

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学 号: 24320141152401

UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于视频的火焰检测方法研究

Research on Methods of Video-based Flame Detection

史丽峰

指导教师姓名: 龙 飞 副 教 授

专 业 名 称 : 计 算 机 科 学 与 技 术

论文提交日期: 2017 年 4 月

论文答辩日期: 2017 年 5 月

学位授予日期: 2017 年 6 月

指 导 教 师: _____

答 辩 委 员 会 主 席: _____

2017 年 4 月

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

摘要

如今经济和社会飞速发展，高楼层峦叠起，工业不断壮大，人员和财产过度集中，火灾一旦爆发，必将造成不可估量的损失。与此同时，新的易燃易爆材料相继出现，违规用电引发火灾事件层出不穷，森林起火、工业爆炸时有发生。由火灾引起的公共安全问题越来越被人们所重视，火灾探测技术的发展也随之倍受关注。近年来，智能视频监控系统遍及各行各业，为视频火灾探测技术的发展提供了平台。基于视频的火灾探测技术打破了传统技术的一些限制，不仅能够适用于厂房、机场等大空间场所，而且充分利用现有视频监控系统大大降低了成本。

本文就基于视频的火焰检测方法进行了探索和研究。本文将基于视频的火焰检测分为两个阶段：一是火焰候选区域提取阶段，重点研究了颜色特征和显著性检测方法的应用；二是火焰检测识别阶段，主要探索了手工时空特征和特征学习两类方法在视频火焰检测中的应用。论文的主要工作有：

研究了火焰候选区域提取方法。基于颜色的火焰区域提取方法侧重探究火焰颜色特征，本文重点研究了 RGB、YCbCr 和 HSV 颜色空间的火焰提取；基于显著性检测的火焰区域提取方法侧重探究了视觉注意机制在火焰检测中的应用，并进一步提出置信度测量以确保火焰区域更加有效。同时文中也将不同颜色空间和显著性检测进行了实验对比和分析。

研究了基于时空 SURF 特征的火焰检测方法。本文将传统的 SURF 特征描述拓展到时空域，并进一步利用全局颜色直方图特征实现火焰检测。两者的结合充分利用了火焰空间上的静态特征和时间上的动态特征，提出的方法与现有的时空特征方法相比，取得了较好的识别效果。

研究了基于卷积神经网络的火焰检测方法。本文将显著性检测方法与卷积神经网络特征学习方法相结合应用于视频火焰检测中。实验结果表明，与局部协方差时空特征方法相比，提出的方法取得了较高的检测准确率和较低的虚警率。

关键词：火焰检测；时空 SURF 特征；卷积神经网络

Abstract

With the rapid development of economy and society, once the fire broke out, it will cause immeasurable loss because of the rise of high buildings, industrial expansion and excessive concentration of personnel and property. Thus more and more attention has been paid to public safety caused by fire, and the development of fire detection technology becomes a focus. In recent years, the intelligent video surveillance system is applied to the various walks of life, which provides a platform for the development of video-based fire detection technology. Contrasting to traditional fire detection technology, video-based fire detection is not only suitable for large space but also can reduce the cost.

This dissertation studies on the methods for video-based flame detection. The process consists of two phases: flame candidate region extraction phase and flame features detection phase. The main work is as follows:

Firstly, the extraction methods of flame candidate regions are explored. One is the methods based on color. We use RGB, YCbCr and HSV color space rules to achieve the extraction of flame pixels. The other is saliency detection method. And we apply confidence measures to further acquire accurate flame regions. We also compare and analyze the differences between color space methods and saliency detection methods.

Secondly, a flame detection method based on spatiotemporal SURF feature is explored. We extend the traditional SURF descriptors to the spatiotemporal domain and combine it with the global color histogram feature to realize the flame detection. In this way, we make full use of the spatial static features and temporal dynamic features of the flame. Compared with the existing spatiotemporal feature methods, our method achieves more excellent performance.

Finally, another flame detection method based on convolutional neural network is explored. We combine the saliency detection method and CNN feature learning method, and apply it to video flame detection. The experimental results show that the

proposed method achieves higher detection accuracy and lower false alarm rate than the local covariance temporal feature method.

Key Words: Flame Detection; Spatiotemporal SURF feature; CNN

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目 录

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
1.2.1 传统火灾检测技术.....	2
1.2.2 视频火灾检测技术.....	3
1.3 论文研究内容	4
1.4 论文结构安排	5
第二章 视频火焰检测方法介绍	6
2.1 基于静态特征的火焰检测方法	6
2.1.1 颜色特征检测.....	6
2.1.2 纹理特征检测.....	7
2.1.3 几何特征检测.....	9
2.2 基于时空特征的火焰检测方法	12
2.2.1 局部协方差时空特征检测.....	12
2.2.2 多层 ICA 时空特征检测.....	14
2.2.3 LBP-TOP 时空特征检测	15
2.2.4 动态纹理时空特征检测.....	16
2.3 本章小结	19
第三章 火焰候选区域提取方法	20
3.1 基于颜色的火焰区域提取方法	20
3.1.1 基于 RGB 颜色空间的火焰区域提取	20
3.1.2 基于 YCbCr 颜色空间的火焰区域提取	23
3.1.3 基于 HSV 颜色空间的火焰区域提取.....	24
3.2 基于显著性检测的火焰区域提取方法	26
3.2.1 基于显著性检测的火焰区域提取.....	27
3.2.2 基于置信度测量的火焰区域精确.....	31

3.3 实验结果与分析	32
3.4 本章小结	34
第四章 基于时空 SURF 特征的火焰检测.....	35
4.1 算法基本框架	35
4.2 基于时空 SURF 的火焰特征提取.....	36
4.3 全局颜色直方图特征提取	41
4.4 实验结果与分析	42
4.5 本章小结	45
第五章 基于卷积神经网络的火焰检测	46
5.1 算法基本框架	46
5.2 基于卷积神经网络的火焰特征学习	47
5.2.1 卷积神经网络概述.....	47
5.2.2 卷积神经网络的应用分析.....	51
5.2.3 卷积神经网络火焰特征学习.....	52
5.3 实验结果与分析	54
5.4 本章小结	57
第六章 总结与展望	58
6.1 总结	58
6.2 展望	59
参考文献	60
攻读硕士期间研究成果	64
致 谢	65

Contents

Chapter 1 Introduction.....1

1.1 Research Background and Significance1

1.2 Research Status2

 1.2.1 Traditional Fire Detection Technology2

 1.2.2 Video-based Fire Detection Technology3

1.3 Research Contents4

1.4 Thesis Arrangement.....5

Chapter 2 Video-based Flame Detection Methods6

2.1 Flame Detection Methods Based on Static Features.....6

 2.1.1 Color Feature Detection.....6

 2.1.2 Texture Feature Detection7

 2.1.3 Geometrical Feature Detection9

2.2 Flame Detection Methods Based on Spatiotemporal Features12

 2.2.1 Covariance-based Spatiotemporal Feature Detection.....12

 2.2.2 Multi-layer ICA Spatiotemporal Feature Detection.....14

 2.2.3 LBP-TOP Spatiotemporal Feature Detection.....15

 2.2.4 Dynamic Texture Spatiotemporal Detection.....16

2.3 Summary.....19

Chapter 3 Flame Candidate Regions Extraction Methods.....20

3.1 Extraction Methods Based on Color20

 3.1.1 Extraction Method Based on RGB Color Space.....20

 3.1.2 Extraction Method Based on YCbCr Color Space.....23

 3.1.3 Extraction Method Based on HSV Color Space24

3.2 Extraction Methods Based on Saliency Detection.....26

 3.2.1 Region Extraction Based on Saliency Detection27

 3.2.2 Region Accuracy Based on Confidence Measures31

3.3 Results and Analysis32

3.4 Summary	34
Chapter 4 Flame Detection Based on Spatiotemporal SURF Feature	
.....	35
4.1 Framework	35
4.2 Flame Feature Extraction Based on Spatiotemporal SURF	36
4.3 Flame Feature Extraction for Global Color Histogram.....	41
4.4 Results and Analysis	42
4.5 Summary.....	45
Chapter 5 Flame Detection Based on Convolutional Neural Network	
.....	46
5.1 Framework	46
5.2 Feature Learning Based on Convolutional Neural Network	47
5.2.1 Convolutional Neural Network.....	47
5.2.2 Convolutional Neural Network Application and Analysis.....	51
5.2.3 Feature Learning Based on Convolutional Neural Network.....	52
5.3 Results and Analysis	54
5.4 Summary.....	57
Chapter 6 Conclusions and Prospects.....	58
6.1 Conclusions.....	58
6.2 Prospects	59
References	60
Paper Published During Postgraduate	64
Acknowledgements	65

第一章 绪论

1.1 研究背景与意义

火是一把双刃剑。一方面，火开启了人类文明的大门，它可以取暖，可以照明，可以冶炼金属，已然是整个社会不可或缺的组成部分；另一方面，火也是造成灾难的罪魁祸首，一旦失去控制，必将危及人类的生命财产安全，损害整个国家和社会的公共利益。众所周知，火灾的发生危害之大、范围之广、次数之多，全世界每天都在发生着上百起的火灾事故。用火不慎、电器漏电、烟花炮竹、煤气泄漏、吸烟玩火、违章操作、工业爆炸等等都可能引发火灾，而这些造成火灾的因素存在于生活的方方面面，甚至难以全部避免。据不完全统计，如图 1-1 所示，在过去的 5 年里，全国接报火灾累计 158.5 万起，造成死亡 8282 人，受伤 4245 人，直接财产损失达 190.9 亿元，可见其破坏性之大。火的不可控性、蔓延性是造成如此巨大伤亡和损失的关键。因此，能够准确地在第一时间发现火情并及时通知救援人员，对避免火势进一步扩大而造成不可估量的后果至关重要。

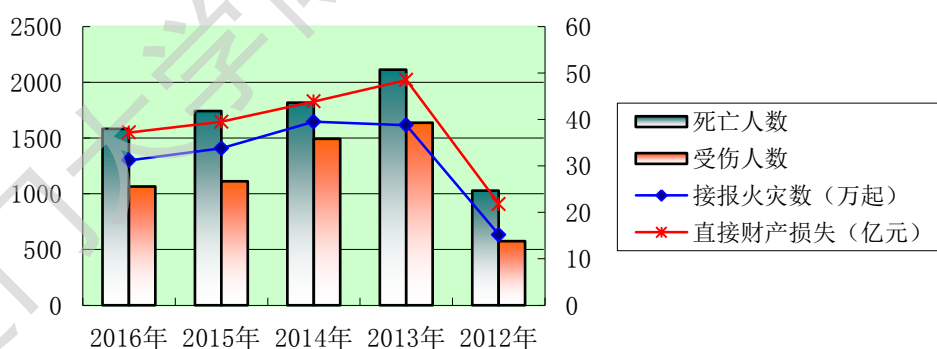


图1-1 2012-2016年全国火灾数据

（注：数据来源《中国消防年鉴》）

一直以来人们致力于火焰检测的研究，希望尽可能的降低火灾带来的巨大伤害。目前最广泛流行的火灾探测器采用感光、感温、感烟等传感器进行火灾检测，由于受光照强度、温度变化、空气浓度等因素的影响，这类火灾探测技术存在许

多的缺陷和不足。科学技术的不断进步和计算机视觉领域的崛起，为火灾探测技术带来了新的发展方向。国内外学者在“视频火灾检测技术”方面纷纷展开了广泛的研究和尝试^[1]。与传统传感器检测火灾不同，视频火灾检测技术利用了图像画面的直观性、丰富性和视频的动态性、连续性，同时结合图像处理、计算机视觉、模式识别以及机器学习等多方面技术，实现对监控区域内突发性火灾事件的实时监测，有利于及时、准确地发现火情。而另一方面，随着经济提升和技术发展，智能视频监控系统被广泛应用于交通、工业、航空、公共安全等各个领域，几乎无处不在的监控探头为视频火灾检测技术提供了广阔的发展空间和市场前景。因此本文所做研究具有现实意义和应用价值。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 传统火灾检测技术

传统的火灾检测技术主要采用常规的传感器进行检测。基本原理是通过检测燃烧伴随产生的光、烟、热等现象的基本特征，进而检测火灾的发生。主流的火灾检测器有感烟式、感温式、感光式以及复合式探测器。

感烟式探测器因触发原理不同分为离子感烟和光电感烟两种。前者利用电离后离子受到烟雾颗粒的影响使得电流减小的原理实现报警；后者利用烟雾颗粒的遮蔽效应和散射特性探测烟雾浓度变化，进而转化成电信号触发报警^[2]。一般来说，火灾发生初期会产生大量烟雾，此类探测器可以较早地做出反应，成本也相对较低。但由于自身特点的限制，受粉尘浓度、空气湿度的影响会产生误报警。此外，如果火灾发生在空间较大、空气流动性较强的场所，很可能会出现烟雾无法到达传感器，或烟气浓度达不到传感器报警指标，便不会发出报警信号。

感温式探测器基于金属片因受热而膨胀系数改变的基本原理，利用火灾发生时的高温条件，使双金属片发生弯曲引发触电闭合，进而触发火灾报警信号。此类探测器充分利用了火焰燃烧产生大量高温的特点，实用、简单、可靠。但它的热敏电阻元件只有达到特定温度才会触发报警信号，而实际上在火灾发生早期，释放的热量是有限的，当达到大量释放热量之时，火势往往已经较大，因此难以实现早期检测火灾的目的。同时对于阴燃型或低热型火灾，效果较差。也不能适

合在开阔、大型、不易聚温的空间下使用，有很大的局限性。

感光式探测器是利用了火焰在燃烧过程中产生的离散光谱和连续光谱来检测的，主要有 UV 紫外线探测器和 IR 红外线探测器。这类探测器响应速度快，但也存在明显的缺陷，紫外探测器由于紫外线频带波长较短，易受烟尘、其他气体吸收失去效用；红外探测器容易受热源物体的影响产生误报警。

综上所述，传统火灾探测器既有其各自的优点，也存在明显的不足：1. 难以在大型、开阔的空间下使用，如仓库、森林、机场、公园、大型停车场等。2. 需要具备一定的触发条件，如烟雾浓度、温度范围、空气湿度，因此会出现传播延迟的情况，即当火灾发生时，这些因素在传播至传感器并触发报警可能需要花费较多的时间，不利于火情的及早发现。3. 更重要的是，当火灾发生时，传统的火灾检测技术只是简单地通过触发传感器报警，并不能够提供其他任何有用的信息，如火灾发生的位置、火势的大小、周围的情况等等。

1.2.2 视频火灾检测技术

视频火灾检测技术基于智能视频监控系统，对火灾场景、火焰视频画面进行处理和分析，进而推断火灾的发生。视频火灾检测技术克服了传统火灾检测技术存在种种不足，具有很多的优势：1. 不仅适用于室内火灾监控，还可以应用于开阔、大型的空间，如公路隧道、森林、公园、大型仓库等。2. 直接分析火灾画面，无需具备烟雾浓度，温度等触发条件，因此没有传播延迟和阈值控制，有利于及早地发现火情。3. 可以提供更多的火灾现场信息，如火灾的位置、火势的大小和发展等。4. 智能视频监控系统遍及生活，可以利用已有的视频监控系统网有效进行火灾监测，与购置、安装火灾探测器等设施相比，降低了成本。

目前成熟的视频火灾检测系统主要有：VFSD 智能视频烟火探测系统、SigniFireTM 系统、Smoke & Fire Alert 系统、LIAN-DC 系统、VSD 系统、Media Tunnel 系统、CFVS 系统等^[3,4]。这些火灾探测器将传统火灾检测技术与视频火灾检测技术相结合，弥补了传统火灾检测技术依靠单一因素判断的不足。尽管这些系统在检测过程中依赖的处理方法和检测侧重点不尽相同，但视频火灾检测系统处理流程和大框架殊途同归，如图 1-2 所示。

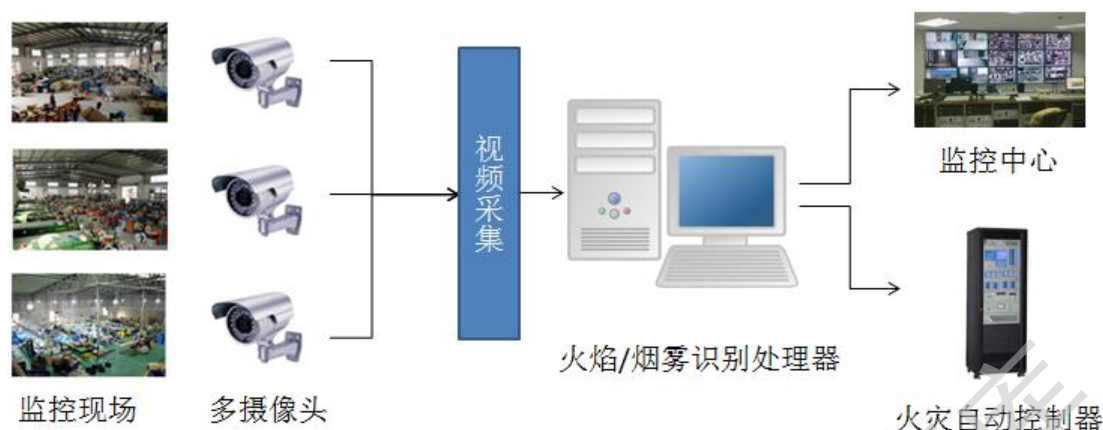


图1-2 视频火灾检测系统处理流程

以 VFSD 智能视频烟火探测系统为例，该系统由摄像机、VFSD 智能视频烟火识别处理器、控制室监控管理平台等组成。系统通过多个摄像机拍摄不同角度的现场图像，将视频信号传送到烟火识别处理器中，由处理器利用检测算法分析视频图像内的火焰或烟雾，并产生火警信息，再通过网络传输到火灾监控管理平台，显示火警信息，提示值班人员，实现实时监控。一般而言，视频火灾检测系统主要有火焰检测、烟雾检测、联动控制、远程视频报警、预案管理、地图显示等一系列功能，可以应用在大型机械设备场所、隧道、化工厂、森林防火等场景，其最大优点是识别烟火的反应时间快，可以及时地尽早发现火情，还可提供火灾现场额外信息。当然，也因为视频处理技术本身的限制，如对环境光照的抗干扰性、对视频画面的清晰度要求、对移动目标瞬时反应能力等等，都或多或少影响着检测性能，但与传统火灾检测技术相比，已经大大提高了火灾探测结果的准确率，降低了误报和漏报。

1.3 论文研究内容

本文重点探索和研究了基于视频的火焰检测方法。在火焰视频预处理阶段，主要分析研究了颜色空间和显著性检测在火焰候选区域提取中的应用。同时在火焰视频检测识别阶段，主要研究了视频火焰检测中的时空特征提取方法，并探索了卷积神经网络特征学习方法在火焰检测中的应用。论文的主要工作有：

1、对火焰候选区域提取方法进行了探索和研究。本文重点分析与研究了基于颜色特征和基于显著性检测两类火焰区域提取方法，并结合不同火灾场景对比

分析各方法的优势与不足，同时提出了改进措施。

2、研究了基于时空 SURF (Speeded Up Robust Feature, 以下简称 SURF) 特征的火焰检测方法。本文将传统二维的 SURF 特征描述子拓展到三维时空域, 同时与全局颜色直方图特征相结合, 有效利用了火焰颜色、纹理、抖动、蔓延等静态和动态信息。通过与现有的时空特征方法比较, 本文提出的火焰检测方法在性能上有一定程度的提高。

3、研究了基于卷积神经网络的火焰检测方法。本文将显著性检测方法与卷积神经网络特征学习方法相结合应用于视频火焰检测中, 同时提出火焰置信度测量确保火焰候选区域更加有效。与主流的颜色检测方法和手工特征提取方法分别进行比较, 本文提出的方法取得了较好的实验结果。

1.4 论文结构安排

本文共分为六章, 各章内容安排如下:

第一章绪论介绍了本文的研究背景与意义。同时介绍了目前火焰检测的国内外研究现状。此外, 也阐述了本文的研究内容和创新性。

第二章分类介绍了视频火焰检测的方法。按特征提取方式主要分为基于静态特征的火焰检测方法和基于时空特征的火焰检测方法两大类。

第三章介绍了两种视频火焰候选区域提取的方法。基于颜色空间的火焰区域提取方法主要利用火焰本身的颜色特性, 基于显著性检测的火焰区域提取方法则侧重于人的视觉注意特征。然后对两种方法的结果进行了对比分析。

第四章首先介绍了基于时空 SURF 特征的火焰检测方法的基本框架。然后针对框架内容阐述了时空 SURF 特征检测的算法实现。最后对实验结果进行了分析, 并与现有的时空特征方法进行了对比。

第五章首先介绍了基于 CNN 网络的火焰检测方法的基本框架。同时介绍了 CNN 相关知识以及其在视频分析中的应用。然后详细描述了该方法的理论架构和实现过程。最后与手工特征方法进行了对比分析。

第六章总结与展望部分归纳和总结了本文的研究内容, 指出了研究中的不足之处并提出接下来的改进方向。

第二章 视频火焰检测方法介绍

当火灾发生时，火焰会从无到有，火势会由小变大逐渐向四周蔓延，在此过程中，正如我们所看到的，火焰有着独特鲜明的特征，如颜色、结构、圆形度、纹理、不规则区域、面积增长率、闪烁跳跃、运动变化等等，这一系列鲜明特征成为检测和识别火焰的关键。本章将目前众多视频火焰检测方法分类为基于静态特征的火焰检测方法和基于时空特征的火焰检测方法两大类。

2.1 基于静态特征的火焰检测方法

2.1.1 颜色特征检测

颜色检测是最早被用来实现视频火焰检测的方法之一，至今仍然被广泛使用。学者们针对火焰检测在不同的颜色空间（如 RGB、YCbCr、YUV、HSI、HSV、LAB 等）下，进行了大量的探索和研究。这些方法大体上可以分为两类：

1. 基于规则的方法

Chen 等人^[5]基于人类视觉系统对色彩感知特性，在 RGB 和 HSI 空间下对火焰进行了颜色分析，提出了一组火焰像素判定规则，如 $R > G > B$ 。这些规则简单、有效、消耗低，被后来的研究者们广泛采用。文献[6]采用了 Chen 提出的规则，并在此基础上统计分析了火焰像素饱和度，在规则的使用上对饱和度值进行了严格的限制。Habiboğlu 等人^[7]则在 Chen 提出的规则上去除了饱和度判定以减少计算消耗，并将红色通道的阈值减小来确保火焰像素能够尽可能被检测到。Celik 等人^[8,9]使用了 R-G、R-B、G-B 比率判定方式来实现火焰分类，其满足如下公式：

$$0.25 \leq G/(R + 1) \leq 0.65 \quad (2-1)$$

$$0.05 \leq R/(B + 1) \leq 0.45 \quad (2-2)$$

$$0.20 \leq B/(G + 1) \leq 0.60 \quad (2-3)$$

Foggia 等人^[10]在其方法中提出 3 个专家评价机制，其中颜色专家评价机制使用了基于 YUV 空间的颜色判定规则：

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