

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学 号: 31520141153293 UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于BK乘积算法的仿生机器鱼
避障控制方法与实现

An Obstacle Avoidance Control Method and Realization for
Bionic Robotic Fish Based on BK-products Algorithm

史运田

指导教师姓名: 潘 伟 教 授

专 业 名 称 : 计算机科学与技术

论文提交日期: 2017 年 月

论文答辩时间: 2017 年 月

学位授予日期: 2017 年 月

答辩委员会主席:

评阅人:

2017 年 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。

另外，该学位论文为（ ）课题（组）的研究成果，获得（ ）课题（组）经费或实验室的资助，在（ ）实验室完成。（请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘要

本文以自行研制的仿生型机器鱼为平台,针对仿生机器鱼的自主避障功能展开工作。着重阐述了三个部分:仿生机器鱼系统总体设计,模糊控制策略与BK乘积关系,以及如何实现仿生机器鱼的自主式避障。在系统总体设计部分,详细给出了仿生机器鱼的软硬件结构以及核心传感器,分析其航行过程尾鳍的调整过程,说明为何采用模糊的控制理念。详细分析了用于环境障碍物检测的单波束声呐的工作机制,说明其在收集环境信息时的工作原理。在给出模糊控制策略与BK乘积关系时,着重给出了二者的基本定义,以及两者之间的转换关系。

由于无法构建仿生机器鱼运动的精确数学模型,本文使用模糊控制策略来设计机器鱼的避障控制。把声呐检测范围作为模糊控制的论域,划分成多个子部分,作为机器鱼候选航向,计算各部分与环境属性之间的模糊关系,采用Bandler和Kohout提出的三角子积来进行模糊计算。论文通过两个仿真实例,详细说明算法的具体实现流程,如何选取仿生机器鱼航向调整和继承航向。

为了验证本文提出的启发式算法的性能,分别设置了仿真测试以及水池测试。仿真测试阶段,假定航行起始点为 S ,声呐探测长度为 2m ,声呐探测角度为 60° 。在同样参数下建立了四种场景:无障碍物场景,单障碍物场景,双障碍物场景,“U”形夹角障碍物场景,通过分析仿生鱼的航行过程以及局部放大效果,说明了文中提出的基于BK三角子积的模糊关系策略,能够安全有效的实现仿生鱼的自主避障控制。为了观察实际航行效果,设置了水池测试实验,在 $10\text{m}\times 35\text{m}$ 的实际水池中,同样设置了四种航行场景:自由航行,单障碍物航行,双障碍物航行以及“U”形夹角障碍物航行,观察仿生鱼是否能够安全有效的避开障碍物。通过仿真实验以及水池实验,可以得出基于BK三角子积模糊关系的启发式避障策略,能够有效实现仿生鱼的自主避障控制。

关键词: 仿生机器鱼, BK三角子积, 避障, 模糊控制

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Abstract

In this paper, we studied its autonomous obstacle avoidance function on platform of self-developed bionic robotic fish. This paper focuses on three parts: the bionic machine fish system overall design, the fuzzy control strategy and the product of BK relationship, and how to realize the autonomous obstacle avoidance of bionic robotic fish. In the overall design of the system, the paper introduced the hardware and software structure of the fish and the mainly sensors, analysis of the navigation process how the fish to adjust the caudal fin and the reason why using fuzzy control concept. The working mechanism of single beam sonar for environmental obstacle detection is analyzed in detail, and its working principle in collecting environmental information is explained. In introducing the relationship between fuzzy control strategy and BK product, the basic definition of the two was introduced, and the relationship between them were been introduced.

Due to the inability to construct the precise mathematical model of the movement of the bionic robotic fish, this paper used the fuzzy control strategy to design the obstacle avoidance control of the robotic fish. This paper divided the sonar detection range into the fuzzy control domain, divided it into multiple sub-parts, and calculates the fuzzy relation between each part and the environment attribute as the candidate course of the robotic fish. The fuzzy calculation was carried out by using BK triangle sub-product. In this paper, two simulation examples are given to illustrate the specific implementation process of the algorithm, how to choose the heading and the inheritance course of the bionic robotic.

In order to verify the performance of the heuristic algorithm proposed in this paper, simulation tests and pool tests are set up respectively. In the phase of simulation test assuming that the starting point for navigation is S. Sonar detection The length of sonar detection is 2m,the angle of sonar detection is 60° .In the same parameters, four scenarios were established: no obstacle scene, single obstacle scene,

double obstacle field and "U" shape angle obstacle scene, by analyzing the voyage process and the partial magnification effect of the bionic fish, the fuzzy relation strategy based on BK triangle sub-product is proposed, which can safely and effectively realize the autonomous obstacle avoidance control of bionic fish. In order to observe the actual navigation effect, we were set pool test experiment, in the volume for 10mx35m actual pool, also set up four kinds of navigation scene: free sailing, single obstacle sailing, double obstacle sailing and "U" shape angle obstruction sailing. Observing bionic fish whether can safely and effectively avoid obstacles. Through the simulation experiment and the pool experiment, the heuristic obstacle avoidance strategy based on the fuzzy relation of BK triangle sub-product can be obtained, which can effectively realize the autonomous obstacle avoidance control of bionic fish.

Keywords:Bionic robotic fish, BK triangle sub-products, Obstacle avoidance, Fuzzy control

目录

摘要.....	I
Abstract.....	III
第一章 绪论	1
1.1 研究背景和意义.....	1
1.2 国内外仿生机器鱼研究现状.....	2
1.3 国内外水下机器人避障控制研究现状.....	6
1.3.1 传统避障算法.....	7
1.3.2 图形学方法.....	8
1.3.3 智能仿生学算法.....	9
1.3.4 启发式算法.....	10
1.4 文章创新点.....	10
1.5 本文主要研究内容和工作安排.....	10
第二章 仿生型机器鱼平台	13
2.1 仿生型机器鱼制动机理分析.....	13
2.2 仿生机器鱼系统分析.....	15
2.2.1 硬件系统结构.....	15
2.2.2 软件系统结构.....	16
2.2.3 通信过程.....	17
2.2.4 导航过程.....	17
2.2.5 ROS 操作系统.....	18
2.2.6 仿生鱼工作流程.....	20
2.3 仿生机器鱼声呐传感器.....	21
2.3.1 声呐控制过程.....	22
2.3.2 声呐命令分析.....	23
2.3.3 声呐遇到障碍物情况.....	24
2.4 本章小结.....	26
第三章 模糊控制与 BK 乘积算法	27
3.1 模糊控制综述.....	27
3.2 模糊控制的理论基础.....	28
3.2.1 模糊集合.....	28
3.2.2 模糊关系.....	29
3.2.3 模糊系统.....	29
3.3 BK 乘积关系.....	34

3.3.1 BK 乘积关系的定义	34
3.3.2 BK 模糊乘积关系	35
3.4 模糊蕴含操作	37
3.5 本章小结	38
第四章 仿生机器鱼避障控制研究	39
4.1 BK 三角子积算法	39
4.2 哈斯图和截集	41
4.3 基于 BK 三角子积的仿生机器鱼避障技术	42
4.3.1 避障控制器的设计	42
4.3.2 仿生机器鱼避障流程图	44
4.4 具体案例分析	46
4.5 本章小结	51
第五章 实验	53
5.1 仿真测试	53
5.1.1 模糊避障策略	53
5.1.2 语言变量模糊化	53
5.1.3 仿真分析	54
5.2 路径规划	57
5.3 水池测试	58
5.2.1 自由航行	59
5.2.2 单障碍物	60
5.2.3 双障碍物	61
5.2.4 夹角避障	62
5.4 本章小结	63
第六章 总结和展望	65
6.1 主要的研究工作	65
6.2 研究展望	66
参考文献	67
攻读硕士期间发表的论文	71
致谢	73

Table of Contents

Abstract	III
Chapter 1 Introduction	1
1.1 Background and meaning	1
1.2 Research status of bionic robotic fish	2
1.3 Research status of obstacle avoidance algorithm.....	6
1.3.1 Traditional algorithms	7
1.3.2 Graphics algorithms	8
1.3.3 Intelligent bionic algorithms	9
1.3.4 Heuristic algorithms.....	10
1.4 Innovation	10
1.5 Content and work.....	10
Chapter 2 The platform of bionic robotic fish	13
2.1 Braking mechanism	13
2.2 System analysis.....	15
2.2.1 Hardware system.....	15
2.2.2 Software system.....	16
2.2.3 Communication.....	17
2.2.4 Navigation.....	17
2.2.5 ROS operating system.....	18
2.2.6 Work process.....	20
2.3 Sonar sensor	21
2.3.1 Control process	22
2.3.2 Command analysis	23
2.3.3 Obstacle scene.....	24
2.4 Summary.....	26
Chapter 3 Fuzzy control and BK product algorithm	27
3.1 Summary of fuzzy control	27
3.2 Theoretical basis	28
3.2.1 Fuzzy set	28
3.2.2 Fuzzy relationship.....	29
3.2.3 Fuzzy system.....	29
3.3 BK product relationship.....	34
3.3.1 Definition	34
3.3.2 BK product relationship.....	35
3.4 Fuzzy implied operation	37
3.5 Summary.....	38
Chapter 4 Obstacle Avoidance	39
4.1 BK trianlge sub-product.....	39

4.2 Hasse diagram and alpha-cut	41
4.3 Obstacle avoidance technology based on BK triangle sub-product.....	42
4.3.1 Design of obstacle avoidance controller	42
4.3.2 Obstacle avoidance flow chart	44
4.4 Specific case.....	46
4.5 Summary	51
Chapter 5 Experiments	53
5.1 Simulation test	53
5.1.1 Fuzzy obstacle avoidance strategy	53
5.1.2 Language variables fuzzify	53
5.1.3 Simulation analysis	54
5.2 Path planning	57
5.3 Pool test.....	58
5.3.1 Free sailing.....	59
5.3.2 Single obstacle	60
5.3.3 Double obstacle.....	61
5.3.4 Angle obstacle.....	62
5.4 Summary	63
Chapter 6 Summary and prospect.....	65
6.1 Major research work	65
6.2 Prospect.....	66
References.....	67
Publication.....	71
Acknowledge.....	73

第一章 绪论

该章节详细说明了仿生鱼的研究背景以及国内外在自主水下航行器设计的发展概况。在研究水下机器人关键技术时，避障控制一直是一个不得不解决的问题，因而该章节后续部分，结合本课题的仿生型机器鱼，讨论国内外水下机器人避障控制研究现状。文中针对现阶段比较著名的避障控制算法以及它们的应用领域展开说明，总结了常见避障算法的优劣，特别是针对仿生型水下机器人自主避障问题，为之后详细设计适合仿生型机器鱼的避障算法，奠定理论基础，章节最后讨论了本文的组织结构以及创新点。

1.1 研究背景和意义

随着科技的发展，传统的作业方式，已经难以满足特定研究的需求，人们急需智能设备的帮助，在这种需求的刺激下，以人工智能技术为代表的新兴技术应用越来越广泛^[1]。人工智能领域的机器人分支中，为了满足特定的需求，设计与开发一款多功能的机器人，一直是一个能够让很多研究者乐此不疲的研究项目。在研究机器人的过程中，相比开发传统的陆地机器人，设计一款智能型水下机器人将具有更大的挑战，同时水下机器人能够适应更多的特定作业要求，比如军事应用，海洋开发与探测，水质检测等^[2-3]。正是由于水下机器人的军事和商业潜能，越来越多的研究机构投入大量的人力、物力、财力，研制特定需求的自主式水下机器人（Autonomous Underwater Vehicle，简称 AUV），以满足军事或者商业需求^[4]。

在众多使用自主水下机器人作业的场景中，使用 AUV 收集濒临灭绝的海洋生物信息，是一个很重要的应用，比如中华白海豚生物信息收集，中华白海豚（学名：Sousa chinensis），属于鲸类的海豚科，其眼睛局部较小，视力能够观察的有效范围较小，因此，其用于定位的功能并不在眼睛，而是采用声波传输的方式，通过不同声波的反射过程，实现回声定位。为了深入研究白海豚的生活习性，文本以此为背景申请了国家自然科学基金。基于国家自然科学基金项目：具有模仿与强化学

习机制的智能机器人，展开研究，该项目在于获取白海豚的生活习性，研究它们的行为。为了收集海豚信息，同时尽量减少研究过程给它们带来的惊扰，文中研制了以鲤鱼为原型的智能型水下机器人，也即是仿生型机器鱼，它具有鲤鱼的流线型外形以及游动方式。在仿生机器鱼设计过程，配备了碳纤维制作而成的旋转尾鳍仿制鲤鱼尾鳍，同时结合可配重胸鳍仿制鲤鱼胸鳍。通过使用尾鳍和胸鳍，结合其他的仿生结构，研制模仿鱼类的仿生型机器人，可以使其具备真实鱼类的游动机理，能够更好的使用水下作业。

在自主式水下航行器的众多应用中，为了使 AUV 完成水域探测、水下作业等挑战性任务，在其航行时具备自主避障控制功能具有重要意义。水下航行器的自主避障，即航行器航行时能够安全有效的自动避开障碍物，保障航行器安全航行。因而针对具体的 AUV 设计一套合适的自主避障控制系统具有很重要的研究意义。

文中在设计自主避障功能时，结合英国埃塞克斯大学机器人实验室和厦门大学仿脑智能系统重点实验室联合研发的仿生型机器鱼，以收集中华白海豚生物信息为背景，通过搭载各种探测型传感器，使仿生型机器鱼在航行过程中能够安全有效的避开路径中的障碍物，以完成作业。

1.2 国内外仿生机器鱼研究现状

在使用水下机器人作用于海洋开发与探测任务时，必须具备足够的智能化。一方面能够在水域环境航行，可以利用相关传感器对环境可视或者可感知；另一方面，水下机器人能够根据不同的作业需求，通过配备不同的智能设备，完成相关水下作业。

在上世纪 70 年代末，人们对探测海洋环境需求更大，在科技与电子技术进步的驱动下，仿生型机器鱼的研究得到了越来越多国内外先进研究者的青睐。在这些组织或者团队中，最著名的当属：美国伍兹霍尔海洋研究所（Woods Hole Oceanographic Institute），美国海军研究生院的智能水下机器人研究中心（Center for Autonomous Underwater Vehicle Research），美国麻省理工学院的智能水下机器人实验室（MIT Sea Grant's AUV Lab），英国的海洋技术中心（Marine Technology

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库