

上海大学出版社

2006年上海大学博士学位论文 43



医疗内窥镜视觉导航 技术研究

- 作者：张 震
- 专业：机械制造及其自动化
- 导师：钱晋武



G 643/218

上海大学出版社

001289221

2006年上海大学博士学位论文 43



医疗内窥镜视觉导航 技术研究

- 作者：张震
- 专业：机械制造及其自动化
- 导师：钱晋武



2006年上海大学博士学位论文
——张震——

上海大学图书馆

上海市静安区

上海大学图书馆

上海大学图书馆

上海大学图书馆

上海大学图书馆

上海大学图书馆

上海大学图书馆

上海大学图书馆

上海大学图书馆

上海大学图书馆

上海大学图书馆

上海大学图书馆

上海大学图书馆

上海大学图书馆

贵阳学院图书馆



ISSN 85100

图书在版编目(CIP)数据

2006 年上海大学博士学位论文. 第 1 辑/博士学位论文编辑部编. —上海:上海大学出版社, 2009. 12

ISBN 978 - 7 - 81118 - 511 - 9

I. 2... II. 博... III. 博士—学位论文—汇编—上海市—2006 IV. G643.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 162521 号



2006 年上海大学博士学位论文

——第 1 辑

上海大学出版社出版发行

(上海市上大路 99 号 邮政编码 200444)

(<http://www.shangdapress.com> 发行热线 66135110)

出版人: 姚铁军

*

南京展望文化发展有限公司排版

上海华业装潢印刷厂印刷 各地新华书店经销

开本 890 × 1240 1/32 印张 264.75 字数 7 376 千

2009 年 12 月第 1 版 2009 年 12 月第 1 次印刷

印数: 1—400

ISBN 978 - 7 - 81118 - 511 - 9/G · 513 定价: 1000.00 元(50 册)

Shanghai University Doctoral Dissertation (2006)

On Vision Navigation Technology for an Endoscope

答辩委员会名单:

主任: 张震 **Candidate:** Zhang Zhen 200032

委员: 曹其新 **Major:** Machine Manufacturing and Automation 200030

陈明仪 **Supervisor:** Qian Jinwu 201801

陈明仪 教授, 上海大学精密机械系 200072

陈明仪 教授, 上海大学精密机械系 200072

导师: 钱晋武 教授, 上海大学 200072

Shanghai University Press

• Shanghai •

答辩委员会评语

本论文经答辩委员会全体委员审查,确认符合上海大学博士学位论文质量要求。

答辩委员会名单:

主任:	宋志坚	教授,复旦大学上海医学院	200032
委员:	曹其新	教授,上海交大机器人研究所	200030
	陈辛波	教授,同济大学汽车学院	201804
	龚振邦	教授,上海大学精密机械系	200072
	陈明仪	教授,上海大学精密机械系	200072
导师:	钱晋武	教授,上海大学	200072

学大搞土

评阅人名单:

- | | | |
|-----|------------------|--------|
| 宋志坚 | 教授,复旦大学上海医学院 | 200032 |
| 杨 杰 | 教授,中国科技大学 | 230026 |
| 杨 杰 | 教授,上海交大电子信息学院图像所 | 200240 |

评议人名单:

- | | | |
|-----|-------------------|--------|
| 梅 涛 | 教授,中科院合肥智能所 | 230031 |
| 王朔中 | 教授,上海大学电子信息工程系 | 200072 |
| 屠大维 | 教授,上海大学机电工程与自动化学院 | 200072 |
| 程维明 | 教授,上海工程技术大学 | 200336 |

答辩委员会对论文的评语

张震同学博士学位论文“医疗内窥镜视觉导航技术研究”是国家自然科学基金项目和国家 863 计划项目“介入式内窥镜诊疗机器人关键技术”的一个研究部分。论文的研究目的是减少内窥镜操作穿孔概率并实现内窥镜的智能化,选题具有重要的学术意义与临床价值。

论文围绕内窥镜视觉导航,在分析各种导航算法的基础上,确定了基于暗区提取的自适应阈值分割算法,基于纹理分析的边缘能量算法,以及能将上述两种导航算法融合的 Dempster-Shafer 证据推理导航策略,对于提高视觉导航的准确度和算法运行速度具有较好的效果。还研制了一种新型的智能内窥镜视觉导航系统,具有主动避障、触觉反馈等功能,并实现了自主导航。试验表明该系统对于外科医生进行结肠内窥镜操作具有重要辅助作用。

论文的主要创新体现如下:

1. 基于纹理的边缘能量法检测肠道中心;
2. 在对暗区检测结果和基于纹理的边缘能量法检测结果进行综合分析的基础上,应用 D-S 证据推理进行信息融合,提高了导航的准确率;
3. 研制了一种新型的智能内窥镜视觉导航系统。

从整个学习和研究工作来看,张震同学已掌握了本专业宽广的基础理论和系统深入的专业知识,具有了独立从事科

学研究的能力,并做出了创新性成果。

论文写作条理清晰,内容正确,实验数据可信,答辩时能正确回答问题。

答辩委员会表决结果

答辩委员会委员经过投票一致同意通过张震同学的博士学位论文答辩,并建议授予工学博士学位。

答辩委员会主任:宋志坚

2006年6月7日

摘 要

智能化医疗设备和医疗机器人技术研究,是一个多学科交叉的具有重要意义的研究领域。其研究和应用的一个重要方面是无创微创外科手术(MIS),即利用人体的天生管腔或手术小孔来导入医疗器械或医疗机器人以实现对人体进行诊断、治疗、检测和手术等,从而减少手术期间对人体其他完好组织的伤害,缩短康复时间,并减轻患者的生理痛苦和医疗人员的手术操作时的心理压力。内窥镜诊疗术是微创外科的重要手段,其典型器材是内窥镜。肠道内窥镜是诊疗结肠癌等疾病的重要手段,但目前手工操作存在诸如穿孔等问题。因此,利用机器人和计算机技术对内窥镜诊疗设备进行智能化改造具有重要的研究意义和应用前景。

本论文以克服内窥镜检查穿孔、实现内窥镜智能化为目的,主要研究了智能内窥镜视觉导航技术,研究内容如下:

(1) 本文针对内窥镜诊疗环境的特殊性和复杂性,通过调研,分析医生在内镜检查中的动作和决策方式,在此基础上提出了采用计算机视觉方法引导肠道内窥镜的介入的主要步骤:采集肠道内窥镜头部 CCD 观测的肠道实时图像并传输到计算机,计算机自动处理分析图像,自动控制和调节肠道内窥镜头部的姿态或给医生适当的建议使内窥镜顺利的进入肠道。

(2) 图像底层处理算法是进行计算机视觉导航研究的基础,针对智能内窥镜视觉导航方案,本文从图像信息的采集开始,到图像信息的预处理、图像特征的提取等基本导航技术进

行了概述和研究。

(3) 在暗区提取方法方面: 分析了暗区提取法的内窥镜导航原理, 研究了简单阈值算法、基于最大类间方差法的自适应阈值分割算法和基于小波变换的阈值分割算法等三种暗区提取算法, 并通过试验对三种算法进行了比较和分析。

(4) 在纹理分析方法方面: 分析了内窥镜图像暗区的形成过程以及利用暗区进行寻径的不稳定因素, 根据肠道内存在闭合肌肉线的情况, 研究了采用纹理分析法进行引导内窥镜头部的方法, 并且给出了两种纹理分析算法——组织连接算法和边缘能量算法。通过试验, 对两种算法进行对比分析。

(5) 基于 Dempster-Shafer 证据推理法的传感器信息融合的导航策略: 对暗区提取法和纹理分析法两种方法进行了具体的对比分析, 并在此基础上提出了一种基于 D-S 证据推理法的能对两种导航方法进行信息融合的导航策略。经过试验证明, 该导航策略能较好的对两种视觉导航方法进行信息融合。

(6) 设计了一种新的智能内窥镜导航系统, 该系统采用基于计算机视觉技术的主动避障、有力觉传感器的肠道内窥镜主动介入。

关键词 医疗机器人, 智能内窥镜, 自主介入, 视觉导航, 自适应阈值算法, D-S 证据推理, 纹理分析

Abstract

The research on intelligent medical devices and medical robots is currently an important area. Among its applications is the minimal invasive surgery (MIS), which has improved levels of traditional diagnosis and treatments. More and more forbidden zones of surgery could be reached and many kinds of diseases could be cured effectively. Endoscopy, an important technology of MIS, mainly uses endoscope as a diagnosis device. While colonoscopic diagnosis has become an effective therapy to cure colon illness, there exist some problems as perforation. Therefore, it is worthwhile to do research on intelligent modification for endoscopes.

This dissertation is mainly about the visual navigation technology of the endoscope. The main contents of the dissertation are as follows:

(1) The particularity and complexity of the endoscopy diagnosis is introduced. By references and interviews with doctors, the manipulation strategy of doctors is analyzed and main steps for vision navigation in endoscopy diagnosis are proposed. The real-time images are picked up by CCD camera and sent to a computer. By analyzing these images, the computer automatically controls the pose of the tip of endoscope or gives suggestions to the doctor who pushes the

endoscope into the colon successfully and safely.

(2) As a basis for detailed research on visual navigation, a series of techniques are investigated including endoscope images acquisition, pretreatment of endoscope images, feature extraction of image and so on. Several algorithms of these techniques are introduced as well.

(3) Dark region analysis: The principle of endoscope navigation based on dark region is introduced firstly. Three algorithms of auto-thresholding are presented which are used to find the path in the colon. These three auto-thresholding algorithms, known as the method of simple thresholding, the auto-thresholding algorithm based on Ostu's method and the histogram segmentation algorithm based on wavelet, are used to extract the lumen from colon images. The comparison among three algorithms is carried out.

(4) Contour analysis: At first, the limitation of dark region method is presented. According to the fact that there are many close muscle lines in colon surfaces, the method of contour analysis is introduced. Two algorithms, based on contour grouping and edge energy detecting respectively, are described to detecting path of the endoscope. The comparison between these algorithms is carried out.

(5) Navigation strategy: The application of multi-sensor navigation is introduced first. Dempster-Shafer theory of evidence is used to fuse different information of the dark region method and the contour analysis method. The fusion effectiveness based on experiments has also been analyzed.

(6) Based on the above research, a novel kind of an intelligent endoscopic navigation system is designed. The proposed intelligent endoscope is a vision-guided device, with the help of an automatic inserter with tactile sensors, which can facilitate navigation inside a human colon.

Key words Medical robot, Intelligent endoscope, Automatic insertion system, Auto-thresholding algorithm, Vision guidance, Dempster-Shafer theory of evidence, Contour analysis

第一章 绪论	28
1.1 研究背景	28
1.2 研究意义	29
1.3 国内外研究现状	29
1.4 研究内容	30
1.5 小结	30
第二章 计算机视觉基本方法概述	31
2.1 引言	31
2.2 图像采集技术	32
2.3 快速滤波技术	35
2.4 快速定位技术	36
2.5 小结	39
第三章 基于暗区提取法的寻径方法的研究	40
3.1 引言	40
3.2 暗区提取方法原理	41
3.3 暗区提取方法	42
3.4 三种算法比较	48
3.5 小结	49
第四章 基于纹理分析方法的寻径方法的研究	51
4.1 引言	51
4.2 纹理分析方法原理	52

目 录

第一章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 研究背景和意义	2
1.3 国内外研究状况	7
1.4 课题主要研究任务和目标	28
1.5 小结	30
第二章 计算机视觉基本方法概述绪论	31
2.1 引言	31
2.2 图像采集技术	32
2.3 快速滤波技术	35
2.4 快速定位技术	36
2.5 小结	39
第三章 基于暗区提取法的寻径方法的研究	40
3.1 引言	40
3.2 暗区提取方法原理	41
3.3 暗区提取方法	42
3.4 三种算法比较	48
3.5 小结	49
第四章 基于纹理分析方法的寻径方法的研究	51
4.1 引言	51
4.2 纹理分析方法原理	52

4.3	组织连接算法	53
4.4	边缘能量算法	61
4.5	试验结果及分析	69
4.6	小结	69
第五章	导航策略系统分析	71
5.1	引言	71
5.2	纹理分析方法和暗区提取方法的比较	72
5.3	进一步的分析	78
5.4	系统导航策略	80
5.5	其他内窥镜视觉导航方法研究	86
5.6	智能内窥镜导航的建议	98
5.7	小结	98
第六章	智能内窥镜视觉导航系统	100
6.1	引言	100
6.2	系统组成概述	100
6.3	系统结构	102
6.4	系统测试结果及分析	111
6.5	小结	117
第七章	总结与展望	118
7.1	本文研究工作的总结	118
7.2	本文研究工作的创新点	119
7.3	对后续工作的展望	120
参考文献		122
致 谢		135

第一章 绪 论

本章摘要:

本章首先在介绍医用内窥镜的结构、医用内窥镜的发展和医用内窥镜诊断过程的基础上分析了本课题研究的重要意义。然后讨论了国内外智能内窥镜,尤其是基于计算机视觉的智能内窥镜的研究情况。最后介绍了调研结果,分析了现有研究的不足,提出了本课题研究的任务和目标。

1.1 引 言

医疗机器人技术是目前国内外研究非常活跃,投资巨大,也是最具有发展前途的应用领域之一。在 1996 年、1998 年和 2001 年的国际先进机器人计划(International Advanced Robotics Program,简称 IARP)的合作协调会上,医疗机器人成为讨论的热点之一。医疗机器人研究与应用的一个重要方面是无创微创外科手术(MIS)技术,它是利用人体的天生管腔或手术小孔来导入医疗器械或医疗机器人以实现对人体进行诊断、治疗、检测和手术等,从而减少手术期间对人体其他完好组织的伤害,缩短康复时间,并减轻患者的生理痛苦和医疗人员的手术操作时的心理压力^[1]。内窥镜诊疗术是微创外科的重要手段,其典型器材是内窥镜。

内窥镜的主要应用之一是对结肠癌的早期预防。结肠癌占现代工业国家癌症发病率的第二位,在美国,每年约有 150 000 例结肠癌发病者,而 90% 的结肠癌是由良性息肉发展而来,据统计结肠息肉的发病率约为 10% 左右^[1-2]。因此及早地发现及切除息肉是预防和治理结肠癌的重要措施。然而大多数的结肠息肉并无特殊的症状,诊

断主要依靠临床检查。采用内窥镜进行诊疗则是最为重要、最精确的诊疗方式。但是,现有的内窥镜在人体结肠检查中仍然存在着许多难以克服的缺陷,它是利用操作人员的外部推力介入到人体检查腔道,由于这种推入方式对操作人员的技术要求较高,很可能由于操作不当或人体结肠本身的病理原因而导致结肠的穿孔,致使医疗事故的发生。因此,有必要研究内窥镜的智能导航技术,以克服现有内窥镜的不足。

视觉导航技术是在计算机图像处理、人工智能、计算机视觉等基础上发展起来的,在军事、工业、智能机器人、医疗等多个领域有广泛的研究和应用。在军事上,导弹的自主飞行、卫星和无人飞行器的侦察等都需要视觉导航技术^[3];工业上,视觉导航技术在零件的检测、智能车间的建立上发挥着重要的作用^[4];智能机器人的移动路径规划、避障等^[5];医疗上的无创手术导航、智能诊断、远程医疗等,视觉导航技术是目前国内外研究的热点之一^[6]。

1.2 研究背景和意义

1.2.1 内窥镜的工作环境分析

大肠是消化管的最后一段,由盲肠、结肠、直肠和肛管四部分组成^[7-11],如图 1-1 所示。结肠是大肠中最长的一段,位于盲肠和直肠之间,整体呈方框状包围于空、回肠周围,按其位置依次为升结肠、横结肠、降结肠和乙状结肠四部分。根据对人体肠道的分析,大肠作为机器人工作环境所具有的主要特点如下:

(1) 人体肠道肌肉组织属于平滑肌,具有较大的伸展性^[12-14],因而人体肠道的一个特点表现在形状和尺度的可变性上,包括沿纵向弯曲的柔软性、沿纵向伸缩的柔软性和沿径向伸缩的柔软性等。

(2) 肠道属于中空性器官,肠壁较薄。透过肠壁的黏膜,可以清楚地观察到黏膜下层的血管纹理,即血管相互交错,形成规则鲜红的网状结构。