

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: X2007221028

UDC _____

廈門大學

工程硕士学位论文

基于流式细胞摄像技术的福建南部海域
赤潮藻类图谱数据库构建与分析

Construction and analysis based flow cytometry imaging
technology about atlas database of red tide algae
in the Fujian southern waters

余肖翰

指导教师: 王博亮 教授

谢杰镇 工程师

专业名称: 计算机技术

论文提交日期: 2013 年 10 月

论文答辩时间: 2013 年 12 月

学位授予日期: 2013 年 12 月

指导教师: _____

答辩委员会主席: _____

2013 年 12 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):

2013年12月01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）：

2013 年 12 月 01 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘 要.....	V
ABSTRACT.....	VII
第一章 绪论	1
1.1 研究背景与意义	1
1.2 国内外研究现状	2
1.3 本文的创新之处	4
1.4 论文的组织结构	5
1.5 本章小结	7
第二章 相关理论基础	8
2.1 赤潮与赤潮生物	8
2.1.1 赤潮及其危害.....	8
2.1.2 赤潮生物种类.....	9
2.1.3 赤潮生物分类学概述.....	9
2.2 图像与处理	15
2.2.1 基本理论.....	15
2.2.2 处理技术.....	16
2.2.3 形态学.....	16
2.3 流式细胞技术实际应用	18
2.3.1 基本结构.....	18
2.3.2 工作原理.....	20
2.4 本章小结	21
第三章 建立赤潮藻类图谱数据库	22
3.1 建立福建海域赤潮生物档案	22
3.1.1 资料整理.....	22
3.1.2 样本搜集.....	25
3.2 流式图像现场监测设备与技术	26
3.2.1 FlowCAM	26

3.2.2 赤潮实时监控系統.....	30
3.3 建立赤潮藻類圖譜數據庫	34
3.3.1 典型赤潮生物種類.....	34
3.3.2 常見赤潮生物種類.....	36
3.3.3 福建南部海域常見浮游植物.....	38
3.3.4 未建庫藻種說明.....	41
3.4 本章小結	41
第四章 藻類圖像分類識別與應用	42
4.1 FLOWCAM-VISUALSPREADSHEET.....	42
4.1.1 功能目標.....	42
4.1.2 求解過程.....	43
4.1.3 識別結果.....	43
4.2 赤潮实时监控系統	44
4.2.1 功能目標.....	44
4.2.2 求解過程.....	45
4.2.3 描述子开发与 SVM 分类.....	45
4.2.4 识别结果.....	51
4.3 結果比對	52
4.4 赤潮監測的實地應用	52
4.4.1 圖譜庫對樣本的識別精度.....	53
4.4.2 圖譜庫篩選結果與顯微鏡結果對比.....	54
4.5 本章小結	54
第五章 總結與展望	56
5.1 工作小結	56
5.2 未來展望	57
參考文獻	58
在讀期間已發表和錄用的論文	61
在讀期間已發表和錄用的論文	61
參與課題	61
致 謝.....	62

Contents

Abstract	VII
Chapter 1 Introduction	1
1.1 Background and Significance	1
1.2 Research status	2
1.3 The innovation of this article	4
1.4 Organizational structure of the paper	5
1.5 Summary	7
Chapter 2 Relevant theoretical foundation	8
2.1 Red tide and red tide organisms	8
2.1.1 Red Tide and harm	8
2.1.2 Red tide species	9
2.1.3 Red Tide taxonomic overview	9
2.2 Image and Processing	15
2.2.1 Basic theory	15
2.2.2 Processing technology	16
2.2.3 Morphology	16
2.3 The practical application of flow cytometry	18
2.3.1 Basic Structure	18
2.3.2 Works	20
2.4 Summary	21
Chapter 3 Establishment of red tide algae map database	22
3.1 Establishment of Fujian red tide organisms file	22
3.1.1 Data compilation	22
3.1.2 Sample collection	25
3.2 Streaming live image monitoring equipment and technology	26
3.2.1 FlowCAM:	26
3.2.2 Red tide monitoring system:	30

3.3 Establishment of red tide algae map database	34
3.3.1 Typical red tide species:	34
3.3.2 Common red tide species	36
3.3.3 Waters of southern Fujian common phytoplankton	38
3.3.4 Not building a database description algae species	41
3.4 Summary	41
Chapter 4 Algae image classification and application	42
4.1 FlowCAM-VisualSpreadsheet	42
4.1.1 Functional goals	42
4.1.2 Solving process	43
4.1.3 Recognition results	43
4.2 Red tide monitoring system	44
4.2.1 Functional goals	44
4.2.2 Solving process	45
4.2.3 Development and SVM classifier descriptor	45
4.2.4 Recognition results	51
4.3 The results compared	52
4.4 Red tide monitoring of field applications	52
4.4.1 Atlas accuracy of identification of the sample	53
4.4.2 Spectra library screening results contrast microscopy results	54
4.5 Summary	54
Chapter 5 Conclusion	56
5.1 Research Summary	56
5.2 Future Prospects	57
References	58
Publications	61
Acknowledgements	62

摘要

赤潮藻类分析是一个包含多学科、多阶段、多任务的复杂过程，如何将各阶段任务自动、合理地组合起来，是完成整个赤潮藻类分析工作的关键性问题。

传统实验的各阶段存在大量主观和客观因素影响或者实验流程规模庞大时，单纯依赖传统的镜检（显微镜肉眼对经过特殊处理的水样进行分析计数）来分类识别耗时费力，且应对灾害突发状况时的时效性无法得到保证；同时，种类繁多形态复杂的赤潮藻类细胞对于海洋生物学专家背景知识的要求极大限制了普通实验人员的工作，阻碍了政府海洋决策部门面对赤潮灾害时进行针对性防治措施的实施。

因此，本文使用了国内外行业中最先进的图像识别处理系统——美国 Fluid Imaging Technologies 的“Flowcam”与中国厦门强本科技有限公司的“赤潮实时监控”进行赤潮藻类研究，即流式细胞技术(Flow Cytometry)获取的藻类图像，通过课题研究与常规监测任务相结合的方式，采集福建南部海域海洋浮游植物网样与水样用于图谱库的分析和建立，通过傅里叶描述子智能系统的自动分析实现分类识别，从而有效避免实验人员工作的复杂性，降低藻类识别分析技术的使用门槛。论文的主要研究工作如下：

(1) 总结流式细胞技术特点与使用规则，查询文献概括国内外典型的智能分析方法和常用的智能分类系统；阐述了实验设备的主要过程和阶段分类，为实验的实际操作提供理论支撑。

(2) 收集和选取福建南部海域赤潮监测资料和样品标本，重点从福建南部海域的具体实际操作中提供两年以上的水样支持与基本数据库模型，以实现图谱数据库的建立。确定课题的实验方法。摸索和优化实验方法以及分析方法，建立并程序化利用流式细胞摄像系统对样品进行快速种类鉴定和丰度分析的方法。

(3) 引入图像自动识别技术，设计了基于傅里叶描述子模型，分析了描述子与实际获得样品图谱之间的映射关系，探索了将傅里叶描述子模型转换为特征描述的领域模型的方法，实现描述子框架，提出新的分析思路扩展了实验设备的使用范围。

(4) 设计了基于流式细胞摄像技术的傅里叶描述子特征提取与分类识别，该

系统主要分为三个步骤：形态特征提取算法、向量机理论和藻类图形识别；并采用 Matlab 开发实现了基于傅里叶描述子的 SVM-KNN 多值分类器，系统利用智能分类器的自动求解模式构建。

(5) 以福建南部海域为例，对赤潮藻类在常规环境下与藻种爆发突发情况下进行实际分析，开展了基于流式细胞摄像技术的对比实验，进行傅里叶描述子分类系统功能测试；以厦门海洋预报台调查数据分析结果为应用背景，对得到的流式细胞分析工作流程进行应用效果测试，验证了该系统的可用性和图谱数据库的有效性。

关键词：流式细胞摄像技术，赤潮藻类图谱数据库，傅里叶描述子，智能分类

Abstract

Harmful Algal analysis is a very inclusive multi-disciplinary, multi-stage, multi-tasking complex process, and how each phase of the task automatically, rational combination of red tide algae is a complete analysis of the key issues.

Traditional experimental stages there are a lot of subjective and objective factors, or large-scale experimental procedure when relying solely on traditional microscopy (microscopic eye on a specially treated water samples were analyzed counting) to classify identify time-consuming, and the sudden disaster response timeliness of hair condition can not be guaranteed; Meanwhile, a wide variety of complex forms of red tide algae cells to marine biology expert background knowledge requirement greatly limits the work of ordinary laboratory personnel, hindering the government decision-making departments face the ocean tide disaster targeted prevention measures.

Therefore, this article uses the domestic industry's most advanced image recognition processing system - U.S. Fluid Imaging Technologies of "Flowcam" with China Technology Co., Ltd. Xiamen QiangBen the "red tide monitoring system" for red tide algae research, namely flow cytometry technology (Flow Cytometry) for algae images, research and routine monitoring through a combination of tasks, collecting waters of southern Fujian marine phytoplankton net samples and water samples for analysis and the establishment of the library spectra by Fourier descriptors smart system to achieve automatic analysis of classification, so as to effectively avoid the complexity of laboratory personnel, reducing the use of analytical techniques algae identification threshold. The main research work as follows:

(1) Summary characteristics and flow cytometry using rules, the query document summarizes the typical domestic intelligence analysis methods and intelligent classification system used; describes the main process and laboratory equipment stage

classification, the actual operation of the experiment provide theoretical support.

(2) Collect and select southern Fujian red tide monitoring data and sample specimens, focusing on specific waters from southern Fujian, the actual operation of the water samples provided support for more than two years with the underlying database model to implement Atlas Database. Experimental methods to determine the subject. Exploration and optimization experiments and analytical methods and procedures established by flow imaging system Rapid Identification of the sample analysis method abundance.

(3) The introduction of automatic image recognition technology, the design of the model based on Fourier descriptors analyzed descriptors obtained with the actual mapping between the sample map, explore the Fourier descriptors model into a characterization of the domain model the methods to achieve descriptor framework proposed new analytical thinking expands the use of laboratory equipment.

(4) Design flow imaging technique based on Fourier Descriptor feature extraction and classification, the system is mainly divided into three steps: morphological feature extraction algorithm, SVM pattern recognition theory and algae; and using Matlab development to achieve based on Fourier descriptors SVM-KNN classifier multi-value, the system uses intelligent classifier automatic solution model construction.

(5) In the southern waters of Fujian, for example, on the red tide algae in the regular environment with the sudden outbreak of algae species circumstances the actual analysis, flow cytometry-based camera technology to carry out comparative experiments, Fourier descriptors classification system functions test; Xiamen marine forecast results of the analysis of survey data application background, the resulting flow cytometry analysis workflow application effect tests to verify that the system availability and effectiveness of map database.

Keywords: Flow cytometry camera technology, red tide algae map database, Fourier descriptors, intelligent classification

第一章 绪论

1.1 研究背景与意义

浙江、福建沿岸的东海海域是中国的赤潮高发区。福建南部的的主要沿海城市有莆田、厦门、泉州、漳州，在建设海峡西岸经济特区的发展目标下，社会经济，尤其是海洋经济快速增长，但由于大量涉海工程建设、水产养殖饵料投放造成的二次污染、工业和生活污水未达标排放等，对海洋生态环境造成了越来越多的破坏。

近几年来，福建海域发生的赤潮无论从数量、频率还是面积上来看，都有逐年增长的趋势，造成了巨大的经济损失，对海洋生态环境及人类安全也产生了极大的威胁。赤潮灾害主要危害有：（1）大量赤潮生物集聚于鱼类的鳃部，使鱼类因缺氧而窒息死亡；（2）赤潮生物死亡后，藻体在分解过程中大量消耗水中的溶解氧，导致鱼类及其它海洋生物因缺氧死亡，同时还会释放出大量有害气体和毒素，严重污染海洋环境，使海洋的正常生态系统遭到严重的破坏；（3）在全世界4000多种海洋浮游藻中有260多种能形成赤潮，其中有70多种能产生毒素，这些分泌的毒素有些可直接导致海洋生物大量死亡，有些甚至可以通过食物链传递，造成人类食物中毒。^{[1]、[2]}

根据国家海洋局最新发布的中国海洋质量和灾害公报，2012年我国海域发生的赤潮73次，累计面积7971公里，仅次于2008年发生赤潮68次，累计发生面积13738平方公里。造成的直接经济损失数以百万计，间接损失更是难以估计，其中东海发生赤潮次数最多为38次。赤潮已经成为制约我国沿海经济可持续发展的一个重要因素，引起了政府和社会各界的广泛关注。^[3]

自2000年开始至今，国家海洋局在沿海逐步设立33个赤潮监控区（福建省4个），对赤潮监控区开展定期、长期监测，监测数据用于赤潮预警报，发生赤潮时根据应急监测预案开展应急监测等工作。而赤潮灾害应急监测与预警预报、海洋生态资源调查、海洋生态环境保护、海洋生物多样性、水产养殖等众多方面都离不开对浮游生物的鉴定。所以，建立福建南部沿海常见的赤潮生物及其他浮

游植物的特征参数、分类参数、生态数据等相应的数据库，保存珍贵的海洋生物分类资料，落实国家海洋局新“三定”方案，做好赤潮灾害应急监测与预警预报、海洋生物多样性的监督和海洋生态环境保护工作，显得尤为重要。^[4]

本文所采用的流式细胞摄像系统将流式细胞分析技术与显微成像技术结合起来，可以对流体中的每个有机和无机悬浮体（如浮游生物、细胞及其他微粒）进行快速检测、连续拍摄、计数以及后期种群分类、建立图谱数据库，在分析流体的同时高分辨率地实时显示和存储每个微粒的数字彩色图像，通过专业软件分析、筛选、分类、查看相关信息，快速分辨出水样中藻类，直观地看到结果。其高效率、高灵敏度、高分辨率和高精度等特点，使得我们可以对赤潮生物细胞进行同步、迅速并且多参数的定量和定性分析，这对赤潮生物鉴定、浮游生物多样性的研究有着重要意义。此外，我们还可以通过检测污染物对浮游藻类的生理和生长活动的影响来判断水体的污染程度，从而达到监测海水污染的目的。^[5]

1.2 国内外研究现状

浮游植物的多样性分析是海洋赤潮监测中除气象（雨量、日照）、水文（水温、盐度）、化学溶解氧、无机氮、无机磷、活性硅酸盐等以外的最低限度的监测项目之一。对赤潮的观测和监测是开展赤潮预测预报的基础，只有做好观测和监测工作，才能有效地开展预测预报工作。因此赤潮生物等浮游植物的多样性监测是赤潮灾害应急监测与预警预报得以实施的前提条件。国内外常用的赤潮生物监测手段主要有一下几种：

1、激光探测法：根据赤潮生物等浮游植物所含的叶绿素在被光激发后能产生红色荧光的性质，人们利用船用激光探测装置来监测赤潮的发生，把该装置安装在船舷侧，由水管连接传感器，测量时通过光纤用绿色氩激光照射海水，赤潮生物所发的红光立刻能反馈到船上的特定装置中，经计算机快速处理就能查明赤潮生物的个数和大小，从而了解赤潮发生前的状况。但该方法无法区分不同赤潮生物种。

2、遥感监测法：赤潮水体的光谱特性是开展赤潮遥感探测的重要依据。卫星遥感技术具有快速、同步和大面积监测海洋的特点，对监测突发、持续时间短和影响范围较大的赤潮灾害不失为一种理想的监测手段。但该方法受天气条件的

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.

厦门大学博硕士学位论文摘要库