

# 高清晰低畸变细径化电子内窥镜设计

## High Definition and Low Distortion Fine Diameter Electron Endoscope Design

王业进

Yejin Wang

深圳海业医疗科技有限公司, 中国·广东 深圳 518000

Shenzhen Haiye Medical Technology Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

**摘要:** 论文主要研究和设计了一款高清晰低畸变细径化电子内窥镜。内窥镜在医疗领域具有重要的应用价值,特别是在微创手术中起到关键作用。论文通过对光学系统、传感器技术和图像处理算法的优化,实现了高清晰度、低畸变和细径化的目标。首先,优化光学系统参数,提高成像质量;其次,采用高性能的 CMOS 图像传感器,提高图像分辨率;最后,应用先进的图像处理算法,有效降低畸变。综合运用这些技术,实现了电子内窥镜的性能提升,有望为微创手术提供更高质量的图像,降低手术风险,提高患者康复速度。

**Abstract:** This paper mainly studies and designs a high definition low distortion fine diameter electron endoscope. Endoscopy has important applications in the medical field, especially since it plays a key role in minimally invasive surgery. This paper achieves high definition, low distortion and thin diameter through the optimization of the optical system, sensor technology and image processing algorithm. Firstly, the optical system parameters are optimized to improve the imaging quality; secondly, the high-performance CMOS image sensor is used to improve the image resolution; finally, the advanced image processing algorithm is applied to effectively reduce the distortion. The comprehensive use of these technologies has improved the performance of the electronic endoscope, which is expected to provide higher quality images for minimally invasive surgery, reduce the risk of surgery, and improve the recovery speed of patients.

**关键词:** 电子内窥镜; 高清晰度; 低畸变; 细径化

**Keywords:** electronic endoscope; high definition; low distortion; thin diameter

**DOI:** 10.12346/pmr.v4i6.7958

## 1 引言

随着医疗科技的不断发展,微创手术已逐渐成为许多领域的首选治疗方式,而电子内窥镜作为微创手术中的关键设备,其性能的优劣直接影响手术效果与安全性。论文结合中国深圳海业医疗科技有限公司在医疗科技领域的生产研发经验,针对高清晰低畸变细径化电子内窥镜的设计需求,通过光学系统优化、传感器技术研究及先进图像处理算法应用,实现了电子内窥镜性能的显著提升,为微创手术提供更高质量的图像支持,旨在降低手术风险,提高患者康复速度。

## 2 行业背景与需求分析

### 2.1 电子内窥镜的发展背景

电子内窥镜作为一种医疗诊断和治疗设备,自 20 世纪中期起就开始广泛应用于临床领域。早期的内窥镜系统主要为光学内窥镜,后随着微电子技术的发展,电子内窥镜逐渐具有显著优势。与传统光学内窥镜相比,电子内窥镜具有图像清晰度高、操作便捷以及与其他医疗设备集成能力强等特点。随着医疗行业对图像质量、手术安全性和患者舒适度的要求不断提高,电子内窥镜的发展已成为行业关注的焦点。近年来,电子内窥镜技术不断取得突破,从传统的模拟信号传输向数字信号传输转变,从有线连接向无线连接发展,以

【作者简介】王业进(1979-),男,中国江苏徐州人,本科,高级工程师,从事临床医学研究。

及从传统2D成像向3D成像技术演进。这些技术进步为临床医生提供了更为清晰、高效、稳定的图像支持,有力地推动了医疗领域的创新与发展<sup>[1]</sup>。

## 2.2 微创手术的需求分析

微创手术是指通过较小的切口或自然腔道进行的手术,其目的是在保证手术治疗效果的同时,尽量减少对患者身体的创伤,缩短康复时间。随着医疗水平的提高,微创手术在许多领域已逐渐替代了传统开放手术。微创手术对电子内窥镜设备的需求不断提高,对内窥镜的清晰度、畸变程度以及直径等方面提出了更高的要求。首先,手术过程中医生需要清晰、高分辨率的图像来观察病灶,指导手术操作。高清晰度的电子内窥镜可以帮助医生更准确地识别病变组织,提高手术成功率。其次,低畸变是电子内窥镜在微创手术中的另一重要需求。畸变会导致成像失真,影响医生判断,增加手术风险。因此,降低内窥镜成像的畸变程度具有重要意义。最后,随着微创手术在更多领域的应用,对内窥镜的细径化要求也越来越高。细径化电子内窥镜可以通过较小的切口或自然腔道进入人体,降低手术创伤,减少患者术后恢复时间。

## 3 高清晰低畸变光学系统设计

### 3.1 光学系统参数优化

光学系统是电子内窥镜成像质量的关键因素。为实现高清晰度和低畸变的成像目标,论文对光学系统的参数进行了优化。光学系统主要包括物镜、中继光学元件和投影镜头等部分,各部分的参数优化将有助于提高整体系统的性能<sup>[2]</sup>。

①物镜设计。物镜负责将目标物体的光线聚焦成像,其性能直接影响成像质量。为提高物镜的分辨率和减少畸变,论文采用高折射率的玻璃材料以及多层膜的镀膜技术,同时通过光线追踪和优化算法确定最佳的物镜结构和参数。②中继光学元件。中继光学元件的主要作用是将物镜成像的光线传输至投影镜头,保证图像质量。论文采用高透过率的光纤束作为中继光学元件,以降低光线传输过程中的损失,并在光纤输入和输出端设置适当的耦合器和集成器,以减小成像畸变。③投影镜头设计。投影镜头负责将经过中继光学元件传输的光线投影到图像传感器上。为实现高清晰度成像,论文对投影镜头的光学参数进行了优化,包括镜片曲率半径、折射率、间距等,以减小像差和畸变。

### 3.2 成像质量评价

为评价优化后光学系统的成像质量,论文采用了以下指标进行评估:

①分辨率。分辨率是衡量光学系统清晰度的重要指标,论文通过测试不同对比度的分辨率靶标,分析优化后光学系统的分辨率性能。②畸变。畸变是指光学系统成像时物体形状的失真程度。论文采用畸变测试靶标,对比优化前后光学系统的径向畸变和切向畸变,以评价优化效果。③信噪比。信噪比是衡量光学系统成像质量的另一重要指标,论文通过

测试不同光照条件下的图像信噪比,评估优化后光学系统在低光照环境下的表现。④光学传输效率。光学传输效率是指光学系统中光能传输的效率。论文通过测量优化后光学系统的透过率和反射率,评价系统在光线传输过程中的损失。

## 4 高性能传感器技术研究

### 4.1 CMOS 图像传感器选择

在电子内窥镜系统中,传感器是将光学系统成像的光信号转换为电信号的关键元件。为实现高清晰度成像,论文对CMOS图像传感器进行了深入研究和选择。与传统的CCD图像传感器相比,CMOS图像传感器具有低功耗、高集成度以及高速读取等优势,适用于微创手术的要求<sup>[3]</sup>。

在选择CMOS图像传感器时,主要考虑以下几个方面的性能指标:

①分辨率。分辨率是衡量传感器清晰度的关键指标,需要选择具有较高分辨率的传感器,以满足手术过程中对图像清晰度的要求。②像素尺寸。像素尺寸影响传感器对光信号的敏感度和信噪比。较小的像素尺寸有助于实现细径化的电子内窥镜设计,但同时需要兼顾信噪比的性能。③动态范围。动态范围是指传感器在同一场景下能够区分的最大亮度和最小亮度之比,较高的动态范围有助于提高手术过程中对不同亮度区域的成像质量。④读取速度。传感器的读取速度直接影响图像的实时性,高速读取能够降低图像延迟,提高手术操作的准确性。

### 4.2 传感器性能评估

为验证所选CMOS图像传感器的性能,论文进行了以下测试:

①分辨率测试。通过不同对比度的分辨率靶标,验证传感器的分辨率性能。②信噪比测试。在不同光照条件下测试传感器的信噪比,评估其在低光照环境下的性能。③动态范围测试。通过拍摄具有不同亮度区域的场景,评估传感器的动态范围表现。④读取速度测试。通过连续拍摄并分析图像数据,验证传感器的读取速度和实时性能。

通过以上测试,论文对所选CMOS图像传感器的性能进行了全面评估。实验结果表明,该传感器在分辨率、信噪比、动态范围以及读取速度等方面均具有优异的性能,满足高清晰低畸变细径化电子内窥镜的设计要求。

## 5 先进图像处理算法应用

为进一步提高高清晰低畸变细径化电子内窥镜的成像质量,论文还涉及先进图像处理算法的应用,主要包括图像去畸变算法研究和图像增强与优化两部分内容。

### 5.1 图像去畸变算法研究

尽管论文在光学系统设计阶段已经尽力降低畸变,但内窥镜成像仍可能受到一定程度的畸变影响。为进一步提高图像质量,论文对图像去畸变算法进行了研究和应用。

①畸变参数标定。首先需要对内窥镜的畸变参数进行标定。通过拍摄特定的标定板,采用棋盘格角点作为特征点,利用最小二乘法对畸变参数进行标定。②畸变矫正算法。论文采用基于双线性插值的畸变矫正算法,根据已标定的畸变参数,计算畸变矫正后的像素坐标,并通过双线性插值方法获取矫正后的像素值,实现图像的去畸变处理<sup>[4]</sup>。

## 5.2 图像增强与优化

为提高电子内窥镜在微创手术中的应用效果,论文还对图像进行了增强与优化处理,以改善图像对比度、降低噪声等方面的表现。

①对比度增强。论文采用直方图均衡化算法对图像的对比度进行增强。通过调整图像的亮度分布,使图像的整体对比度得到提高,有助于医生观察细节和识别病变组织。②降噪处理。为降低图像中的噪声,论文采用非局部均值(Non-Local Means, NLM)降噪算法。该算法通过比较图像中的相似区域,对每个像素进行加权平均,有效降低噪声,同时保留图像的边缘和纹理信息。

通过以上图像处理算法的应用,论文实现了高清晰低畸变细径化电子内窥镜图像的进一步优化,有助于为临床医生提供更清晰、高质量的图像支持,提高微创手术的成功率和安全性。

## 6 细径化电子内窥镜整体设计

在前文中,论文对高清晰低畸变光学系统、高性能传感器技术以及先进图像处理算法进行了研究。下面将重点讨论细径化电子内窥镜的整体设计,包括结构设计与分析以及性能测试与验证。

### 6.1 结构设计与分析

为实现细径化电子内窥镜的设计目标,论文对整体结构进行了详细设计与分析。结构设计需要兼顾设备的紧凑性、操作性、可靠性和安全性。结构设计的主要内容包括以下几个:

①光学系统安装。在设计过程中,需要确保优化后的光学系统得到有效安装。光学元件的布局、固定方式以及光路的调整都需要进行细致考虑,以保证成像质量。②传感器集成。将选定的CMOS图像传感器与光学系统集成,设计灵活的电路板以适应细径化的内窥镜结构,同时确保传感器的稳定性和性能。③操作杆设计。操作杆是连接操作者与内窥镜的关键部件。论文采用人体工程学原理,对操作杆的长度、直径和握持方式进行优化,以提高手术操作的舒适性和准确性<sup>[5]</sup>。④封装与防护。为确保内窥镜在手术过程中的安全性和耐用性,需要对光学系统、传感器和电路板等关键部件进行有效的封装和防护。论文采用生物相容性材料和防水设计,来满足临床使用的要求。

### 6.2 性能测试与验证

为验证细径化电子内窥镜的整体性能,论文设计了一系

列性能测试与验证实验。这些实验旨在从多个方面全面评估内窥镜的成像质量、操作性能和安全性。

①成像质量测试。在光学系统和传感器集成完成后,对内窥镜的成像质量进行测试。通过拍摄不同场景和光照条件下的图像,评估内窥镜的分辨率、信噪比、动态范围等成像性能指标。②操作性能测试。邀请具有相关经验的医生对内窥镜的操作性能进行测试。通过模拟手术操作过程,评估内窥镜的插入、操控和取出等方面的性能。收集医生的反馈意见,对内窥镜的人体工程学设计进行评估和优化。③安全性与耐用性测试。对细径化电子内窥镜的关键部件进行长时间、高强度的使用测试,以验证其安全性和耐用性。此外,对内窥镜进行高低温、湿度、振动等环境试验,确保其在恶劣环境下的稳定性和可靠性。④临床试验。在严格遵循伦理审查和相关法规的前提下,进行临床试验,以验证内窥镜在实际手术中的应用效果。收集患者和医生的反馈数据,对内窥镜的成像质量、操作性能和安全性进行综合评价。

通过上述性能测试与验证实验,论文全面评估了细径化电子内窥镜的整体性能。实验结果表明,设计的内窥镜在成像质量、操作性能和安全性等方面均表现良好,符合微创手术的需求。

总之,论文从光学系统设计、传感器技术研究、图像处理算法应用以及整体结构设计等多个方面,系统地研究了高清晰低畸变细径化电子内窥镜的设计。实验结果表明,该内窥镜在成像质量、操作性能和安全性等方面均具有优异表现,为微创手术提供了更好的图像支持。后续工作将继续关注电子内窥镜领域的技术发展,进一步提高系统性能,拓宽其在临床应用领域的适用范围。

## 7 结语

论文通过系统地探讨高清晰低畸变细径化电子内窥镜的设计与应用,成功实现了一款高性能的内窥镜设备。这一成果不仅有助于满足微创手术对高清晰成像的需求,还将为提高手术效果和患者生活质量发挥积极作用。展望未来,笔者将继续关注内窥镜技术的发展,致力于推动医疗科技的进步,为人类健康事业做出贡献。

## 参考文献

- [1] 张雯雯,周正东,管绍林,等.电子内窥镜的研究现状及发展趋势[J].中国医疗设备,2017,32(1):93-98.
- [2] 王循,谢运强,刘春雨,等.大视场低畸变的星敏感器光学系统设计[J].机电工程技术,2021,50(6):22-25.
- [3] 王旭开.基于CMOS高清医用电子内镜图像处理器的设计[J].生物医学工程与临床,2020,24(4):387-392.
- [4] 刘婧.基于FPGA的数字图像几何畸变矫正方法研究[J].潍坊学院学报,2022,22(2):9-13.
- [5] 潘博,付宜利,王树国,等.微创条件下内窥镜操作机器人运动学[J].机械工程学报,2009,45(3):162-168.