

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.11.027

基于遗传算法的机器鱼路径规划

柴仲明¹, 禹梅¹, 刘舒²

(1. 华北电力大学 控制与计算机工程学院, 北京 102206;

2. 华北电力大学 工业过程测控新技术与系统北京市重点实验室, 北京 102206)

摘要: 针对在线跟踪机器鱼运动等难题, 提出基于对基于遗传算法的机器鱼路径规划方法。采用栅格法对机器鱼工作空间进行划分, 然后通过复制、交叉、变异等遗传操作得到机器鱼在由栅格表示环境下的最短无碰路径。根据分段控制和模糊控制的思想分别设计出机器鱼前进的速度控制算法和方向控制算法, 使机器鱼的实际推进路线尽量与通过遗传算法得到的理想最优路径一致。再通过计算机向机器鱼发出相应的控制指令。实验结果表明, 该方法的是有效的。

关键词: 机器鱼; 遗传算法; 路径规划; 点到点控制策略; 仿真控制平台

中图分类号: TP242.6; TP301.6 **文献标识码:** A

Path Planning of Robotic Fish Based on Genetic Algorithm

Chai Zhongming¹, Yu Mei¹, Liu Shu²

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

2. Key Laboratory of Measurement & Control New Technology & System for Industrial Process, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: Aiming at the difficulty of tracking robotic fish online, this paper proposes a path planning method based on genetic algorithm. First, the grid method is used to divide the workspace of robotic fish; then an optimal robot path can be obtained in the grid environment through the genetic operations such as reproduction, crossover and mutation etc. Velocity control computation and direction control computation can be designed in terms of fuzzy control and subsection control respectively. This will make actual path and the path obtained via genetic algorithm as near as possible. Finally the computer gives corresponding control instructions to the robotic fish. Experimental results show the effectiveness of the proposed method.

Keywords: robotic fish; genetic algorithm; path planning; point to point control algorithm; robotic fish control system

0 引言

移动机器人是国际机器人学术界研究和关注的热点问题^[1-3]。路径规划作为移动机器人的研究一个重要领域, 其任务是在具有障碍物的环境中, 按照一定的评价标准, 寻找一条从起始点到达目标点的安全、高效的免碰撞运行路径。遗传算法由于其通用性强、鲁棒性好、不易陷入局部最优等优点, 使其在移动机器人避障方面得到了广泛的应用^[5-7]。故在机器鱼路径规划研究中, 先运用栅格法对环境进行建模, 再通过遗传算法得到机器鱼路径规划的最优或次优路径, 最后根据该路径向机器鱼发出相应的控制命令。

1 机器鱼控制系统

如图 1, 机器鱼软件控制平台系统可以分为 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 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。决策层是一台装有协作系统软件平台的主机, 处理采集到的图像信息, 把图像识别结果和机器鱼反馈回来的内部控制信息作为系统的输入, 并输出相应的机器鱼控制命令, 机器鱼接收指令后可进行相应的动作^[8]。

2 遗传算法避障

2.1 环境模型的建立

路径规划的第一步就是要建立适当的环境模型。实际的水池是一个 2 000 mm×3 000 mm 的矩形区域, 可以把水池划分为如图 2 所示的栅格, 其中, 每一个栅格代表环境中的一个位置, S 点是起点, T

收稿日期: 2010-06-12; 修回日期: 2010-08-16

基金项目: 北京市自然科学基金项目(4092038)

作者简介: 柴仲明(1986-), 男, 四川人, 硕士, 从事智能机器人和网络控制研究。

点是目标点, 图 2 中黑色部分为障碍栅格。

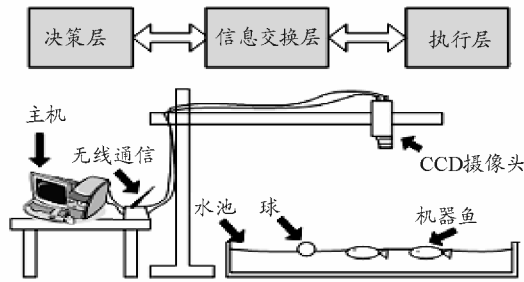


图 1 机器鱼软件控制平台系统的硬件构成图

10	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	
9	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	
8				74	75			78	79	80	
7				64	65			68	69	70	
6	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	
5	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
4	31	32	33	34	35	36	37				
3	21	22				26	27	28	29	30	
2	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

图 2 移动机器人工作空间

为了便于分析操作, 在建模过程中把鱼看作一个质点, 是以距机器鱼头部约 1/4 体长处坐标来作为机器鱼的位置坐标的, 但机器鱼有一定的体积, 为符合实际情况, 笔者在避障时设置了一个安全距离 r_{safe} , 设机器鱼的宽度为 r_{fish} , 则安全距离 r_{safe} 应满足: $r_{safe} \geq r_{fish}$ 。

2.2 编码

取路径点的标识序列号作为路径编码。规定每条路径中不能出现障碍标识序列号和重复的标识序列号。在图 2 的情况下, 一条路径可以表示为: 1-6-46-48-69-100, 其中, 栅格 0 为起点, 栅格 100 为目标点, 而 6、46、48、69 为中间节点。假设环境中有 k 个障碍物, 如果一个染色体中有 $k+1$ 段路径, 就能保证一定能找到一条从起始点到达目标点的可行路径, 故染色体长度为障碍物数目加 2。

2.3 初始种群的产生

在种群初始化时, 采用间断无障碍栅格路径。机器人初始路径的产生过程为: 从起点 S (栅格 0) 出发, 结合先验知识, 随机地选取若干栅格, 把目标点 T (栅格 100) 作为最后一个节点, 这样得到的初始路径就是变长度的无障碍栅格路径。其中, 每

条路径最短长度至少包含 2 个栅格 (栅格 0 和栅格 100)。

2.4 评价函数的确定

将路径优劣程度的评估定义为遗传算法中染色体的适应值, 由于染色体既可以是可行路径, 也可以是不可行路径, 评价函数能区别出可行路径与不可行路径, 表示为^[9]:

$$F_{cost} = \sum_{i=1}^M (d_i + \alpha_i C) \quad (1)$$

其中, M 为一条路径中线段的数目, d_i 是一条路径中 2 节点的几何距离, C 为一个常数, α_i 是表示一条路径在障碍物中穿越深度的一个系数, 可表示为:

$$\alpha_i = \begin{cases} 0 & \text{如果第 } i \text{ 条路径是可行的} \\ \sum_{j=1}^N \beta_j & \text{如果第 } i \text{ 条路径是不可行的} \end{cases} \quad (2)$$

其中, N 为一条路径中穿越了障碍物的线段数目, β_j 为一条线段在障碍物中的穿越距离, 用来表示这条线段在障碍物中的穿越深度。

对于不可行路径, 该评价函数相当于在其中加入了一个惩罚因子 $\alpha_i C$, 很大程度上区别出了可行路径与不可行路径, 但仍把不可行路径保留在种群中, 因为有的不可行路径经过某种遗传操作可以很快地变成效果很好的可行路径。

2.5 遗传操作

1) 交叉操作

交叉操作是结合来自父代交配种群中的信息产生新的个体, 通常有单点交叉、多点交叉、均匀交叉等方法。笔者选择单点交叉的方法, 随机选择 2 个个体, 按一定的交叉概率选择交叉点进行交叉, 用交叉后的子代个体代替原种群中的父代个体, 产生新的种群。下面举一实例来说明这个问题, 如图 2, 假设种群中有 2 个个体 V1(1-6-36-55-95-100) 和 V2(1-31-43-47-59-100), 选择个体中第四进行交叉, 则交叉的新个体为 V11(1-6-36-47-59-100) 和 V22(1-31-43-55-95-100)^[10]。

2) 变异操作

交叉之后子代经历的变异, 实际上是子代基因按小概率扰动产生的变化。常用有 3 种操作方式, 即在个体中随机选择一个序号在变异点处插入, 从

个体中以一定的概率选择一个起点和终点之外的序号作为变异点，删除或用另一个随机产生的序号代替它。在仿真过程中，采用第 2 种变异方式。

3) 删除操作

在表示路径的个体中，由于初始化的随机性和变异操作，导致个体中会产生障碍栅格序号，所以需要进行删除障碍栅格的操作。同时，由于在执行交叉、变异和插入操作时，个体中会出现相同的栅格序号，所以要将相同栅格之间的栅格和两相同栅格之中的一个删除掉。然后再经插入算子，将间断无障碍路径改变为连续的无障碍路径。

4) 插入操作

经删除操作之后，路径变得不连续，还需进行插入操作。在进行插入操作时，首先，插入的栅格不能是障碍栅格；其次，要确保插入的栅格是使路径朝着最短方向发展的栅格；最后，要确保路径的连续性。

2.6 终止条件

遗传算法的终止采用最大进化代数和设定收敛条件的复合准则。当遗传算法满足设定的收敛判断条件时，遗传算法终止；若进化代数到了仍然没有满足设定的收敛判断条件，遗传算法也终止。将判断算法收敛的条件设为：若连续进化 10 代，最优解均未发生变化，且种群的平均适应值提高不足 1%，或算法进化代数已达到了设定的最大值，则算法终止^[11]。

3 点到点 (PTP) 控制策略

前面通过遗传算法已经得到了机器鱼路径规划的最优路径，但理想的最优路径是由若干条线段组成的，而机器鱼本身是以波动模式推进的，很难跟踪直线运动，故笔者设计了点到点 (PTP) 控制策略，使机器鱼连续、平稳地从起始点运动到目标点。因为机器鱼的游动控制主要分为速度控制和方向控制，所以笔者分别设计了速度控制算法和方向控制算法，使机器鱼实际的推进路线与根据遗传算法得到的最短无碰路径一致。

机器鱼的推进速度用 Fish_speed 表示，方向用 Fish_dir 表示，机器鱼的速度和方向都为一系列离散的值。

Fish_speed 由慢到快有 0-15 共 16 个档位，从 0 到 15 速度越来越快，其中 0 档表示静止，15 代表全速前进。

Fish_dir 有 0-14 共 15 个档位，其中，7 档表示直游，Fish_dir<7 时表示左转，Fish_dir 越小，表示左转得越急，Fish_dir>7 表示右转，Fish_dir 越大，表示右转得越急。

3.1 速度控制算法

由于机器鱼本身没有制动装置，即使机器鱼速度减为零，机器鱼也能在水中漂移一段距离，所以当鱼距离目标点较近时，应该提前减速。

因此采用分段控制的思想，用 l 表示机器鱼和目标点的距离，用 L_s 表示缓冲距离。

当 $l > L_s$ 时，表示机器鱼离目标点较远，应该全速前进，此时取：Fish_speed=15；

当 $l < L_s$ 时，表示机器鱼离目标点已经比较近，应该尽快减速调整，但若速度减为零，让鱼漂移到目标点，则花费时间较长，所以让机器鱼在此阶段低速前进，取：Fish_speed=4。

3.2 方向控制算法

由于机器鱼是一个复杂的非线性控制对象，目前还没有合适的数学模型对其方向进行描述，不宜采用 PID 控制器，因此引入模糊控制来控制机器鱼的方向^[12]，如图 3。

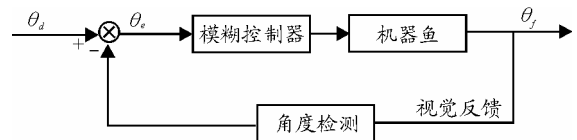


图 3 机器鱼方向控制框图

模糊控制器输入 θ_e 如图 4^[13]，其中，机器鱼的位置为 $F(Fx, Fy)$ ，目标点为 $P(Px, Py)$ ， θ_f 为机器鱼与水平方向的夹角， θ_d 为机器鱼理想的运动方向，即机器鱼位置与目标点连线与水平方向的夹角， θ_e 为 θ_f 与 θ_d 之间的偏差， $\theta_e = \theta_d - \theta_f$ 。

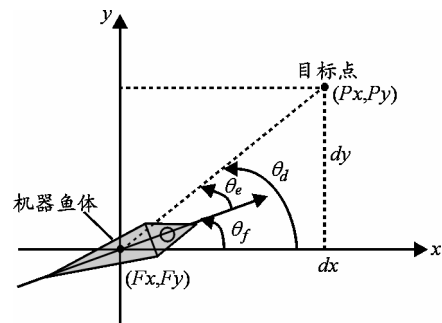


图 4 方向模糊控制器输入

θ_e 的变化范围为 $[-180^\circ, 180^\circ]$, θ_e 与 Fish_dir 之间的对应关系如表 1。

表 1 简单模糊规则表

$\theta_e(^{\circ})$	-180°~90°	-90°~-60°	-60°~-30°	-30°~-10°	-10°~10°	10°~30°	30°~60°	60°~90°	90°~180°
Fish_dir	14	12	10	8	7	6	4	2	0

3.3 到达目标点的条件判断

因为机器鱼有一定体积, 实际并不是一个质点, 所以可以认为当机器鱼头部到达目标点时, 鱼已到达目标点。因为鱼的位置是按照鱼体 1/4 处的坐标来确定的, 设鱼体长为 L_{fish} , 当鱼距目标点距离 l 满足条件 $l < r$ ($r=0.25L_{fish}$) 时, 可认为鱼已到达目标点, 可进行下一步动作。例如假设最优路径为 1-6-36-47-59-100, 6、36、47、59 为中点目标点, 100 为最终目标点, 机器鱼从 1 出发经过 6、36、47、59 到达最终目标点 100, 当机器鱼从 1 出发到 6 的过程中, 若机器鱼和 6 的距离 l 满足条件 $l < r$, 则可认为鱼已经到达 6, 那么鱼应该立即向 36 运动。

4 仿真测试与实验结果

4.1 仿真

依据上述的环境表示模型和改进算法, 在 matlab 环境下编写了避障路径规划的算法程序进行仿真。

任意假设机器人路径空间障碍物分布信息如图 5。其中, 机器鱼运动起点为 S, 终点为 T, 算法参数为: 群体规模 $popsize=20$, 个体长度 $poplength=5$, 遗传代数 $t=100$; 交叉概率 $P_c=0.8$, 变异概率 $P_m=0.2$, 安全距离 $r_{safe}=0.2$ 。所得的仿真结果如图 5, 折线即为通过计算所获得的机器鱼理想最优路径。

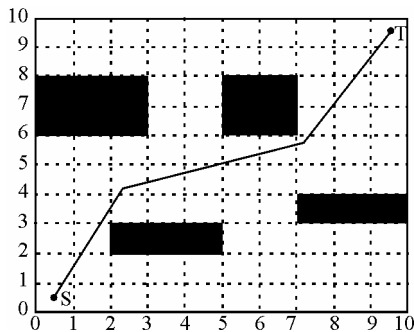


图 5 路径规划仿真图

4.2 实验

实验的环境场景如图 6(a)。水池的尺寸为

2.00 m×3.00 m (宽×长), 水池的左右两侧各有一个球门, 水池中 2 个黄色物体为障碍物。一条颜色组合为红加浅绿的机器鱼进行路径规划, 它的出发点在左侧球门, 如图 6(a), 目标点为右侧球门, 设置安全距离 $r_{safe}=0.2$ m 然后在机器鱼控制平台上进行实验, 实验的情景图片如图 6。

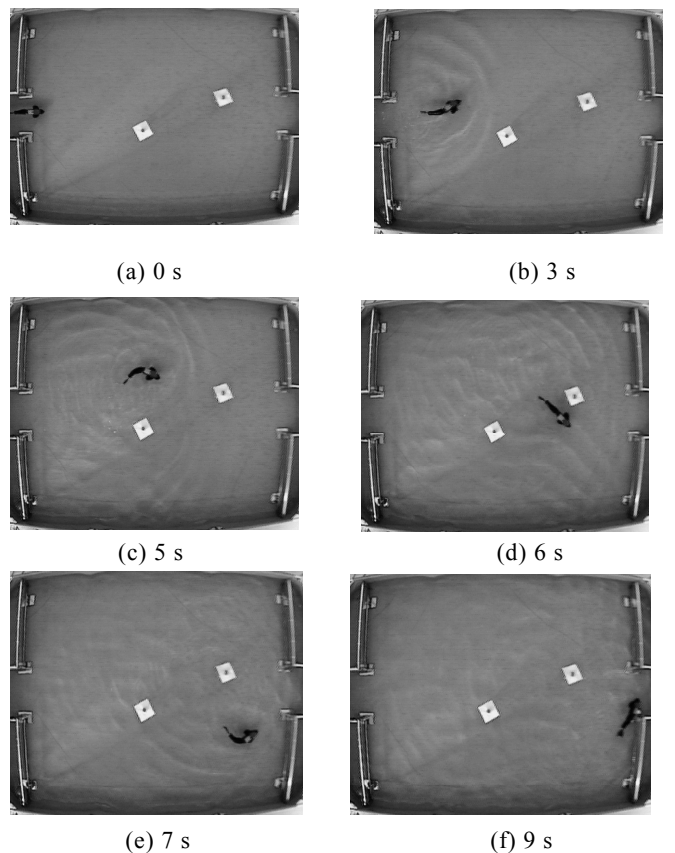


图 6 机器鱼路径规划各时刻片段

通过图 6 可以看出, 机器鱼能够成功地避开障碍物到达目标点, 机器鱼的路径是最优或次优的。

5 结束语

仿真结果和实验结果表明, 该方法是有效的, 但当障碍物是动态的时候, 机器鱼的避障效果较差。下一步, 将对机器鱼动态避障进行研究。

参考文献:

[1] 戴博, 肖晓明, 蔡自兴. 移动机器人路径规划技术的研究

究现状与展望[J]. 控制工程, 2005, 12(3): 198-202.

[2] 李磊, 叶涛, 谭民, 等. 移动机器人技术研究现状与未来[J]. 机器人, 2002, 24(5): 475-480.

[3] 张捍东, 郑睿, 岑豫皖. 移动机器人路径规划技术的现状与展望[J]. 系统仿真学报, 2005: 439-443.

[4] 邹克旭, 欧白羽, 王晨, 等. 基于滑模方法的机器鱼运动控制[J]. 机器人技术与应用, 2009(4): 18-21.

[5] 孙树栋, 曲彦宾. 遗传算法在机器人路径规划中的应用研究[J]. 西北工业大学学报, 1998, 16(1): 79-83.

[6] 戴光明, 杜安红, 李妍. 多边形障碍环境中避障路径的遗传算法[J]. 海军工程大学学报, 2004, 16(5): 43-47.

[7] 王随平, 蒋亮谋. 基于改进型遗传算法的深海集矿机路径规划[J]. 自动化与仪表, 2008, 9: 9-12.

[8] 李立, 孔峰. 水下仿生机器鱼控制平台的研究[J]. 广西工学院学报, 2008, 19(2): 15-19.

[9] Y. Hu, S. Yang, A knowledge based genetic algorithm for

path planning of a mobile robot[C]. Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation. New Orleans, USA, IEEE, 2004: 4350-4355.

[10] Qing Li, Guangjun Liu. An Improved Genetic Algorithm of Optimum Path Planning for Mobile Robots[C]. Proceedings of the Sixth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications. IEEE, 2006: 637-642.

[11] 王海英, 蔡向东, 尤波, 等. 基于遗传算法的移动机器人动态路径规划研究[J]. 传感器与微系统, 2007, 26(8): 32-34.

[12] 谭明, 王硕, 曹志强. 多机器人系统[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.

[13] Junzhi Yu, Min Tan, Shuo Wang, Erkuai Chen. Development of a Biomimetic Robotic Fish and Its Control Algorithm[C]. IEEE Transactions on systems, Man, and cybernetics-Part B: Cybernetics, 2004: 1798-1810.

(上接第 84 页)

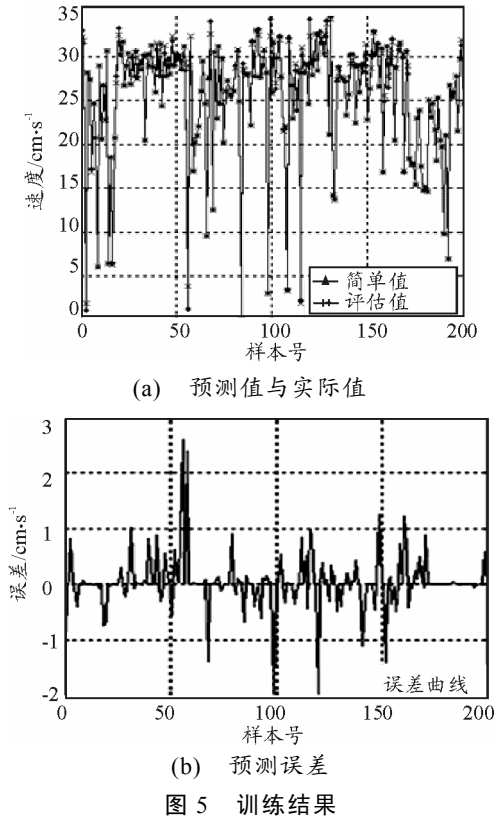


图 5 训练结果

4 结束语

该模型可大大降低在实物试验上的人力、物力、财力的浪费, 并可方便地对机器鱼进行速度优化和控制。同时, 由于建模过程避免了机理数学建模中所涉及的复杂解析过程, 可以快速地得到仿鳐科机器鱼直游的输入输出特性。实验结果证明, 采用 GRNN 神经网络辨识技术建立仿鳐科机器鱼直游速度模型是完全可行的。下一步, 将在已建立的速度

模型上进行机器鱼运动速度优化及控制, 实现仿生机器鱼“能量最省, 效率最高”的最优控制。

参考文献:

[1] 喻俊志. 多仿生机器鱼控制与协调研究[D]. 中国科学院自动化研究所博士论文, 2003.

[2] 张毅, 付文勇. 三关节机器鱼的尾部动力学建模与仿真[J]. 重庆邮电大学学报, 2008(10).

[3] 俞经虎, 竺长安. 多关节鱼形机器人的动态特性的建模与仿真研究[J]. 水动力学研究与进展.

[4] 飞思科技产品研发中心. 神经网络理论与 MATLAB 实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.

[5] Barrett D, Grosenough M, Triantafyllou M. The optimal control of a flexible hull robotic undersea vehicle propelled by an oscillating foil[J]. Proc.1996 IEEE AUV Symp. New York: IEEE Press, 1996, 1-9.

[6] Lighthill M J. Note on the swimming of slender fish[J]. Fluid Mech. 1960(9): 305-317.

[7] 周超, 曹志强. 仿鳐科机器鱼的倒退游控制[J]. 动化学报, 2008(8).

[8] Hyong-Seok Kim, Byung-Ruong Lee.A. Study Optimization of fish robot velocity using Genetic Algorithm[J]. IEEE International Conference on Smart Manufacturing Application April, 9-11, 2008 in KINTEX, Gyeonggi-do, Korea, 441-446.

[9] Jianyan Shao, Long Wang. Development of multiple robotic fish cooperation platform[J]. International Journal of Systems Science, Vol. 38, No.3, March 2007, 257-268.

[10] Eunjug Kim and Yongil Youm. Simulation Study of Fish Swimming Modes for Aquatic Robot System[J]. IEEE International Conference on Robotics and Automation, Barcelona, Spain, April 2005, 3330-3335.

[11] Tuong Quan, Vo, Byung Ryong Lee. Optimizing Maximum Velocity of Fish Robot Using Hill Climbing Algorithm and Genetic Algorithm[J]. 2008 10th Intl. Conf. on Control, Robotics and Vision, Hanoi, Vietnam, 17-20 December 2008, 593-598.