**摘要**

本课题设计了一种针对便携式摄影摄像设备的三轴手持云台。系统采用嵌入式微控制器STM32F103作为主控单元，6轴运动处理传感器MPU6050作为姿态反馈单元，三相无刷直流电机作为运动抵消单元，实现摄影摄像设备的稳定拍摄。为了验证该系统的可靠性，人体手持此云台进行跑步等运动，拍摄结果表明该云台已满足实验要求。

**关键词** 便携式、三轴、手持、云台

**Abstract**

The issue designed a three-axis hand-held pan-tilt for portable photographic cameras. The system uses the embedded microcontroller STM32F103 as the main control unit, the 6-axis motion processing sensor MPU6050 as the attitude feedback unit, the three-phase brushless DC motor as the motion cancellation unit, to achieve stable shooting of photographic cameras. In order to verify the reliability of the system, a human held the pan-tilt while ran or did other sports, the results show that the pan-tilt has fulfilled the experimental requirements.

**Keywords**  Portable, Three-axis, Hand-held, Pan-tilt

**目 录**

[第1章 绪论 1](#_Toc480149866)

[1.1 课题研究背景及意义 1](#_Toc480149867)

[1.2 相关课题的发展及现状 1](#_Toc480149868)

[第2章 系统结构和工作原理 3](#_Toc480149869)

[2.1 控制器系统结构 3](#_Toc480149870)

[2.2 三轴云台工作原理 3](#_Toc480149871)

[第3章 系统姿态解算 5](#_Toc480149872)

[3.1 IIC通讯协议简介 5](#_Toc480149873)

[3.2 参考坐标系 5](#_Toc480149874)

[3.3 姿态解算算法 5](#_Toc480149875)

[第4章 系统姿态控制 6](#_Toc480149876)

[4.1 俯仰和滚转控制 6](#_Toc480149877)

[4.2 偏航控制 6](#_Toc480149878)

[第5章 三相无刷直流电机控制 7](#_Toc480149879)

[5.1 无刷电机工作原理 7](#_Toc480149880)

[5.2 无刷电机控制方法 7](#_Toc480149881)

[第6章 手控输入控制 8](#_Toc480149882)

[6.1 按键控制 8](#_Toc480149883)

[6.2 摇杆控制 8](#_Toc480149884)

[第7章 锂电池电压管理 9](#_Toc480149885)

[7.1 锂电池简介 9](#_Toc480149886)

[7.2 锂电池电压采集 9](#_Toc480149887)

[7.3 锂电池电压管理 9](#_Toc480149888)

[第8章 云台结构设计 10](#_Toc480149889)

[8.1 SolidWorks简介 10](#_Toc480149890)

[8.2 3D打印技术 10](#_Toc480149891)

[第9章 实验结果与分析 11](#_Toc480149892)

[结 束 语 12](#_Toc480149893)

[参考文献 13](#_Toc480149894)

[致 谢 14](#_Toc480149895)

[附录 15](#_Toc480149896)

[云台控制板原理图与PCB布线图 15](#_Toc480149897)

[附录1——基于BP网络的设备状态分类器设计的完整的MATLAB代码 15](#_Toc480149898)

[附录2——基于RBF网络的船用柴油机故障诊断的完整的MATLAB代码 16](#_Toc480149899)

# 绪论

## **课题研究背景及意义**

近年来，随着科技的发展和生活水平的提高，手持通讯设备手机的性能逐步增强，普及率逐步提高，越来越广泛地被应用于摄影摄像、视频通话、视频直播等领域。在这些使用领域中，由于人体直接手持设备在运动过程中产生的振动，会使可移动设备对焦不准和画面模糊，是一项需要克服的难题。人们在生活中发现，鸟类的前庭眼反射机能能使视线内的目标处于稳定状态，俗称“鸡头稳定”，受此启发，自稳云台应运而生。[1]

目前市面上的自稳云台产品越来越多，但主要是针对专业用途，如摄像机稳定器、光电吊舱、四轴航拍器等。这些云台有的结构复杂难以便携使用，有的是价格昂贵难以普及应用。业界不乏对自稳云台的研究，但在便携式的小型云台的应用方面较少。这类小型云台可用于手机、运动相机、汽车行驶记录仪等，通过实时补偿拍摄设备的颠簸和抖动，在运动中捕捉清晰、稳定的影像，摆脱模糊的画面、歪斜的构图和杂乱无章的摇晃镜头。

基于此类实际应用需求的考虑，在研究的过程中采用模块化的设计思路，尽可能减小云台尺寸，简化云台结构设计，降低云台的成本，提升系统的稳定性。

## **相关课题的发展及现状**

自稳云台的发展从纯机械式云台、半自动化的模拟云台到如今的全自动化数字电控云台，云台的控制系统综合了电机控制技术、传感器检测技术、微机电技术、捷联惯导技术和自动控制理论等多门学科。

自稳云台目前已主要应用与无人机上，广泛应用到航拍、勘测、现代农林业航空作业、电力和石油管道无人机巡线、自然灾害航空评估、自主侦察和电子对抗等各个方面，而无人机空中摄影则是应用最为广泛的一面。[2]

大疆（DJI）当属无人机届翘楚，多年来凭借出色的航拍飞行器系列产品获得广大消费者的认可，其高品质的机载云台系统和航拍相机也备受瞩目。在2015 CES大展上，大疆首次将专业级航拍体验延伸到地面，正式推出灵眸Osmo手持云台相机，与众运动相机和三轴手持云台展开直接竞争。该机具备手持式三轴万向节稳定技术，俯仰、滚转、偏航轴可控角度分别为170°、100°、640°，最大控制转速为120°/s，内置980mAh容量电池，支持一个小时左右的拍摄，如图1-2-1所示。

图1-2-1 灵眸Osmo手持云台相机

Snappa Go是另一款手持云台稳定器，转为GoPro运动相机量身设计，是第一款具有集成控制功能，同时能控制GoPro相机和云台本身的手持云台稳定器,通过Snoppa自主开发的三轴增稳算法技术，可以时刻保持相机的平衡与流畅过渡，获得了2016近点设计奖年度最佳设计奖，如图1-2-2所示。

图1-2-2 Snappa Go手持云台稳定器

这些云台主要面对的是高端市场，对大众用户来说显得可望而不可及。从国内其他行业特点来看，大众需求是一个不可忽视的环节，是兵家必争之地，手持云台在此方面也同样具有广阔市场空间。一方面拍录早已成为刚需，另一方面大众用户需求庞大，这为手持云台实现大众化并做到全民普及打下先决基础与条件。未来两年手持云台将迎来爆发式增长。

# 系统结构和工作原理

## **控制器系统结构**

根据云台控制器的功能要求，本课题设计的云台控制系统主要由主控单元、姿态反馈单元、运动抵消单元、手控输入单元、电源管理单元五部分组成，如图2-1-1所示。



图2-1-1 控制器系统结构

主控单元由主控器STM32F103RCT6构成，如图2-1-2所示。此IC内核是ARM 32位Cortex-M3 CPU，工作频率最高可达72MHz，具有64个外部引脚、256KB Flash和48KB SRAM，支持I2C、SPI、UART/USART等基本通信协议。

图2-1-2 STM32F103RCT6

姿态反馈单元由两个MPU6050组成，MPU6050#1主要用于俯仰角Pitch和滚转角Roll的获取， #2主要用于偏航角Yaw的计算。MPU6050#1提供的姿态可直接用于俯仰和滚转电机的控制，#1和#2结合计算出来的角度差和#2的角速度用于偏航电机的控制。

运动抵消单元是由三个无刷直流电机（BLDCM，Brushless Direct Current Motor）和三个半H桥驱动器DRV8313构成。

手控输入单元主要由一个自复位按键KEY和一个摇杆模块Rocker构成，用于速度控制、角度控制等。

电源管理单元由一个3s 11.1V 850mAh的锂电池LiPo、一个电源开关、两个LED指示灯和一个有源蜂鸣器Buzzer构成。绿色LED作为上电系统运行指示灯，红色LED和蜂鸣器用于锂电池低电压告警。

## **三轴云台工作原理**

本课题设计的手持三轴自稳云台是一种搭载手持摄影摄像设备（下称“相机”）的具有俯仰、滚转、偏航3个自由度的装置。相机固定于云台上，通过捷联惯导技术，解算出来的云台姿态即是相机姿态。当云台工作时受到外界环境影响产生震动或角度偏移时，安装在相机底部的姿态控制元件将感知相机角度偏差，通过主控器计算得到姿态控制量，控制电机对偏移角度进行修正。当俯仰轴、滚转轴和偏航轴中任一一轴的转动角度偏差大于可控角度时，则该轴电机将停止运动。当角度偏差进入可控范围时，便可再继续控制。姿态控制流程图如图2-2所示。

所以，当人体手持云台在水平、垂直和旋转三个方向上运动时，给相机带来相同的运动，这样就能通过控制云台的运动来抵消人体带来的振动，使相机保持稳定，提高了相机的拍摄质量。[3]

图2-2 姿态控制流程图

# 系统姿态解算

## **惯性测量单元**

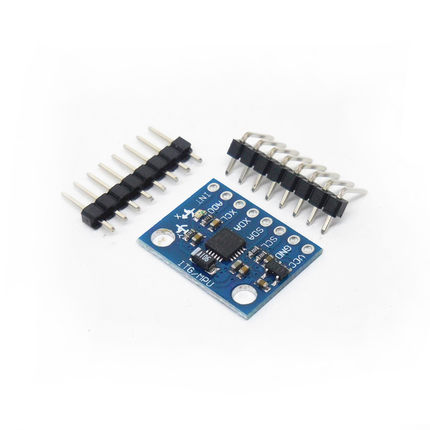
姿态反馈单元是云台控制部分的核心，其中的惯性测量单元采用的是MPU6050。MPU6050是全球首例整合三轴MEMS（微机电系统，Micro-Electro-Mechanical System）加速度计和三轴MEMS陀螺仪的运动处理组件，免除了组合陀螺仪与加速度时间轴之差的问题，还有一个可扩展的数字运动处理器DMP，可用I2C接口连接一个第三方数字传感器，减少了大量的封装空间，传感器模块外型如图3-1-1所示，电路原理图如图3-1-2所示。

图3-1-1 惯性测量单元MPU6050

图3-1-2 MPU6050电路原理图

MPU6050拥有117个寄存器，可通过程序对寄存器进行配置，改变传感器输出。地址0x1B的GYRO\_CONFIG寄存器，可编程配置陀螺仪的满量程范围，可配置的范围有±250、±500、±1000、±2000°/s（dps），本课题选择的是±2000°/s。地址0x1C的ACCEL\_CONFIG寄存器，可编程配置加速度计满量程方位，可配置的范围有±2g、±4g、±8g、±16g，本课题选择是±2g。MPU6050内嵌的温度传感器可通过读取0x41和0x42获得一个16位数值，可用于温度补偿。

与MPU6050的通信是基于I2C串行总线。I2C是两线的总线，由串行数据SDA线和串行时钟SCL线在连接到总线的器件间传递信息。每个器件都一个唯一的地址识别，而且都可以作为一个发送器或接收器（由器件的功能决定）。同时I2C是多主机的总线，数据传输速率在标准模式下可达100kbit/s，在快速模式下可达400Kbit/s，在高速模式下可达3.4Mbit/s。

STM32的硬件I2C尚且存在缺陷，不稳定，可能导致死机，故使用STM32的GPIO引脚模拟I2C。模拟I2C即是将引脚设为开漏输出，然后手动改变引脚电平来仿真I2C通信协议。

传输起始条件由唯一的主机产生，表示与从机的数据传输的开始。当SCL线保持高电平时，SDA线电平从高电平转换为低电平，即产生了起始信号。

传输停止条件也由主机产生，表示与从机的数据传输的结束。当SCL线保持高电平时，SDA线电平从低电平转换为高电平，即产生了停止信号。

通过I2C总线发送的每个字节（8 bits）之后要跟一个接收器的确认条件，即主机在拉低SCL线以完成一个字节的第8位传输之后，接收器在第9位的时间内将SDA线拉低或者拉高。拉低表示接收器正确接收到数据，为ACK；拉高则SDA线保持高电平，表示接收器未正确接收到数据，为NACK。如果缺少ACK信号，则从设备会中止传输进入空闲模式。

一次完整的I2C数据传输为，主机发送起始信号，发送从设备地址，地址为8位，前7位为器件地址，后1位表示，地址匹配的从设备发送ACK信号便与主机开始数据传输，每传输一个字节接收器件发送ACK，由主机发送停止信号或者接收设备发送NACK停止传输。完整的数据传输如图3-1-3所示。

图3-1-3 I2C完整的数据传输

## **参考坐标系**

## **姿态解算算法**

# 系统姿态控制

**本例中选用的是某设备中的减速箱，其目的是设计一个状态分类器，用于检测减速箱的当前状态。判断减速箱的当前状态是属于正常状态、异常状态还是故障状态。**

## **俯仰和滚转控制**

## **偏航控制**

# 三相无刷直流电机控制

**本例主要研究如何利用MATLAB神经网络工具箱，基于RBF网络进行柴油机的故障诊断。首先建立神经网络模型，然后收集某型号柴油机的征兆/样本集，采用一个单隐层的RBF网络对样本进行训练。最后，通过测试网络，验证该网络对于故障模式的识别准确率，并对故障严重程度进行定量预测。**

## **无刷电机工作原理**

## **无刷电机控制方法**

# 手控输入控制

## **按键控制**

## **摇杆控制**

# 锂电池电压管理

## **锂电池简介**

## **锂电池电压采集**

## **锂电池电压管理**

# 云台结构设计

## **SolidWorks简介**

## **3D打印技术**

# 实验结果与分析

# 结 束 语

**经过几个月的努力，我的毕业设计课题也终将告一段落了。这次的课题也是我大学生活的最后一次课题，为此我也尽心的去完成的，希望可以给我的大学生活划上一个完美的句号。**

**本次的课题所涉及的内容对我来说都是全新的。机械设备、故障诊断、神经网络，在以往的学习中都是没有接触过的。对于我而言，可以说是重新了解、重新认识、重新学习一门甚至几门新的知识，在这过程中我有不少的收获，让我了解和认识到了许多新的知识，增长了自己的见识。更重要的是，我从中提升了我的自学能力，搜索信息的能力以及接受新信息新知识的能力。**

**但也因此，我所涉及和学习到的也都只是皮毛而已。加上时间和个人能力的问题，本次的课题的完成也有许些不尽完善的地方。比如说对各种机械的认识不足，没办法采集到更多的样本数据，虽然建立的模型能够在实验中准确的诊断出故障问题，但是在实际应用中，仅靠我在本实验中的十几组样本数据是远远不够的。而神经网络的建立学习我也只涉及到了皮毛，故障诊断方面的知识我所学到的更是少的可怜，甚至不能说学到，只能算是有所了解。**

**随着毕业设计的结束，随着毕业论文的完成，我的大学生活渐渐地画上了句号，但是学习是永无止境的。在大学的学习生活中，在毕业设计中，我学到的不仅仅是知识，给我更多的是能力的培养和锻炼。大学所学的知识，所锻炼的能力都是我永恒的财富，它们将在以后的日子里陪伴着我，一直向前。**

# 参考文献

[1] 曹龙汉. 柴油机智能化故障诊断技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.

[2] 张来斌,王朝晖等. 机械设备故障诊断技术及方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000.

[3] 李葆文. 故障诊断逻辑与数学原理[M]. 广东高等教育出版社，1995.

[4] 吴今培. 模糊诊断理论及其应用[M]. 科学出版社,1995.

[5] 飞思科技产品研发中心. .MATLAB6.5辅助神经网络分析与设计[M]. 北京:电子工业出版社, 2003.

[6] 飞思科技产品研发中心. MATLAB7基础与提高[M]. 北京:电子工业出版社, 2006.

[7] 张德丰. MATLAB神经网络仿真与应用[M]. 电子工业出版社, 2009.

[8] 朱大奇, 史慧. 人工神经网络原理及应用.北京[M]. 科学出版社, 2006.

[9] 楼顺天,施阳. 基于MATLAB的系统分析与设计——神经网络[M]. 西安电子科技大学出版社, 1999.

[10] 飞思科技产品研发中心. 神经网络理论与MATLAB7实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2000.

[11] 付钰,吴晓平,严承华. 基于贝叶斯网络的信息安全风险评估方法[J]. 武汉大学学报(理学版, 2006,52(5):631-634.

[12] 国家质量技术监督局.计算机信息系统安全保护等级划分准则(GB17859-1999)[S].1999.

[13] Wang Zhi, Jiang Xuxian, Cui Weidong, et al. Countering Kernel Rootkits with Lightweight Hook Protection[C]. The 16th ACM Conference Computer and Communications Security. 2009: 545-554.

# 致 谢

**本次的毕业设计课题的完成离不开自己的学习和努力，更离不开李秀平副教授的悉心指导和不懈支持，也离不开同学们的帮助和支持。**

**在整个毕业设计过程中，从选题到收集资料，从写稿到反复修改。李老师始终认真负责的给予我细致而深刻的指导，帮助我开拓思路，精心教导，热心鼓励。无论是在毕业设计的完成还是在毕业论文的措词排版方面，李老师都对我从严要求，在此期间可谓是受益匪浅，他严谨细心的治学态度令我深深折服。在此谨向李老师致以我最诚挚的谢意和崇高的敬意。**

**另外，在课题的完成过程中也少不了同学们的支持和帮助。通过跟同学的交流和探讨，让我对课题认识得更深；通过同学提供的信息，让我了解到更多的知识信息；通过同学的提醒，也让我在毕业设计中少走了很多弯路。在此我也向给予我帮助的同学们表示最衷心的感谢。**

**论文的完成也宣告着我大学生活的即将结束，在此我也向大学四年来给我关怀、授予我知识、给予我帮助的老师们表示我最诚挚的谢意！谢谢你们给予我知识，给予我力量，给予我关怀，给予我踏入社会的信心和能力。**

# 附录

## 云台控制板原理图与PCB布线图

## 附录1——基于BP网络的设备状态分类器设计的完整的MATLAB代码

%以下为设备状态分类器的创建代码

P=[-1.7817 -0.2786 -0.2954 -0.2394 -0.1842 -0.1572 -0.1584 -0.1998;

-1.8710 -0.2957 -0.3494 -0.2904 -0.1460 -0.1387 -0.1492 -0.2228;

-1.8347 -0.2817 -0.3566 -0.3476 -0.1820 -0.1435 -0.1778 -0.1849;

-1.8807 -0.2467 -0.2316 -0.2419 -0.1938 -0.2103 -0.2010 -0.2533;

-1.4151 -0.2282 -0.2124 -0.2147 -0.1271 -0.0680 -0.0872 -0.1684;

-1.2879 -0.2252 -0.2012 -0.1298 -0.0245 -0.0390 -0.0762 -0.1672;

-1.5239 -0.1979 -0.1094 -0.1402 -0.0994 -0.1394 -0.1673 -0.2810;

-1.6781 -0.2047 -0.1180 -0.1532 -0.1732 -0.1716 -0.1851 -0.2006;

0.1605 -0.0920 -0.0160 0.1246 0.1802 0.2087 0.2234 0.1003;

0.2045 0.1078 0.2246 0.2031 0.2428 0.2050 0.0704 0.0403;

-1.0242 -0.1461 -0.1018 -0.0778 -0.0363 -0.0476 -0.0160 -0.0253;

-0.7915 -0.1018 -0.0737 -0.0945 -0.0955 0.0044 0.0467 0.0719];

T=[0 1;0 1;0 1;0 1;1 0;1 0;1 0;1 0;1 1;1 1;1 1;1 1];

P=P';

T=T';

net=newff(minmax(P),[8,2],{'tansig','logsig'},'trainlm')

%以下为设备状态分类器的训练代码

net.trainParam.epochs=1000;%设定循环次数为1000

net.trainParam.goal=0.0001;%训练误差为0.0001，其余训练参数区默认值

net=train(net,P,T);

%以下为设备状态分类器的仿真代码

sim(net,P)

%以下为设备状态分类器的测试代码

P\_test=[-1.4736 -0.2845 -3.0724 -0.2108 -0.1904 -0.1467 -0.1696 -0.2001;

-1.6002 -0.2011 -0.1021 -0.1394 -0.1001 -0.1572 -0.1584 -0.2790;

-1.0314 -0.1521 -0.1101 -0.0801 -0.0347 -0.0482 -0.0158 -0.0301]';

Y=sim(net,P\_test)

## 附录2——基于RBF网络的船用柴油机故障诊断的完整的MATLAB代码

%以下为柴油机故障诊断的RBF网络创建和训练代码。

P=[0 0 0 0 0 0 0 0.5;

0.935 -0.576 -0.892 -0.900 0.088 -0.604 -0.069 0.499;

0.253 -0.301 -0.304 -0.431 0.031 -0.298 -0.038 0.499;

0.277 0.166 0.106 0.200 -0.030 0.179 0.390 0.499;

0.085 0.058 0.039 0.070 -0.010 0.061 0.122 0.499;

0.657 -0.319 -0.351 -0.548 0.118 -0.419 -0.057 0.499;

0.256 -0.166 -0.179 -0.289 0.065 -0.225 -0.034 0.499;

0.615 0.698 0.252 0.687 0.092 0.685 0.065 0.499;

0.128 0.255 0.239 0.254 0.043 0.245 0.020 0.4799];

T=[0 0 0 0 0;

0 1 0 0 0;

0 0.5 0 0 0;

0 0 1 0 0;

0 0 0.5 0 0;

0 0 0 1 0;

0 0 0 0.5 0;

0 0 0 0 1;

0 0 0 0 0.5];

P=P';

T=T';

spread=1.2;

net=newrbe(P,T,spread);

%以下为测试代码

%p1,p2,p3分别对应表4中序号1,2,3的数据

p1=[0.920 -0.526 -0.885 -0.970 0.090 -0.611 -0.071 0.502]';

p2=[0.091 0.061 0.036 0.068 -0.012 0.059 0.131 0.499]';

p3=[0.671 -0.315 -0.362 -0.552 0.121 -0.417 -0.061 0.499]';

y1=sim(net,p1)

y2=sim(net,p2)

y3=sim(net,p3)

**参考文献**

[1] 郭阳志. 基于ARM 的增稳云台姿态控制系统研究[D]. [出版地不详]: 湖北工业大学, 2015.

[2] 佚名. 无人直升机云台控制系统的设计与实现[J]. 刊名缺失, 出版年缺失, 卷缺失(期缺失): 页码范围缺失.

[3] 王成波,戈振扬,贺勇,等. 基于STM32F4的机载三轴云台控制器设计[J]. 中国农机化学报, 2016, 卷缺失(8): 177-181.