

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 24320121152289

UDC_____

廈門大學

硕士学位论文

基于超声内镜图像的食管疾病辅助诊断方法研究

Research of Esophagus Disease-aided diagnosis Based on
Ultrasonic Endoscope Image

魏倩倩

指导教师: 夏侯建兵副教授

专业名称: 软件工程

论文提交日期: 2015年3月

论文答辩日期: 2015年5月

学位授予日期: 2015年6月

指导教师: _____

答辩委员会主席: _____

2015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

食管疾病是常见疾病之一，对人们的健康产生了严重的威胁。随着超声内镜(EUS)应用的发展和普及，提高了食管成像清晰度，成为临床诊治的必要诊断工具。超声内镜可为食管疫病的诊断及给出合理的治疗方案给予非常大的帮助，但是国内外对 EUS 诊断主要依靠内镜医师个人经验，缺乏客观诊断依据，因此使得 EUS 的应用受到限制。由此看来利用计算机技术对食管疾病进行辅助诊断是非常有意义的。

本文主要研究三类食管 EUS 图像分类的问题，包括食管早癌、食管平滑肌瘤以及正常食管。首先对 EUS 图像进行去噪处理，之后提取 EUS 图像的特征点，将其转化为图结构，利用 K 层扩展子图求出每个图结点的特征向量，并提出新颖的图的匹配算法。最后将新的图核应用到 SVM 中，对三类图片进行训练分类。

本文利用模式识别对食管 EUS 图像进行分析，利用新的算法对三类图像进行分类，希望得到客观准确的结果，为医生临床诊断提供可靠有效的参考，提高 EUS 的应用价值，使得病人得到及时有效的治疗。

关键词：超声内镜；图的匹配；图核

Abstract

Esophageal disease is one of the common diseases of mankind which threatens people's health seriously. With the development and popularity of the endoscopic ultrasonography (EUS), esophageal imaging resolution is improved, and become an indispensable diagnostic tool for clinical diagnosis and treatment. Esophageal disease diagnosis and determine the corresponding treatment have been greatly helped by EUS image, but the EUS endoscopic diagnosis relies mainly on the personal experience and lacks objective diagnostic evidence, therefore the application of EUS is limited to a certain extent. Therefore it has very important significance to aid the diagnosis esophageal disease by computer technology.

This paper studies the three types of esophageal EUS image classification problems, including early esophageal cancer, leiomyoma of esophageal and normal esophagus. To deal with the noise of EUS image first, and then extract the image feature points, turning it into figure structure, getting the feature vector of each graph nodes by K-layer expansion subgraph, and novel graph matching algorithm is put forward. Finally, depth-based graph kernel and support vector machine were used to train and classify graphs.

We analyze esophageal EUS images and classify three kinds of images by pattern recognition algorithm in order to obtain more accurate and objective diagnosis information. It will provide reliable and effective reference for doctors in clinical diagnosis, increase the application value of the EUS, make the patient get timely and effective treatment

Key Words: Endoscopic ultrasonography; Graph matching; Graph kernel

目 录

第一章 绪论	1
1.1 研究背景与意义	1
1.2 研究现状	3
1.3 研究内容与创新	5
1.4 论文结构安排	5
第二章 相关知识介绍	7
2.1 超声内镜图像的纹理特征	7
2.2 图论	8
2.3 核	9
2.3.1 核函数	9
2.3.2 图核	10
2.4 图的复杂度计算	11
2.5 超图	12
2.6 分类器	13
2.7 本章小结	16
第三章 基于深度信息的超声图像的表达	17
3.1 图像预处理	17
3.2 图的构建	18
3.2.1 SIFT 算法提取特征点	18
3.2.2 图的生成	25
3.3 实验结果	25
3.4 基于深度信息的图的表现	26
3.4.1 图的香农熵	27
3.4.2 图结点的特征向量表示	29
3.5 本章小结	29
第四章 图的匹配	31

4.1 相关概念	31
4.1.1 图的 Jensen-Shannon 散度计算公式.....	31
4.1.2 节点的差异性.....	32
4.2 高阶图匹配算法	32
4.2.1 一阶特征点匹配.....	33
4.2.2 超图的匹配.....	34
4.3 对匹配结果的修正	36
4.4 图核	37
4.5 匹配结果	37
4.6 本章小结	39
第五章 基于 SVM 分类器的诊断结果	40
5.1 实验设置	40
5.2 视觉评估	41
5.3 分类性能	42
5.4 本章小结	45
第六章 总结与展望	46
6.1 总结	46
6.2 展望	46
参考文献	48
攻读硕士期间的科研成果	52
致谢.....	53

Contents

Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Research Background and Signification.....	1
1.2 Research Status	3
1.3 Research Contents and Innovation	5
1.4 Paper Structure Arrangement	5
Chapter 2 related knowledge	7
2.1 Image Texture Feature of Endoscopic Ultrasonography.....	7
2.2 Graph Theory	8
2.3 Kernel.....	9
2.3.1 Kernel Function	9
2.3.2 Graph Kernel.....	10
2.4 Complexity Measures of Graphs	11
2.5 Hypergraph	12
2.6 Classifier	13
2.7 Summary.....	16
Chapter 3 Depth-based Representations for EUS Images	17
3.1 Image Preprocessing	17
3.2 Graph Construction.....	18
3.2.1 SIFT algorithm to extract the feature points	18
3.2.2 Graph Generation.....	25
3.3 Results	25
3.4 Depth-based Representations for EUS Images	26
3.4.1 Shannon Entropy of Graph	27
3.4.2 Representations for vertex	29
3.5 Summary.....	30
Chapter 4 Graph Matching.....	31

4.1 related concept	31
4.1.1 Jensen-Shannon Divergence Measure for Graphs	31
4.1.2 Vertex Dissimilarities	32
4.2 High-order Depth-based Matching Method	32
4.2.1 First-order Depth-based Graph Matching	33
4.2.2 Hypergraph Matching	34
4.3 Structural Refinement for First-order Depth-based Matching Results	36
4.4 Graph Kernel	37
4.5 Matching Results.....	37
4.6 Summary.....	39
Chapter 5 The diagnosis based on the SVM classifier	40
5.1 Experimental Setting	40
5.2 Visual Evaluation	41
5.3 Classification Performances.....	42
5.4 Summary.....	45
Chapter 6 Conclusions and Prospects.....	46
6.1 Conclusions.....	46
6.2 Prospects	46
References.....	48
Research Results during Master’s Degree.....	52
Acknowledgments	53

第一章 绪论

1.1 研究背景与意义

胃肠道疾病一直是我国高发疾病之一，根据流行病学的调查，胃肠道疾病的人数在总的发病人数中的所占比例高达 50%，在这当中胃癌在肿瘤发病的第一位，而结直肠癌以及食管癌则分列第四位和第六位。在恶性肿瘤的死亡率中，领头的六位肿瘤里面，食管癌、肝癌和结直肠癌，还有胃癌这五位消化系统恶性肿瘤榜上有名，不难看出，恶性肿瘤中的消化系也独立出成为我们国家发病率和死亡率领头的疾病^[1]。尽管这些年来的恶性肿瘤诊查和治疗的水准较为明显的提升，可是绝大部分病例被诊查出时已发展到进展期，医疗资源花费高昂，疗效极差，由此看来，当前阶段国内肿瘤预防与治疗的重中之重，不再是集中在治疗中晚期患者，而是逐渐的关注到预防为主，实现早诊早治这些方案，这样一来，消化道早癌诊治水平，已成为提高消化科医师能力的一个重要要求。

目前国内胃肠道早癌的诊查率很低，就胃癌来说，日本最高，可以达到 70%，韩国 50%，而我国不到 10%，远远达不到人们的要求，虽然随着医疗技术水平的提高，以及先进设备的应用为早癌的早诊早治提供了可能，但单纯依靠设备来提高诊断率是不现实的，怎样把各种设备进行整合，提高效率，充分利用计算机技术的客观性和准确性，实现诊断效能的飞跃是我们面临的重要课题。

超声内窥镜(endoscopic ultrasonography, 简称 EUS)是运用内窥镜与超声波探头的有机结合，由于超声探头随内窥镜伸入脏器病变部位所在腔内，更直观，缩短超声波的传播路径，而且降低声波的衰减，大大提升结果图的识别率，因而可精确地探查病变特点、起源、层次、体积、边界、周围淋巴结等情况，检测出微小病灶的能力有了跨越式地提升^[2]。这些年以来，在临床当中，食管疾病应用 EUS 进行诊断，已越来越广泛。EUS 在食管其他方面的疾病，具有一定程度的意义，但在食管癌症的深入剖析、临床分期以及治疗食管粘膜下病变有着极高的价值。平滑肌瘤是食管良性隆起性病症中最常见疾病。这种隆起性病变因为其隐秘性，利用超声、CT 等不易对其表现的症状做出准确的诊断，且在早期的临床

诊断中不易被发现。因为 EUS 图像具有较高的清晰度，能够清晰展示食管壁，更可以对病变的深度、范围以及规模做出较为准确的判断，相较于常规内窥镜而言，EUS 图像更能够准确的判断隆起病症的性质。如图 1 所示，超声内镜显示的食管壁超声影像最常见的是 5 层结构(图 1-b)，从黏膜侧开始依次是第一层“明”，第二层“暗”，第三层“明”，第四层“暗”和第五层“明”（“明”表示高回声；“暗”表示低回声）。它这些层次和食道壁面组织病理研究学呈现一对一的膜层（食管和直肠为外膜层）。如图 1-d 红色标注的部分，就是食管平滑肌瘤病症的一种表现，我们可以在超声内镜中看到均匀暗病灶的特点，当然随着病情的严重程度也可能呈现类似于马蹄形的形状。除此之外，食管癌属于一种消化道之中比较经常发生的恶性肿瘤，高居世界肿瘤发病率第 8 号的疾病，甚至在肿瘤死亡率中排行第 4。中国属于食管癌发生频率极高的区域，平均一年就要有 150000 以上的人员死在这种疾病，在全世界排名第 3，大家的性命安全遭受到极大的考验，更不用说健康发展。几乎所有的食管癌在超声内镜显示中呈现出“暗”结节和边界不清，内部回声不匀称。在食管癌 TNM 的分期方面和决定肿瘤的可切除性、确立诊治法案、选出术式、预后评估以及其他各个方面，超声内镜都有着决定性的战略意义。依据侵入肿瘤的程度，可以把超声内镜显示图划分成：第一层粘膜层癌，第二层粘膜下层癌，第三层固有肌层癌，第四层外膜层癌以及第五层外膜外癌。超声内镜主要依据淋巴结的大小、形态、内部回声边界、以及其他方面的因素断定是否有淋巴结的移动。基本上恶性淋巴结，呈现出圆形的，外侧边很清晰的，而且内部的回声不是很匀称，都比 1 厘米大。非常多的研究表明，超声内镜在食管癌 NT 分期的方面，比 MRI、CT 以及 PET 都要高出许多，它在敏感性以及特异性的诊断方面，都比别的检查手段高^[1-2]。在多种媒体的报导中，评价超声内镜在食管癌 T 分期判断方面，其正确率突破 85%，略不及 90%，相比较于 CT，则明显胜出（50%）；在 N 分期判断方面，其正确率也突破达 75%，相比较于 CT，也明显胜出（50%）^[3]。目前，大家越来越重视早癌的侦查和判断，但这种方法以前总是比较缺少客观的依据，通常只能通过手术查看病理来加以论证。早癌主要包括黏膜层以及黏膜下层的病变，而超声内镜就能够对于早癌的诊查、判断和断定对应的诊治法案提供不小的助力。

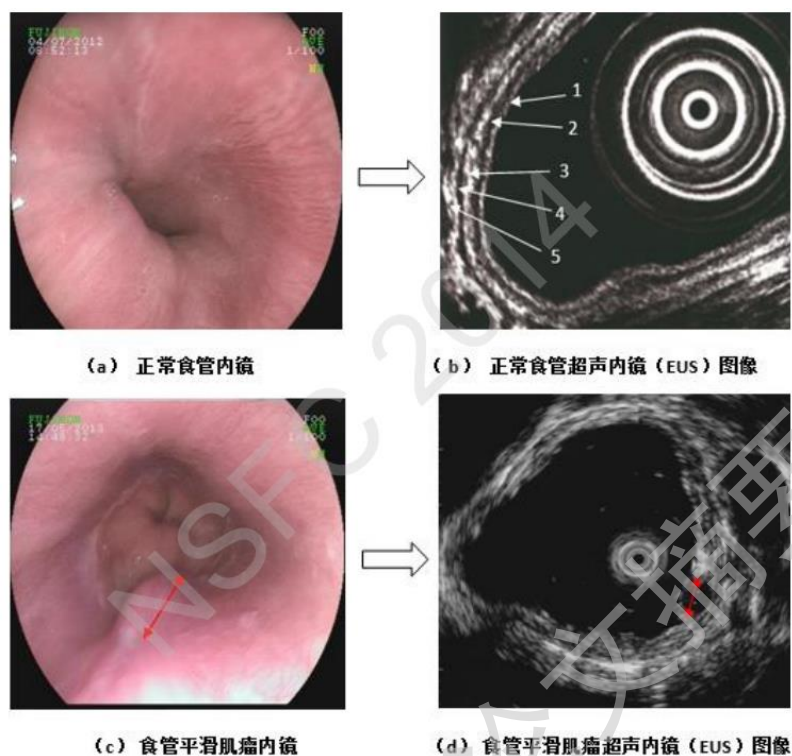


图 1-1 正常食管和病变食管超声内镜成像对比

目前 EUS 应用存在一定的局限性，在许多无法获得病理的疾病中，诊断存在很大不足。目前在临床上内镜医生的个人经验依旧是主要判断疾病的手段，一直以来并没有任何客观的依据为医生的诊断提供有力的辅助，而且医生不同其判断的标准也不尽相同，国际上并没有一个统一的标准供医生进行参考，这不利于 EUS 的进一步发展和传承，由此看来，设计及实现一个 EUS 的图形电脑辅助诊断软件是十分迫切需要的。

1.2 研究现状

近几年来，电脑软件辅助诊断 (Computer-Aided Diagnosis, CAD) 受到国内外软件工程、医学多个领域专家的青睐。Xin Qi 等人使用内窥镜光学相干断层扫描 (EOCT) 技术来辅助诊断发育不良的巴雷特食管，其提出的算法是基于一个标准的纹理分析方法 (center-symmetric 自相关)，使用组织学作为参考标准，实验表明这种算法的准确性达到 83%，并且可以改善 EOCT 发育异常的识别的准确性^[4]。Maoling Zhu 等人在电脑软件的辅助下利用 EUS 来测验胰腺癌与慢性胰

腺炎的区别,其显示出电脑软件辅助技术具有很高的准确度以及非入侵性,给临床测定以客观的有效新方法^[5]。Du-Yih Tsai 等人提出了一种以模糊推理为基础将心脏病的超声图像进行自动分类的诊断技术,该方法在准确度、灵敏度方面有了很大的提高,实验表明该方法在诊断心肌类心脏病方面具有潜在的效用^[6]。文献[7]中提出了一种利用超声内镜图像新诊察前列腺癌的方案,根据多分辨率自相关结构特点检测癌症可疑地区和并将假阳性区域的位置过滤掉,最后利用支持向量机进行训练和分类,该方法为前列腺癌提供了一个更加可靠和有效的诊断方法。Adrian Saftoiu 等人通过人工神经网络分析的方法辅助诊断胰腺癌,为医疗决策提供快速准确的信息^[8]。文献[9]根据肝脏的超声波图像,利用重要特征进行提取和选择之后,用支持向量机进行分类,具有较高的识别度,此实验可用于脂肪肝的诊断方法来快速、客观、精确的帮助医生判断。Maoling Zhu 选取三方面的胰腺炎 EUS 图,其中包括自身免疫性、普通慢性还有胰腺癌,利用图形处理技艺提取 EUS 的纹理特征,验证电脑软件辅助诊断在医学中的价值^[10]。文献[11]探讨了根据于乳腺 X 线肿块影像电脑软件辅助诊断研究,提出了运用与=活动轮廓模型与随机游走的肿块计算机自动分割的运算方法,采用滤波的方法进行特征选择并结合实际的分类模型对训练样本进行交叉验证以确定最终的特征子集,再利用基于动态的 SVM-BDT 策略对肿块亚型进行分类,最后结合相关反馈技术达到令人满意的诊断效果,最终给予放射科医生较为有参考意义的诊察意见和判断支持。张婧在特征提取过程中加入纹理特征,用主成分分析方法对特征优化选择,提出基于网格搜索的代价敏感的支持向量机分类器能够保持高特异性的同时,敏感度也能达到 100%此肺结节自动识别方法在辅助医生识别肺癌诊断中具有比较正要的意义^[12]。一系列研究活动表明临床医生诊断的准确率可以通过计算机技术提到提升,并尽可能小的降低漏诊、误诊的可能性^[13-14]。

超声内窥镜(endoscopic ultrasound endoscope, EUS)图像的逐步发展和全球普及,大大提升食管管壁图像清晰度,是早癌检测的必要方法;不过,因为辨别图片的使用者有一定的主观性,所以超声内窥镜实际应用中有了一定的使用限制。现如今数字图形学辨析技艺已经于一些领域中广泛使用,尽管关于食管管壁数字化图像辨析技艺中协助诊察的文章已经出现一些,而且效果还不错,可却数量极

少。计算机辅助超声内镜图像数字处理技术来诊断食管早期癌症能否成为早癌诊断的有价值工具，值得深入研究。

1.3 研究内容与创新

本文主要利用模式识别对食管 EUS 图像的纹理特征进行分析研究，借助于分类器自动分类为临床医生提供辅助性的诊断，让病人能够得到及时有效的治疗。本文的主要研究点在于：

1. 利用 SIFT 算法提取图像特征点，并与 DTG 算法结合将特征点连接起来，形成超图中需要的三角结构。
2. 提出高阶图匹配算法，引入坐标信息，将超图应用到图的匹配中。由于超图比普通图含有更丰富的信息，利用超图对一阶图匹配的结果进行修正，使得图匹配有更好的效果。
3. 结合香农熵以及特征点的 K-层扩展子图，得出图中每个结点的特征向量，然后结合高阶图匹配的算法，提出基于深度信息的新的图核，并将其应用到 SVM 分类器中进行分类。

1.4 论文结构安排

本文共分为六章，文章的组织结构及内容如下：

第一章，绪论，介绍本文的写作背景、国内外研究现状、主要的研究内容创新之处以及概述全文的总体结构。

第二章，相关知识介绍，介绍了食管 EUS 图像的纹理特征、图论、图的复杂度计算中的一些概念，超图以及分类器图核等基础知识点。

第三章，基于深度信息的超声图像表示，主要是结合 SIFT 算法将图像转换为图结构，并结合香农熵给出结点的特征向量表示。

第四章，图的匹配，主要介绍一阶特征点的匹配和利用超图对一阶匹配结果的修正，并给出新的图核的过程。

第五章，图的分类，采用基于深度信息的图核，通过 SVM 分类器对随机的 10 组图片分类，从灵敏度、特异性等多方面展示分类的效果。将分类的结果利

用三维空间、表格以及 ROC 曲线的形式展示出来。

第六章，总结与展望，对全文的内容进行概述，并针对部分不足提出未来的可以研究的方面。

厦门大学博硕士论文摘要库

第二章 相关知识介绍

通常将灰度在空间中以一定的形式变化而产生的图案或者模式认为是超声内镜图形纹理。进而把这些个灰度的变化规范的规律命名为图形纹理特征。由于图和图像纹理特征具有很好的一一对应的关系,因此可以运用图论中的经典理论对图像进行处理。因此本章主要介绍超声内镜图像纹理特征和图的一些相关知识。

2.1 超声内镜图像的纹理特征

EUS 里面的超声探头所发出的超声波信号射入人体的组织中,他的传导情形会在同一时刻出现 3 个状态:声衰减、反射,还有散射、反射,以及散射波衰减。在这些当中散射为超声波于人体组织里面传导的时候,遭受小于波长的微小组织的反馈,所生成的。散射的波纹交叉扰乱,以至于回波幅度的波动,进一步生成 EUS 的“纹理”。鉴于此原理,EUS 纹理特征表达出人体内脏组织的声学特征,也就是一样的组织对于一样的成像环境,绝大程度都可以生成一样的纹理模式;不一样的组织,或者一个组织产生不一样病变的时候,就可能生成不一样的纹理模式,可以理解为灰度点粗细,分布差别等。由此看来,纹理空间的分布模式可以折射出成像组织里面的结构特征,医生可以根据纹理特征的定量分析来判断病人有无疾病。进一步来说,这样的超声探头直接靠近腔内的病变部位,减小了声波的路径,同理也就降低声波衰减,所以能够直接有效的提升图形识别力,诊断出细微的病灶。因此对超声内镜图形进行纹理辨析在运用于疾病的诊疗方面,能够明显降低主观带来的误判这一可能性。

纹理特征也是全球的研究人员争相研究的对象。大约是 70 年代初,Robert M. 等科学家已经声明了 GLCM^[15], Tamuar 等科学家在文献[16]中声明了能够组成纹理的可视化模型六种纹理属性,分别是方向性、粗糙度、线型、粒度、对比度和均匀。80 年代早期, Kenneth Ivan Laws 声明了 Laws 纹理^[17]计算方案,这个方案第一步将 5 项特殊卷积核两个两个之间相互卷积,然后卷积结果出现的模板,继续对图形计算卷积,同时提取出纹理特征。Jiebo 于文章[18]声明了俩个阶段的自我监督纹理分割的方案,这个简单的方案第一步就是运用无监督的自动回归聚

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts 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.