

华中科技大学

本科生毕业设计（论文）开题报告

题 目：_____基于光纤光栅的数据手套系统设计_____

院 系 _____机械科学与工程学院_____

专业班级 _____测控 1801 班_____

姓 名 _____林思源_____

学 号 _____U201815938_____

指导教师 _____陈文斌_____

二〇二二年一月

开题报告填写要求

一、 开题报告主要内容：

1. 课题来源、目的、意义。
2. 国内外研究现况及发展趋势。
3. 预计达到的目标、关键理论和技术、主要研究内容、完成课题的方案及主要措施。
4. 课题研究进度安排。
5. 主要参考文献。

二、 报告内容用小四号宋体字编辑，采用 A4 号纸双面打印，封面与封底采用浅蓝色封面纸（卡纸）打印。要求内容明确，语句通顺。

三、 指导教师评语、教研室（系、所）或开题报告答辩小组审核意见用蓝、黑钢笔手写或小四号宋体字编辑，签名必须手写。

四、 理、工、医类要求字数在 3000 字左右，文、管类要求字数在 2000 字左右。

五、 开题报告应在第七学期第十九周之前完成。

一、课题的背景及研究的目的和意义

数据手套作为一种可以实现人机交互的设备，具有捕捉数据的能力，可被用于手指姿态估计和运动跟踪。数据的获取需要依赖传感器，目前研究中常用的数据手套传感器方案及其特点如表 1：

表 1 数据手套传感器方案及其特点

传感器方案	特点
光学传感器（视觉） ^{[2][3][4]}	①摄像机安装空间受限； ②手部遮挡会无法识别； ③高分辨率镜头成本高
惯性传感器 ^{[5][6][7][8]}	①随开随用； ②容易出现漂移和干扰； ③每次使用需要重新校正
应变片传感器 ^{[9][10][11][12][13]}	①线性度差，重复精度不高 ②结构强度低，穿戴过程中易损坏。
磁传感器 ^{[14][15]}	①容易受到周围电磁场的信号影响； ②由于噪声过滤采样率不高
光纤传感器 ^{[16][17][18][19][20][21][22][23]}	①精度较高，稳定性好 ②不受电磁干扰影响 ③几何适应性好 ④小尺寸，易于嵌入

通过上表可知，在所有传感器方案中，光纤传感器相对其他传感器具有许多优点，它也被认为是最具有潜力的技术之一^[24]。光纤光栅（FBG）属于光纤的一种，它是在光纤基础上写入光栅，使纤芯折射率产生周期性变化，其传感原理是：当 FBG 被宽带光源照射时，一个非常窄的光谱带被反射，其余光透射，反射光谱的中心波长称为布拉格波长（ λ_B ），当外部发生温度、压力等变化时，光纤发生变形（弯曲、拉伸），引起光纤有效折射率和光栅周期等参数发生变化，从而导致布拉格波长发生偏移，通过检测布拉格波长的偏移量即可实现对物理量（关节弯曲角度）的传感^[25]。其传感原理如图 1 所示。利用光纤光栅制作的数据手套可应用于最基本手部动作的捕捉^[16]，也可为医学的康复训练提供新的方案和思路^[21]。

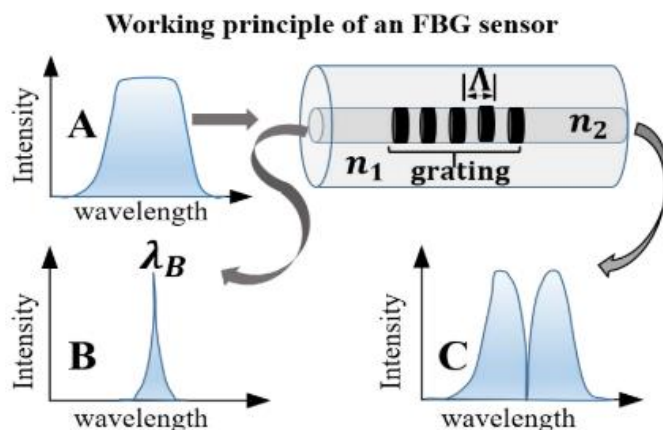


图 1 光纤光栅的传感原理^[20]

(1) **手部动作捕捉**：人的手部共有 27 个自由度^[1]，具有相当高的灵活性，传统的手部动作捕捉依赖非光纤传感器，精度不高，容易受到干扰。光纤光栅有望解决以上问题，且可同时测量多关节的动作，测量空间不受限制，有利于测量仪器的小型化和便携化。目前基于光纤光栅研制的数字手套已能很好地监测手指的屈伸^[16]，但是能够监测手指的外展/内收的方案却较少，功能还有进一步完善的空间。

(2) **医学康复训练**：对于残疾患者来说，手部运动是主要的残疾之一。医学康复训练过程中，患者通过握拳、拾取物体等动作刺激手部运动。对手部运动的评估很重要的一点是关节的活动范围，传统的方式是利用机械量角器，放在各个手指关节上测量弯曲的角度，但这种方法会受到视差的人为因素的影响，而且这更适合于静态而非动态测量，康复治疗师对于康复的结果也较为主观。而利用数字手套进行康复训练，便于穿戴，通过传感测量也能较好地分析康复效果，同时也可和其他辅助康复设备共同使用。把可穿戴手套同软件执行器结合辅助康复也是一个前沿的方向^[21]。

总而言之，设计一款结构紧凑、穿戴舒适、可实时监测的基于光纤光栅的数字手套是很有意义的。

二、国内外研究现状及发展趋势

世界上第一个光纤光栅于 1978 年被加拿大通信研究中心的 Hill 研制^[26]，但利用光纤光栅制备数字手套，最早是在 2011 年^[16]，由 Da Silva 提出，他利用一根光纤集成 14 个光纤光栅曲线集成于可拉伸的 PVC 层中，并布局于手套顶部，同

时建立了基于手部三维模型的动作捕捉系统，但是由于传感器集成在一个 PVC 层中，限制了手部的活动，该手套只能检测手的屈伸运动，而无法检测手的外展/内收活动，而且验证测量角度，利用的是木工角尺，存在人为读数的误差，评估方式也可进行改进。



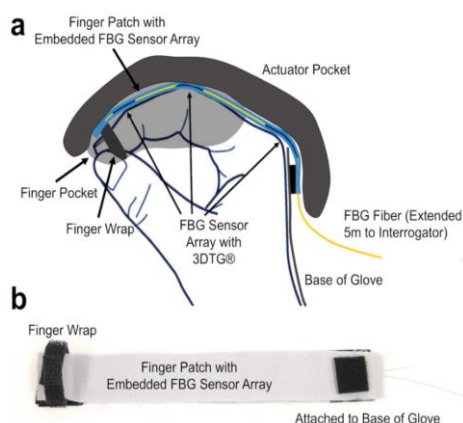
(a) FBG 手套（集成于 PVC）



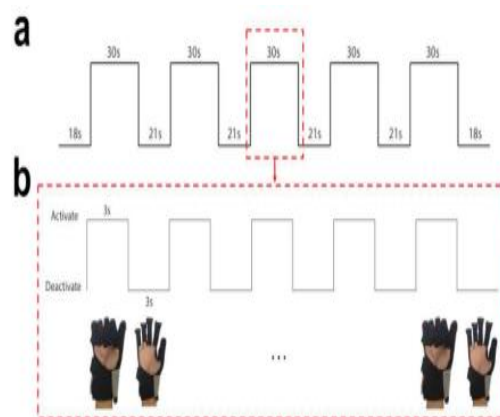
(b) 基于手套的动作捕捉系统

图 2 Da Silva 提出的基于光纤光栅的数据手套

Yap 等人为康复医疗开发了一款柔性的可穿戴机器人手套（硅胶软体制动器）^[21]，并在其中集成了光纤光栅传感器来跟踪手部运动，光纤光栅采取分布式的结构，一根手指一根光纤进行布局。作者利用该手套进行了屈伸的训练，跟踪效果良好。但只集成了除拇指外的四根手指，对于拇指没有进行监测，而且同样没有关注除了手指屈伸以外的动作。



(a) 柔性可穿戴手套(集成 FBG)



(b) 基于手套的康复训练（手指屈伸）

图 3 Yap H K 提出的嵌入 FBG 的柔性可穿戴手套

Jiang Y 利用一根光纤集成了可以监测多物理量的多功能数据手套，测量物理量包括关节弯曲曲率、腕部旋转角、接触力以及温度，并且开发了用于 AR 的动作

捕捉系统，但利用光纤光栅测量各个传感量的具体方法不同，对于传感器的布置要求也有较高的要求。

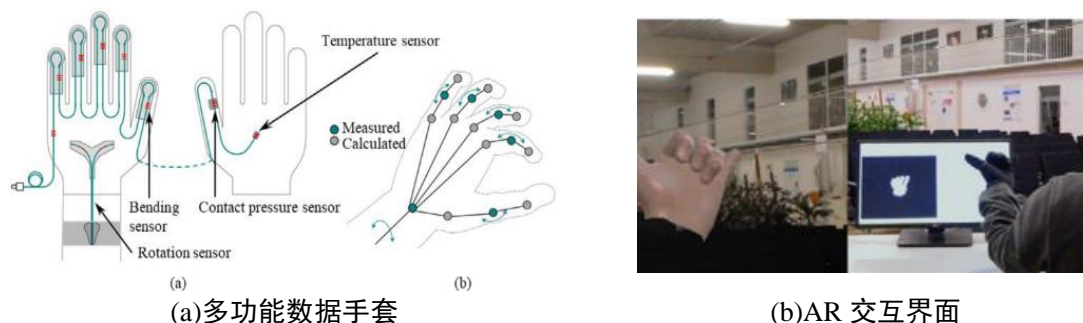


图 4 Jiang Y 提出的光纤光栅多功能数据手套

Jha 等人利用 FBG 集成了一款用于中风患者上肢康复的手套^[20]，角度分辨率达到 0.1° ，可以同时测量十个手指关节的运动范围。该手套可以通过 VR 游戏平台对中风患者运动质量和康复进展进行跟踪，但手套不够稳定，需要穿戴 10 分钟以后手套数据才能保证有效。Jun 等人开发了 FBG 传感器手套的模块^[23]，并且研究了穿戴数据解算的算法优化，使得不同手型的用户穿戴都能身达到很高的精度。但为了实现高精度的实时计算，FBG 应变传感器根据手的大小和关节的弯曲情况不断移动和调整，操作较为麻烦。

相较于国外，国内关于光纤光栅数据手套研究不多，主要也是利用分布式结构，测量功能也只是关注手指关节的屈伸，监测功能还有待提高。相较于国外使用光纤嵌入式设计多使用胶水进行固定，穿戴时容易发生松动，且受到胶水不均匀的影响，测量可靠性不高^{[27][28][29]}。

三、关键理论和技术

（1）光纤光栅传感器封装和手套制作

裸光纤直径小于 0.1mm ，要适应手指的弯曲，需要对其进行封装，否则容易发生断裂^[16]，需选定合适的包覆材料（如聚氨酯和硅酮），然后将材料通过比例混合、3D 打印、模具成型、加热固化等工艺进行加工，制作可以适配数据手套的光纤光栅传感器。考虑进行波分复用，通过波长区分不同位置的传感器，将这些传感器进行组合，便能得到一个适用于数据手套的光纤光栅传感器系统。

（2）弯曲角度-布拉格波长变化量关系确定

对光纤光栅的反射光谱进行信号解调，记录布拉格波长的偏移量。其中布拉格波长的确定需要运用寻峰算法，常见的有质心法、高斯拟合法、三次样条插值

等，对采集的反射光谱需要采用合适的算法获取布拉格波长，以标定建立弯曲角度（曲率）-布拉格波长变化量的关系。方便后续手套穿戴实验测量。

（3）数据手套的测试和校正

基于数据手套的优劣性指标，对数据手套进行测试，对手部实际动作的真实数据和由数据手套获取的测量数据进行比对，考虑误差因素，采取合适的方法进行误差的校正。

（4）配套软件交互界面实现

设计人机交互界面，对数据手套捕捉动作进行可视化操作，后续还可二次开发，加入无线通讯、蓝牙等多种模块，继续开拓数据手套的功能。

四、预期目标

基于光纤光栅布拉格波长随传感量变化而发生漂移的原理，设计基于光纤光栅的数据手套系统。通过建立光纤光栅反射波长和手指弯曲角度（曲率）之间的关系，获取手部运动姿态，从而实现人机交互。

五、主要研究内容

采取合适的材料和工艺对光纤光栅进行封装，建立光纤光栅反射波长和手指弯曲角度（曲率）之间的关系及模型，设计波长解调系统，对解调信号进行信号处理与分析，最后设计交互界面进行人机交互，完成基于光纤光栅的数据手套系统的搭建与验证。

六、课题研究进度安排

表 2 课题研究进度安排表

学期	周次	工作任务
2021-2022 第一学期	13 周—19 周	开题报告、文献翻译、开题答辩，了解基本原理，购买所需器件材料
2021-2022 第二学期	1 周——14 周	弯曲角度-布拉格波长关系建立，设计波长解调系统和交互界面，结合实验完成手套系统搭建

七、主要参考文献

- [1] Agur A M R, Dalley A F. Grant's atlas of anatomy[M]. Lippincott Williams & Wilkins, 2009.
- [2] Wang R Y, Popović J. Real-time hand-tracking with a color glove[J]. ACM

- transactions on graphics (TOG), 2009, 28(3): 1-8.
- [3] Tubaiz N, Shanableh T, Assaleh K. Glove-based continuous Arabic sign language recognition in user-dependent mode[J]. IEEE Transactions on Human-Machine Systems, 2015, 45(4): 526-533.
- [4] 吕美玉,侯文君,陈军.基于数据手套和双目视觉技术的虚拟手势及其空间位置跟踪[J].北京邮电大学学报,2012,35(06):50-54.
- [5] Lin B S, Lee I J, Chen J L. Novel assembled sensorized glove platform for comprehensive hand function assessment by using inertial sensors and force sensing resistors[J]. IEEE Sensors Journal, 2019, 20(6): 3379-3389.
- [6] Chang H T, Chang J Y. Sensor glove based on novel inertial sensor fusion control algorithm for 3-D real-time hand gestures measurements[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2019, 67(1): 658-666.
- [7] Lin B S, Lee I J, Hsiao P C, et al. An assessment system for post-stroke manual dexterity using principal component analysis and logistic regression[J]. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, 2019, 27(8): 1626-1634.
- [8] Connolly J, Condell J, O'Flynn B, et al. IMU sensor-based electronic goniometric glove for clinical finger movement analysis[J]. IEEE Sensors Journal, 2017, 18(3): 1273-1281.
- [9] Sbernini L, Quitadamo L R, Riillo F, et al. Sensory-glove-based open surgery skill evaluation[J]. IEEE Transactions on Human-Machine Systems, 2018, 48(2): 213-218.
- [10] Saggio G, Riillo F, Sbernini L, et al. Resistive flex sensors: a survey[J]. Smart Materials and Structures, 2015, 25(1): 013001.
- [11] Chuang W C, Hwang W J, Tai T M, et al. Continuous finger gesture recognition based on flex sensors[J]. Sensors, 2019, 19(18): 3986.
- [12] Oess N P, Wanek J, Curt A. Design and evaluation of a low-cost instrumented glove for hand function assessment[J]. Journal of neuroengineering and rehabilitation, 2012, 9(1): 1-11.
- [13] Borghetti M, Sardini E, Serpelloni M. Sensorized glove for measuring hand finger

- flexion for rehabilitation purposes[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2013, 62(12): 3308-3314.
- [14]Fahn C S, Sun H. Development of a data glove with reducing sensors based on magnetic induction[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2005, 52(2): 585-594.
- [15]Fahn C S, Sun H. Development of a fingertip glove equipped with magnetic tracking sensors[J]. Sensors, 2010, 10(2): 1119-1140.
- [16]Da Silva A F, Gonçalves A F, Mendes P M, et al. FBG sensing glove for monitoring hand posture[J]. IEEE Sensors Journal, 2011, 11(10): 2442-2448.
- [17]Nishiyama M, Watanabe K. Wearable sensing glove with embedded hetero-core fiber-optic nerves for unconstrained hand motion capture[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2009, 58(12): 3995-4000.
- [18]Fujiwara E, dos Santos M F M, Suzuki C K. Flexible optical fiber bending transducer for application in glove-based sensors[J]. IEEE Sensors Journal, 2014, 14(10): 3631-3636.
- [19]Wang L, Meydan T, Williams P. Design and evaluation of a 3-D printed optical sensor for monitoring finger flexion[J]. IEEE sensors journal, 2017, 17(6): 1937-1944.
- [20]Jha C K, Gajapure K, Chakraborty A L. Design and evaluation of an FBG sensor-based glove to simultaneously monitor flexure of ten finger joints[J]. IEEE Sensors Journal, 2020, 21(6): 7620-7630.
- [21]Yap H K, Kamaldin N, Lim J H, et al. A magnetic resonance compatible soft wearable robotic glove for hand rehabilitation and brain imaging[J]. IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering, 2016, 25(6): 782-793.
- [22]Jiang Y, Reimer V, Schossig T, et al. Fiber optical multifunctional human-machine interface for motion capture, temperature, and contact force monitoring[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2020, 128: 106018.
- [23]Kim J S, Kim B K, Jang M, et al. Wearable hand module and real-time tracking algorithms for measuring finger joint angles of different hand sizes with high

- accuracy using FBG strain sensor[J]. Sensors, 2020, 20(7): 1921.
- [24]Lee B. Review of the present status of optical fiber sensors[J]. Optical fiber technology, 2003, 9(2): 57-79.
- [25]Kersey A D, Davis M A, Patrick H J, et al. Fiber grating sensors[J]. Journal of lightwave technology, 1997, 15(8): 1442-1463.
- [26]Hill K O, Fujii Y, Johnson D C, et al. Photosensitivity in optical fiber waveguides: Application to reflection filter fabrication[J]. Applied physics letters, 1978, 32(10): 647-649.
- [27]韩晓红,刘月明,严红梅,施阳阳. 一种具有 FBG 编织手指弯曲检测功能的智能手套[P]. 浙江: CN206852105U,2018-01-09.
- [28]杨玉志,胡宁,徐昇,徐燕,张新华. 基于光纤光栅的数据手套及交互系统[P]. 江苏: CN206696817U,2017-12-01.
- [29]张一帆,韩艳杰,洪成雨,张佩华. 一种基于布拉格光纤传感器的智能医用监护手套及系统[P]. 上海: CN107198276A,2017-09-26.