**南方科技大学本科生毕业设计（论文）开题报告**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 设计（论文）题目 | 双通道内窥镜柔性手术机器人操纵端设计 | | | | |
| 学生姓名 | 李奥齐 | 学号 | 11910413 | 专业 | 机器人工程 |
| 题目类型 | B | 题目来源 | A | 指导教师 | 付成龙 |
| 开题报告内容（国内外研究概况，研究目的和意义、研究方法、思路与预期成果；任务完成的阶段内容及时间安排；完成毕业设计（论文）所具备的条件因素等）：   1. **课题的背景及研究的目的和意义**   柔性内窥镜广泛的应用于医疗领域，以微创的方式对人体内部进行可视化检测，并可实现微创手术(MIS)，带来了外科领域一场全面的革命。相比于传统的开放手术，内窥镜手术通过人体自然腔道到达病变部位，避免了对人体的创伤，更安全，更经济，同时患者恢复的周期也更短[1]。但是目前市面上的内窥镜手术器械结构简单，能实现的功能单一，适用面狭窄，仅适用于少数手术[2]，因此研发一款灵活的，可在人体狭窄空间模拟医生双手安全执行手术任务的双通道柔性手术机器人，是机器人领域一个值得研究的方向。  在手术机器人系统中，人机交互方式是医生与机器人系统进行交互的桥梁，由于医疗领域这一特殊应用环境，要求人机界面必须简洁，直观，便于使用，人机界面设计的好坏，直接决定所设计的机器人系统能否被医生所接受。[3]  主从控制(Master-Slave Control)在远程交互式操纵(Teleoperation)机器人的应用中具有重要意义，尤其是在环境较为恶劣和要求较为严苛的条件下。相较于其他机器人的控制方式，人脑作为主要决策源是目前最为安全可靠的方式，因此现阶段主流的手术机器人控制方式仍是主从控制[4]。在典型的主从式手术机器人系统中，外科医生坐在手术室外的主控台，通过通讯渠道发送出控制指令以操纵从设备上的手术末端执行器，同时将视觉、触觉等数据反馈到外科医生。  借助主从控制的理念，通过合理的结构设计，可以捕捉手术人员手部的执行动作，并将采集的电信号转化为控制手术机器人的指令，从而实现跨越空间限制的同步直觉控制。目前许多手术机器人平台采用商用的主从设备作为操控器，虽然商用产品功能丰富且设计紧凑，但是由于不同手术机器人运动学结构的不同，存在失去直觉性控制的风险，导致医生手术难度的增加[5]。且商用操控器主要面向微创手术中配备刚性执行器的手术机器人，而没有一款成熟的对应柔性执行器的操纵端，因此设计这样一款可以应用于柔性手术机器人的操纵端是有意义的。   1. **国内外研究概况**   远程操纵的思想自20世纪70年代就已经出现，远程操纵的目的是使操纵员能够在难以进入或危险的环境中进行精确的工作，例如核电站中的放射性区域，加压水域和太空环境中,利用人类高度的适应性，能使得机器人更好的应对非结构化环境。[6]但是如果控制界面设计不当，会使得控制系统十分难用，如使用键盘控制结构和功能较为复杂的机器人时，需要大量的培训才能使得人类操作员流畅有效的操纵机器人。  主从控制作为远程操纵中最热门的研究方向，主从控制系统通常由主机器人和从机器人两部分组成，远端的从机器人通过准确的复制主机器人读取的动作，实现远程精准控制。[7]1971年，苏联科学院科学家Serafini, P提出一种应用于放射性区域的主从式机械手臂，并在文中指出，“由于操作者手的空间位置和机械手臂的抓地力之间有着明确的对应关系，因此能够以极高的精度执行复杂的技术操作”[8]，这一特性完全符合外科手术医生的需求，1993年底，医疗机器人首次用于辅助微创手术[9]。在过去的三十年里，手术机器人技术取得了显著的发展，在许多方面取得了关键性突破，对手术结果产生了可衡量的积极影响。  **国外研究概况**  Da Vinci 手术系统(Intuitive Surgical)在2000年树立了机器人辅助手术的标杆，现已发展成了最为常用的手术机器人系统之一。截至2018年，全球已有超过4000多部Da Vinci手术机器人系统。[10]自成立以来，该系统已经获批用于各种手术，包括心脏，结肠，妇科，胸腔等外科手术。  Fig. 1  图1 Da Vinci-Si 手术机器人系统  Da Vinci手术系统主控台（上图）的设计充分考虑了外科医生的需求，操纵者将手指与指环连接，通过高精度的串联连杆结构可以捕捉指尖的位置和位置，并将位置关系映射到末端的手术器械；主控台的中心是配备高分辨率的3D可视化界面，模拟操作者真实手术的感觉；为了满足人体工程学设计，主控台中还配备有可以调节的指环、可调节眼内距离功能，以及带垫衬的头枕和扶手。在安全性上，该系统通过高分辨率摄像头、震颤过滤、运动缩放和舒适的界面实现其精度。[11]  Da Vinci手术机器人系统非常适合作为讨论手术机器人的原型，并在目前核心技术、临床应用、产生的程序数据和整体文献量中远远超过其他竞争对手。但是类似于Da Vinci手术机器人控制台的设计也存在一些缺点：第一，Da Vinci手术机器人的成本过于高昂，高端的技术使得设备购买和维护的成本较高，每一次手术所需的费用也不够亲民；第二， 机器人仍需要在腹腔进行切口手术才能达到人体病灶部位。  经由消化道等人体自然腔道进入病灶组织，开展手术的柔性手术机器有望刚性手术机器人应用场景的局限性。南洋理工大学Phee等人设计了一种增强型内窥镜手术系统MASTER，该系统专门为内镜手术和内窥镜黏膜剥离手术而设计。[12]其主控台如下图所示，它可以视作一个多自由度的操作杆，将用户的偏转运动映射到末端执行器，对于平移自由度，需要通过操作者推拉手套控制，末端执行器为一个钩子和电烙铁，通过主控台底部的踏板控制。相比于Da Vinci手术系统，主控台的尺寸得到了很大程度上的压缩，大约为30x60x100 大，制造的成本也大大降低，但类似于操作杆的非直觉操控设计会限制医生手部的灵活操作运动，存在一定的手术风险。  图 6：- 主控制台  图2 （左）内窥镜手术系统MASTER （右）柔性手术机器人K-FLEX操作端  此后十年内又有多种内窥镜手术机器人平台被提出，DDES[13],Cobra[14]和EndoSAMURAI[15]，虽然这些平台已经能够使用末端执行器完成特定手术任务，但是其控制模式需要大量人力同时控制多个组件，操纵者之间沟通效率会严重影响手术效率。韩国科学技术学院在2020年报道了一种基于内窥镜柔性机器人平台K-FLEX[16]，其巧主控台设计支持单个操作者完成复杂手术任务，简洁的结构设计避免了自由度上的冗余浪费，同时符合医生手术时所需的直觉控制，便于上手。但该平台目前处于初步阶段，因此在界面功能完备程度上与商用手术机器人系统还有较大距离，同时由于内窥镜手术机器人平台两个柔性臂之间距离过于贴近，且没有在操纵端设计双臂展开的结构，该机器人末端无法提供外科手术所必需的三角形区域，导致手术动作的灵活性较差。  随着动态捕捉和VR技术的发展，有学者提出使用动态捕捉技术代替传统的连杆结构记录操作者的手部动作。意大利比萨大学的学者Santos, L.提出使用传感手套来操纵腹腔手术的机器人，通过识别外科医生的手部运动来引导协作机器人。[17]这种手套结合了压阻式传感器，可以持续捕捉外科医生的弯曲程度。这种技术被认为在未来是一种可行的方法，但是目前主流手术机器人操纵端仍沿用连杆结构，因为动态捕捉在精度上和传统机械结构仍存在较大的差距，无法避免较大的噪声干扰。  技术 06 00008 g002 550  图3应用手术机器人操纵端的传感手套  **国内研究概况**  由于国内手术机器人系统的研发起步较晚，且国外在该项目申请了许多专利导致技术上的垄断，过去二十年内，国内自主研发的手术机器人系统较少，较为著名的是由天津大学，南开大学和天津医科大学总医院合作研发的手术机器人系统，MicroHandA[18]，为我国自主研制的第一台面向胸腹腔微创手术的机器人系统，与Da Vinci系统类似，具有主控台和执行端两部分，其中主控台也包括向医生提供病人手术场景信息的立体图像显示窗口，对系统进行各项设置的控制面板，用于手术操作进行调整的脚踏开关，以及跟随操作者控制指令的两套主操作手系统，其特点是具有自重平衡特征，能够提供三个运动方向的力反馈。    图4 天津大学手术机器人系统MicroHandA操纵端  刚性微创手术机器人在过去20年得到了很大程度的发展，而柔性手术机器人仍是一种新兴的手术装备，有望在消化道等自然内腔体手术中大展拳脚，柔性手术机器人对应的控制台研发也处于较为空白的状态，因此研发一款简洁、直观、便于使用的柔性手术机器人控制器是很有意义的。   1. **研究方法**   研究主要分为四个模块，包括操纵端的机械结构设计、操作者手部姿态捕获传感模块设计、操作端与执行端运动学模型的建立，以及最终控制效果仿真平台的搭建：  **3.1机械结构设计**  设计不影响手术医生上肢自由运动的运动采集机构，使得柔性手术机械臂及其末端夹持器的运动能通过人体的肘关节、腕关节以及手指的运动直觉控制，也即人体肘、手腕动作与手指开闭动作能同步按比例映射到柔性臂及其末端执行器的运动，协助手术医生更安全、方便的开展消化道微创手术。  根据末端柔性执行器所具有的自由度如下图，操纵端结构的设计至少包括跟随手腕上下、左右偏转的连杆结构，对应执行端两个偏转自由度，在图中为、坐标系；检测指端开合和旋转的结构，对应执行器开闭和绕轴转动的自由度，在图中为、坐标系；跟随手臂开合的结构设计，对应两个并行柔性臂手术伸展行为，以提供手术所需三角性，在图中为坐标系；以及跟随手部前后伸缩的结构设计，对应两个柔性臂前后伸缩功能，在图中为坐标系。    图5 柔性机械臂自由度模型  **3.2传感与驱动模块设计：**  在机械结构设计的基础上，在关节处设置旋转编码器或配有编码器的电机，检测每个转动关节实时转动的角度，对于平动自由度，可通过结构设计将平动的距离转变为编码器转动的角度。使用STM32单片机作为编码器数据收集器，并将从编码器测得的数据通过串口等通信方式发送到工控机进行处理，并通过控制系统转化为所期望机器人末端运动的控制信号的过程。  手部运动检测传感模块主要需要满足两个指标：   1. 能够高灵敏度、高精度地采集测量手术医生肘关节、腕关节和手指的动作； 2. 引入滤波算法，过滤到人肢体不自主的抖动，按映射关系转化为电机驱动系统的控制指令，实现柔性机械臂和末端执行器与操纵端的同步运动。   **3.3 主从端运动学模型建立**  使用DH方法建立主控制器部分机构的运动学模型，并结合传感器测量的数据，实时计算操作者手臂与手位置和姿态的变化。结合已有的执行端柔性机器人运动学模型，建立适合坐标变换关系和主从映射关系，将操作者手部的动作映射到执行端；考虑手术中需要应对运动幅度不同的任务，因此需要添加映射缩放环节，通过类似于离合器的结构以调节缩放因子的大小，实现不同精度的运动。  **3.4 仿真平台的搭建**  由于特殊原因，目前无法使用实体柔性臂进行测试验证，因此需要借助仿真平台，搭建虚拟执行器，并使用操纵端输出的数据配合仿真执行端来验证操纵效果。如时间剩余，可搭建完整的人机交互界面，为后续手术机器人投入商业使用做准备。   1. **思路与预期成果**   研究思路如下：本项目计划设计一种内窥镜末端搭载两个微型连续体机械臂的手术机器人操纵端，采用主从控制方式，将外科手术医生手臂与手的动作以直觉的方式映射为柔性臂及其末端夹持机构的动作，结合内窥镜提供的高清视频图像，协助外科外科医生开展消化道的微创手术。  预期成果包括但不仅限于如下：   * 完成机械结构设计与布局 * 搭建初步实物平台 * 推导建立理论运动学模型和映射关系 * 完成仿真平台调试 * 撰写毕业设计论文  1. **任务完成阶段内容及时间安排**   项目每个阶段任务安排以及时间规划如下表：   |  |  | | --- | --- | | 时间节点 | 工作安排 | | 2022\_11.15-11.30 | 阅读文献 | | 2022\_11.30-12.30 | 完成机械结构设计、购买所需材料、搭建平台、建立运动学模型和映射关系 | | 2023\_1.1-1.15 | 开题报告与答辩 | | 2023\_2.15-3.10 | 完成传感模块硬件搭建与调试 | | 2023\_3.10 -3.20 | 完成中期答辩、提交中期检查报告 | | 2023\_3.20-4.5 | 完成仿真平台搭建，验证项目可行性 | | 2023\_4.5-4.20 | 撰写毕业论文，提交查重 | | 2023\_5 | 最终答辩 |  1. **完成毕业设计所具备的条件因素**   上述任务所需的技术均有相关理论支持，目前也有一些公司研究发布了相关产品专利，如达芬奇手术机器人控制平台，因此理论上可行。且项目有一定的前期准备工作基础，已经完成了机械机构设计，平台初步搭建以及运动学模型的构建；同时所在课题组具有完备的实验测试环境，指导老师在人体机电一体化上有深度的研究，所以项目具有相当的可行性。  **Reference:**   1. Kumar A, Yadav N, Singh S, et al. Minimally invasive (endoscopic-computer assisted) surgery: Technique and review[J]. Annals of maxillofacial surgery, 2016, 6(2): 159. 2. Walker A S, Steele S R. The future of robotic instruments in colon and rectal surgery[C]//Seminars in Colon and Rectal Surgery. WB Saunders, 2016, 27(3): 144-149. 3. Jianmin L. Mechanism Design and Master-Slave Mapping Strategy of Minimally Invasive Surgical Rob [D][J]. Tian Jin: Tian Jin University, 2012. 4. Gupta G S, Mukhopadhyay S C, Messom C H, et al. Master–slave control of a teleoperated anthropomorphic robotic arm with gripping force sensing[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2006, 55(6): 2136-2145. 5. Omisore O M, Han S, Xiong J, et al. A review on flexible robotic systems for minimally invasive surgery[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2020, 52(1): 631-644. 6. Uttal W R. Teleoperators[J]. Scientific American, 1989, 261(6): 124-129. 7. Miyazaki F, Matsubayashi S, Yoshimi T, et al. A new control methodology toward advanced teleoperation of master-slave robot systems[C]//Proceedings. 1986 IEEE International Conference on Robotics and Automation. IEEE, 1986, 3: 997-1002. 8. Serafini P, Guazzelli E, Schrefler B, et al. Design of Master-Slave Manipulators: Biotechnical Aspects[J]. On Theory and Practice of Robots and Manipulators: Volume I, 1974: 231-240. 9. Alessandrini M, De Padova A, Napolitano B, et al. The AESOP robot system for video-assisted rigid endoscopic laryngosurgery[J]. European Archives of Oto-rhino-laryngology, 2008, 265: 1121-1123. 10. Gary S. The intuitive telesurgery system: Overview and application[J]. ICRA2000, San Francisco, 2000. 11. Simorov A, Otte R S, Kopietz C M, et al. Review of surgical robotics user interface: what is the best way to control robotic surgery?[J]. Surgical endoscopy, 2012, 26: 2117-2125. 12. Phee, S. J., Low, S. C., Huynh, V. A., Kencana, A. P., Sun, Z. L., & Yang, K. (2009, September). Phee S J, Low S C, Huynh V A, et al. Master and slave transluminal endoscopic robot (MASTER) for natural orifice transluminal endoscopic surgery[C]//2009 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE, 2009: 1192-1195. 13. Thompson C C, Ryou M, Soper N J, et al. Evaluation of a manually driven, multitasking platform for complex endoluminal and natural orifice transluminal endoscopic surgery applications (with video)[J]. Gastrointestinal endoscopy, 2009, 70(1): 121-125. 14. Swanstrom L L, Kozarek R, Pasricha P J, et al. Development of a new access device for transgastric surgery[J]. Journal of gastrointestinal surgery, 2005, 9(8): 1129-1137. 15. Fuchs K H, Breithaupt W. Transgastric small bowel resection with the new multitasking platform EndoSAMURAI™ for natural orifice transluminal endoscopic surgery[J]. Surgical endoscopy, 2012, 26: 2281-2287. 16. Hwang M, Kwon D S. K‐FLEX: a flexible robotic platform for scar‐free endoscopic surgery[J]. The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery, 2020, 16(2): e2078. 17. Santos L, Carbonaro N, Tognetti A, et al. Dynamic gesture recognition using a smart glove in hand-assisted laparoscopic surgery[J]. Technologies, 2018, 6(1): 8. 18. Wang W, Li J, Wang S, et al. System design and animal experiment study of a novel minimally invasive surgical robot[J]. The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery, 2016, 12(1): 73-84.     学生（签名）：  2023年 2月15日 | | | | | |
| 指导教师意见：  研究内容明确，研究路线基本可行，开展相关工作的条件具备，同意开题。    指导教师（签名）：  2023年 2月 16日 | | | | | |
| 系/研究中心毕业设计（论文）工作小组审定意见：  主任（签名）：  年 月 日 | | | | | |

备注：题目类型：A 理论研究；B 应用研究；C 综合训练。

题目来源：A 指导教师出题 ； B 学生自定、自拟。