}

(1. School of Mechatronic Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China;
2. Peking University Joint Laboratory for Multi-Agent Systems, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Considering the drawbacks of artificial potential field and the flow field methods, this paper presents a new method for robotic fish path planning in ball-pushing based on the geometry path planning method and the fuzzy logic. In our scheme, geometrical method is first used to plan the way of robotic fish. Then, fuzzy rule is employed to decide the direction of robotic fish by which drive the robotic fish moving along the desired trajectory. The proposed method has been verified on the robotic fish platform. The result shows that this method is effective and can make the robotic fish having the best pose to push the ball.

Keywords: robotic fish; fuzzy logic; geometry; path planning

0 引言

水中机器人在水下搜救、水中运输、探险、军事以及服务业等领域有广泛的应用前景, 吸引了越来越多的学者参与其中^[1-6]。由于水中环境的复杂性和不确定性, 水中机器人的路径规划问题已成为机器人技术的研究热点之一。目前, 邹克旭、欧白旭和王晨等利用人工势场及模糊控制规则提出了一种路径规划方法, 但容易陷入局部极小^[7]。Shao J Y, Xie G M 和 Wang L 等提出了流场法, 能够很好地实现避障功能, 但该方法在单鱼运球方面效果并不理想^[8]。故结合模糊控制方法和何利、赵臣及臧军旗提出的几何规划法^[9]的优点, 设计一种新的机器鱼顶球路径规划方法, 以产生更加有利于机器鱼顶球的方向信息, 驱动机器鱼沿期望轨迹运动。

1 仿生机器鱼^[10]

仿生机器鱼平台如图 1。该仿生机器鱼主要分为

鱼头、鱼身、鱼尾 3 部分。其中, 鱼头部分由控制电路板、电池、通讯模块、电源开关和胸鳍构成, 鱼头上预留了吹气孔、充电头和天线。鱼身部分由 3 个摆动关节串联构成, 每个关节均由一个直流伺服电机驱动, 模拟鱼体波曲线的运动。鱼尾为新月型尾鳍。该机器鱼通过 3 个舵机模拟鱼类的摆动, 建立了特殊动力学模型, 具有良好的动力学特性。其优点在于成本低、体积小并具有良好的同构性、灵活性、稳定性和精确性。在实验室或比赛环境下, 可以采用全局视觉来获取机器鱼的位姿信息。

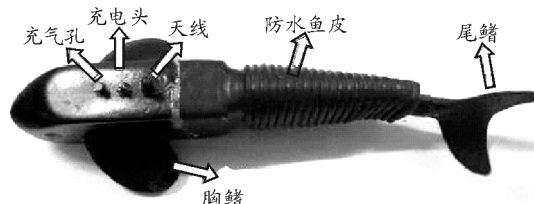


图 1 仿生机器鱼

在普通情况下, 仿生机器鱼拥有 15 个速度档以及 15 个方向档。速度档值越大, 速度则越快。而方

收稿日期: 2010-06-12; 修回日期: 2010-08-11

作者简介: 高溥 (1962-), 男, 甘肃人, 回族, 教授, 硕士研究生导师, 从事机电一体化、测控技术、机器人技术研究。

向档分为 2 个部分,0-6 档表示左转,7 档代表直游,8-14 表示右转。

2 机器鱼顶球路径规划

机器鱼顶球路径规划的目的是在最短的时间内寻找一条从机器鱼当前位置游到球所在位置并把球顶入球门的最优路径。笔者结合模糊逻辑和几何法的优点,提出了一种新的机器鱼顶球路径规划方法,其流程如图 2。

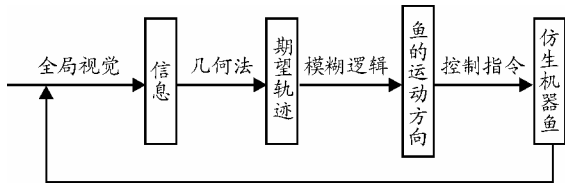


图 2 机器鱼顶球路径规划流程图

由图 2 可知,仿生机器鱼首先通过机器鱼平台的全局视觉得到球门中心坐标、球的位置、机器鱼的方向和坐标等环境信息;其次,根据环境信息,利用几何法确定机器鱼的运动轨迹;最后,利用模糊控制规则对机器鱼奔向目标和机器鱼射门 2 种行为进行融合,确定机器鱼的实际运动方向,驱动机器鱼沿期望轨迹运动,融合方法如图 3。

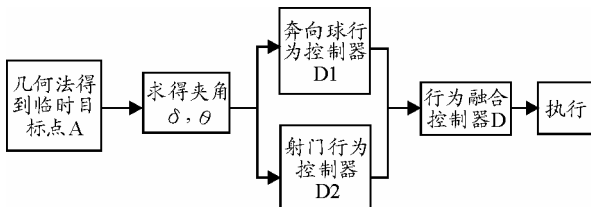


图 3 模糊逻辑控制行为融合

需要指出的是,当机器鱼具有自主视觉时,同样可以利用机器鱼自身得到的关于环境的信息利用该方法实现路径规划。

2.1 利用几何学方法规划期望轨迹

在几何法规划的过程中,需要球门的中点坐标、球心坐标、鱼头的坐标等参数,分别用 $G(X_G, Y_G)$ 、 $B(X_B, Y_B)$ 和 $F(X_F, Y_F)$ 表示。这些信息可由图像采集得到。

首先,做线段 BF 的中垂线交 BF 于点 P 。其次,过点 B 做线段 GB 的垂线,交 BF 的中垂线于点 O 。最后,以点 O 为圆心,线段 OB 的长为半径做圆,交 OP 的延长线于点 A_1 ,交 PO 的延长线于点 A_2 ,如图 4。

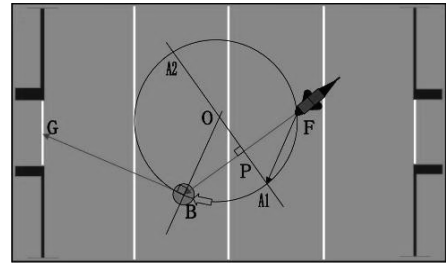


图 4 左攻(球在鱼和球门之间)

具体规划算法如下:

1) 如果点 B 、 F 、 G 三点共线,则直接执行步骤 7,否则执行步骤 2。

2) 如果是往左边的球门顶球,则执行步骤 3,否则执行步骤 4。

3) 如果是往左边的球门顶球。若球在球门和鱼的中间,如图 4,鱼的目标点为 A_1 ,所走的路径为线段 FA_1 ,顶球路径为 $\widehat{A_1B}$;若鱼在球门和球的中间,如图 5,鱼的目标点为 A_2 ,所走的路径为线段 FA_2 ,顶球路径为 $\widehat{A_2B}$ 。无论球在球门和鱼的中间,还是鱼在球门和球的中间,只要是往左边的球门顶球,目标点 A 就取 X 坐标值大的那一点。如果 $(X_{A1} > X_{A2})$, $A = A_1$,执行步骤 5,否则 $A = A_2$,执行步骤 7。

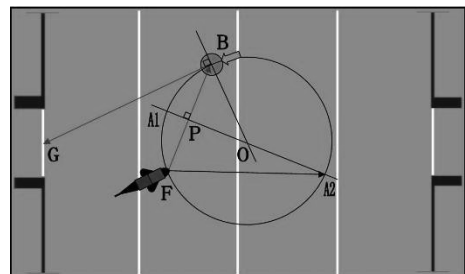


图 5 左攻(鱼在球和球门之间)

4) 如果是往右边的球门顶球,若球在球门和鱼的中间,如图 6,鱼的目标点为 A_1 ,所走的路径为线段 FA_1 ,顶球路径为 $\widehat{A_1B}$;若鱼在球门和球的中间,如图 7,鱼的目标点为 A_2 ,所走的路径为线段 FA_2 ,顶球路径为 $\widehat{A_2B}$ 。无论球在球门和鱼的中间,还是鱼在球门和球的中间,只要是往右边的球门顶球,目标点 A 就取 X 坐标值小的那一点。如果 $(X_{A1} > X_{A2})$, $A = A_2$,执行步骤 5,否则 $A = A_1$,执行步骤 5。

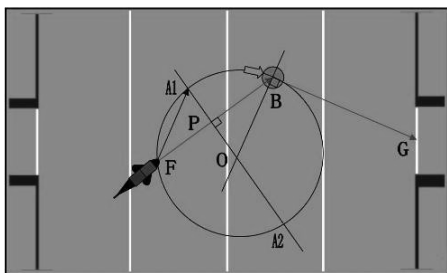


图 6 右攻 (球在鱼和球门之间)

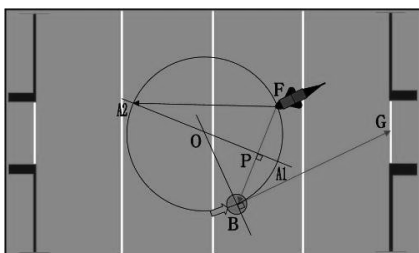


图 7 右攻 (鱼在球和球门之间)

5) 如果目标点 A 点的 X 坐标溢出池子的范围, 此时需要对 X 坐标进行优化。如果 $(X_A < 150)$, $X_A = 150$, 执行步骤 6; 如果 $(X_A > 2850)$, $X_A = 2850$, 执行步骤 6; 否则 $X_A = X_A$, 执行步骤 6。

6) 如果目标点 A 点的 Y 坐标溢出池子的范围, 此时需要对 Y 坐标进行优化。如果 $(Y_A < 0)$, $Y_A = 0$, 执行步骤 7; 如果 $(Y_A > 2000)$, 执行步骤 7; 否则 $Y_A = Y_A$, 执行步骤 7。

7) 机器鱼调用朝目标点 A 游动, 沿 \widehat{AB} 顶球入门。

2.2 基于模糊逻辑方法的机器鱼基本行为融合

机器鱼顶球的基本行为包括奔向目标和射门行为。前者主要实现机器鱼以方向最佳方式奔向目标点, 后者主要实现鱼在接近球时以最佳位姿顶球入门。通常情况下, 这 2 种行为要实现的目标并不一致, 因而存在着一定的矛盾。为此, 笔者运用模糊逻辑的方法将这 2 种基本行为进行加权融合, 最大程度地降低因两者的冲突而造成的不利影响, 使得机器鱼以更加有利的方式实现顶球入门。

2.2.1 基本行为设计

1) 奔向目标行为

奔向球行为控制器原理如图 8。

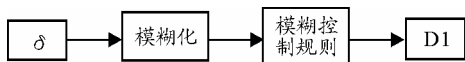


图 8 奔向球行为控制器原理

该控制器的输入量为机器鱼当前运动方向 \overline{FC} 与机器鱼和目标点方向 \overline{FA} 的夹角 δ , 如图 9。对夹角进行模糊化后, 根据规定的模糊逻辑规则, 选择机器鱼的转向档位 $D1$ 。

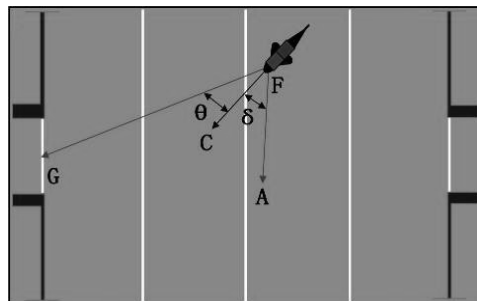


图 9 夹角 δ 和 θ 的计算

2) 射门行为

射门行为控制器原理如图 10。

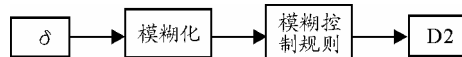


图 10 射门行为控制器原理

该控制器的输入量为机器鱼当前运动的方向 \overline{FC} 与目标点和球门中心方向 \overline{FG} 的夹角 θ , 见图 9。对夹角进行模糊化后, 根据规定的模糊逻辑规则, 选择机器鱼的转向档位 $D2$ 。

2.2.2 基本行为融合

由于单独执行上述 2 种基本行为时不能很好地完成顶球任务。因此, 该方法中不直接使用上述 2 种基本行为, 而是通过行为融合控制器对 2 种行为进行融合, 选择合适的方向档位, 作为实际驱动机器鱼运动的方向控制信号。在融合中, 主要考虑以下 2 种情况: 一是当机器鱼接近球时, 机器鱼的主要任务是调整方向射门; 二是当机器鱼远离球时, 机器鱼的主要任务是奔向目标。为此, 采用加权控制的方法确定控制器最终输出的方向档位, 以适应上述控制要求, 加权融合公式为:

$$D = \begin{cases} K_1 D1 + (1 - K_1) \times D2, d < M \\ K_2 D1 + (1 - K_2) \times D2, d \geq M \end{cases}$$

上式中, $D1$ 、 $D2$ 分别表示 2 种基本行为所产生的方向档位; K_1 、 K_2 为加权重值; d 为机器鱼和球的距离; M 为最大经验值。

3 实验

以仿生机器鱼为实验平台对该算法进行验证。

实验场景是尺寸为 3 000 mm×2 000 mm 的水池，球门到池壁的距离为 150 mm。以右攻且鱼在球与球门中心为例。图 11 表示由几何法得到的机器鱼顶球理论轨迹，图 12 为实验截图。

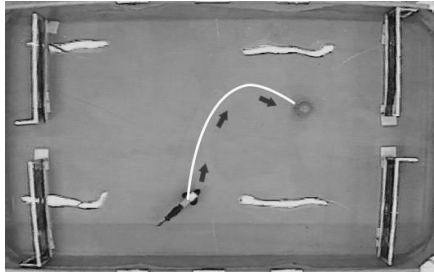


图 11 由几何法得到的理论顶球轨迹

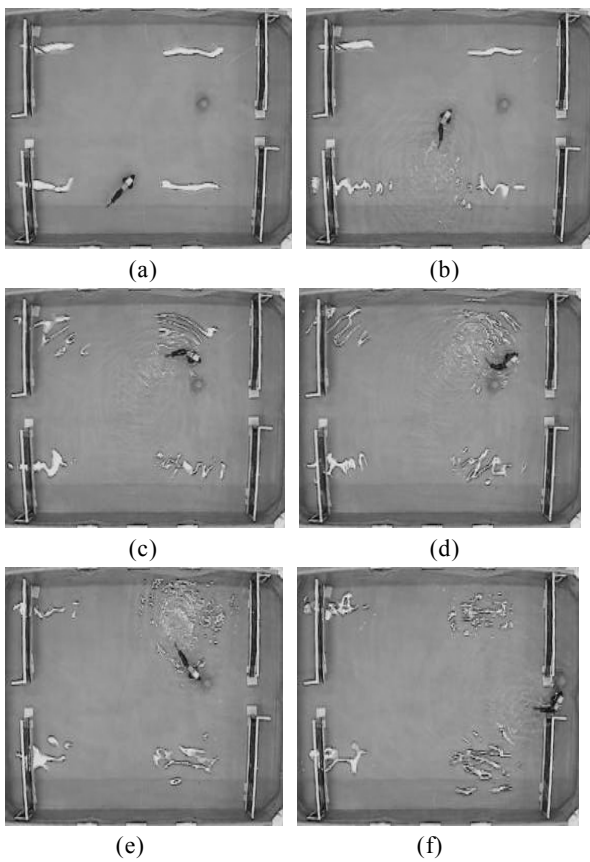


图 12 实验截图

从实验结果可以看出：在图 12 中，机器鱼从初始位置 (a) 到位置 (b) 所走的路径和按照几何法得到的轨迹几乎相同，当机器鱼运动到位置 (c) 时，尽管由于机器鱼游动时所产生的波浪使球产生了波动，但机器鱼仍能沿期望轨迹运动到位置 (d)，并最终最佳的射门方向游动到位置 (e)，在 40 s 内顶球入门到位置 (f)。

机器鱼在整个实验中的实际运动轨迹如图 13。可以看出，机器鱼能够很好地完成顶球任务。

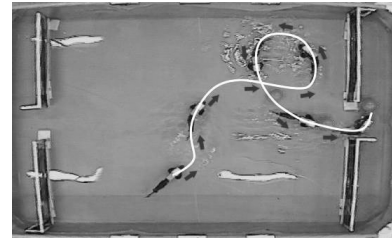


图 13 机器鱼顶球实验实际的顶球运动轨迹

4 结论

该方法结合了几何规划方法和模糊逻辑方法的优点，通过不断地动态调整到最佳顶球位置，增加了机器鱼顶球入门的概率，很好地实现了顶球任务，且计算简单。今后将主要针对水中环境变化比较大的情况，对该算法进行改进。

参考文献：

- [1] Yu J Z, Tan M, Wang S, Chen E K. Development of a biomimetic robotic fish and its control algorithm[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B, 2004, 34(4): 1798-1810.
- [2] Tu X Y, Terzopoulos D. Artificial fishes: physics, locomotion, perception, behavior[C]. New York: Proc. of the 21st Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, 1994: 43-50.
- [3] Yu J Z, Wang S, Tan M. A simplified propulsive model of bio-mimetic robot fish and its realization [J]. Robotica, 2005, 23 (1): 101-107.
- [4] Yu J Z, and Wang L: Parameter optimization of simplified propulsive model for biomimetic robot fish [C]. Proc. of IEEE Int. Conf. Robotics and Automation. Barcelona, Spain 2005: 3317-3322.
- [5] Yu J Z, Wang S and Tan M: Basic motion control of a free-swimming biomimetic robot fish [C]. Proc. of IEEE Conf. Decision and Control. Maui, Hawaii, USA, 2003: 1268-1273.
- [6] Zhang D D, Fang Y. M, Xie G. M, Yu J Z and Wang L, Coordinating Dual-mode Biomimetic Robotic Fish in Box-pushing Task[J]. Lecture Notes in Artificial Intelligence. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2005, 3630: 815-824.
- [7] 邹克旭, 欧白旭, 王晨, 等. 基于模糊人工势场法的机器鱼路径规划[J]. 机器人技术及应用, 2009, 4: 14-17.
- [8] Shao J Y, Xie G M, Wang L, Zhang W C. Obstacle Avoidance and Path Planning Based on Flow Field for Biomimetic Robotic Fish[J]. Advances in Artificial Intelligence, 2005, (38)9: 857-860.
- [9] 何利, 赵臣, 臧军旗. 基于几何学的路径规划方法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2005, 37(7): 947-949.
- [10] 中国自动化学会机器人竞赛工作委员会. 北京大学水中机器人比赛项目推介书[M]. 北京: 北京大学, 2010.