**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。

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。[2]

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IMU（惯性测量单元，Inertial Measurement Unit）一般由三轴加速度计、三轴陀螺仪和三轴磁强计组成。加速度计是测量自身加速度的装置。陀螺仪是一种用来传感与维持方向的装置，是基于角动量守恒理论设计出来的，主要是由一个位于轴心且可旋转的转子构成。由于转子的角动量，陀螺仪有抗拒方向改变的趋向。[3] 三轴磁强计则可以根据测量的地磁场矢量计算确定地磁方向。考虑到磁强计易受电子设备干扰，故未采用。本课题采用的IMU为两个MPU6050。

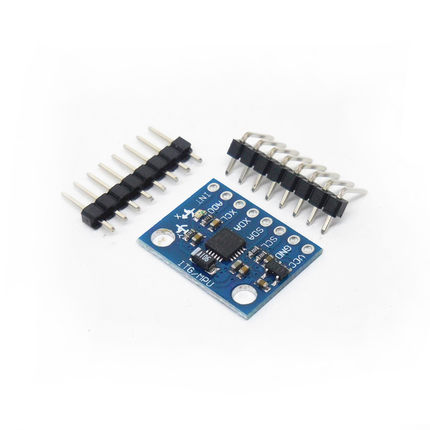
MPU6050是全球首例整合三轴MEMS（微机电系统，Micro-Electro-Mechanical System）加速度计和三轴MEMS陀螺仪的运动处理组件，免除了组合陀螺仪与加速度时间轴之差的问题，还有一个可扩展的数字运动处理器DMP，可用I2C接口连接一个第三方数字传感器，减少了大量的封装空间，传感器模块外型如图3-1-1所示，电路原理图如图3-1-2所示。

图3-1-1 惯性测量单元MPU6050

图3-1-2 MPU6050电路原理图

MPU6050对陀螺仪和加速度计分别用了三个16位ADC（模数转换器，Analog to Digital Converter）将其测量的模拟量转化为可输出的数字量。当传感器绕着任何一个轴旋转，通过电容器截止产生的震动引起科里奥利（Coriolis effect）效应，将得到的信号放大、解调和过滤，使产生的电压和角速度成正比，再通过ADC将电压转换成数字量。[4]

MPU6050拥有117个寄存器，可通过程序对寄存器进行配置，改变传感器的输出。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）。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。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****

本课题设计的三轴云台在空间上是由三个互相垂直的俯仰轴、滚转轴和偏航轴组成，使用的是载体坐标系（b系），它是一个相互正交的坐标系。由于IMU是安装在云台上与云台固联，因此测量的传感器值是在载体坐标系中的值。将云台上的俯仰轴、滚转轴和偏航轴在载体坐标系上分别定义为X、Y、Z轴，则X轴沿载体（云台）横轴指右，Y轴沿载体纵轴指前，Z轴沿载体竖轴并与X、Y轴构成右手直角坐标系，如图3-2所示。

图3-2载体坐标系//基于STM32F4的机载三轴云台控制器设计图2

## ****姿态解算算法****

**姿态解算是将陀螺仪和加速度计的数据融合在一起，通过滤波处理得出的旋转姿态的过程。当MPU6050正面朝上放置与水平面上时，X轴和Y轴的加速度大小为0g，Z轴加速度大小为1g，由牛顿第三定律可知，加速度方向沿Z轴正方向。当控制器初始化设置完毕后，相机姿态发生变化时，MPU6050返回的三轴加速度受重力分量影响亦发生相应变化。因此，可以根据三轴分量关系计算出姿态角。**

**俯仰角计算示意图如图3-3-1所示。**

**图3-3-1 俯仰角计算示意图**

**当相机俯仰α角时，Z轴绕X轴旋转至Z’轴，Y轴绕X轴旋转至Y’轴，此时，俯仰角的计算公式为：**

**其中，Ay、Az分别表示Y轴和Z轴加速度值。**

**滚转角计算示意图如图3-3-1所示。**

**图3-3-1 滚转角计算示意图**

**当相机滚转β角时，Z轴绕Y轴旋转至Z’轴，X轴绕Y轴旋转至X’轴，此时，滚转角的计算公式为：**

**其中，Ax、Az分别表示X轴和Z轴加速度值。**

**偏航角无法通过三轴加速度计算出来。同时，加速度计需要依靠系统外绝对参照物重力，在无外力加速度的情况下，能准确输出俯仰角和滚转角，并且此角度不会有累积误差，在更长的时间尺度内都是准确的。但是加速度计实际上是用MEMS技术检测惯性力造成的微小形变，而惯性力和重力本质上是相同的，故它无法分辨重力加速度和外力加速度。当系统在三维空间做变速运动时，它的输出就不准确了，就比如本课题的使用环境。同时，也存在动态响应慢的问题。因此，需要陀螺仪提供的三轴角速度来计算姿态角。**

**三轴的角度都可通过对角速度的积分来计算，通用的计算公式如下：**

**其中，anglen为第n个周期角度值；anglen-1为第n-1个周期角度值；angular\_V为对应轴的角速率；Tcal为积分周期。**

**对于单轴陀螺仪来说，影响其静态测量精度的主要因素是该传感器的零偏误差、刻度系数误差和随机漂移误差；但对于三轴陀螺仪来说，其测量结果的精度与构成三轴陀螺仪的各单轴陀螺仪的零偏误差、刻度系数误差、随机漂移误差以及各单轴陀螺仪敏感轴之间的不正交安装误差相关。[5] 积分过程是一个时间推移的过程，这个过程中的瞬时精度高，但是随着时间的累积相对误差逐渐变大，长时精度变低。所以需要本课题使用一阶互补滤波算法对加速度和角速度分别计算的姿态角进行数据融合，以获得更加精确的加速度值。**

**其中，anglen为第n个周期角度值；calWeight为加速度计数据计算所得的角度的计算权重；angle\_A为加速度计数据计算所得的角度；angle\_G为陀螺仪数据计算所得的角度。**

# 系统姿态控制

## ****PID控制算法****

由IMU和姿态解算算法，可以求出姿态角，并作为后续PID控制器的输入。本课题采用的单环位置式PID控制器，通过角度反馈和期望角度来计算输出电机转动方向及速度，即通过控制云台的角度来达到控制云台的稳定。PID控制框图如图4-1所示。

图4-1 PID控制框图//基于STM32F4的机载三轴云台控制器设计 图5

PID控制器的计算公式为：

其中,u(t)为输出给电机的控制量；Kp为比例系数；e(t)为实际值与期望值的偏差；ki为积分系数;积分内容为从0时刻到t时刻的累积误差；Kd为微分系数；微分内容为偏差的变化率。

比例环节是PID控制器中必不可少的环节。比例环节的作用为放大误差信号，提高控制器对于偏差信号的感应灵敏度，其特点是不失真、不延时、成比例地复现控制器输入信号的变化。较大的比例系数能加快调节误差，但过大的比例系数会使系统的稳定性降低，增加超调量，出现振荡甚至发散。比例系数的选择只能在稳定性和灵敏性之间进行折中选择。

积分环节通过将实际值与期望值的偏差不断进行累积，是控制器的输出信号不断增强，直到偏差为0，从而消除系统的静态误差。较小的积分系数可以减小超调，提高动态响应的平稳性，但消除静态误差的时间较长。过大的积分系数可能引起系统振荡和积分饱和，将带来较大的超调量并延缓进入稳态的速度。

微分环节根据偏差的变化趋势输出控制量，并能在偏差值发生较大变化之前输出超前校正信号。微分环节可以使系统的超调量下降，同时改善系统的动态调节速度。过大的微分系数会使系统响应过程提前制动，从而延长调节时间并出现余差，同时会削弱系统的抗干扰能力。但值越大，稳定系统的静态误差就会消除的越快。[6]

## ****姿态控制****

姿态解算出来的俯仰角和滚转角可以直接输入PID控制器，得到相应的控制量给电机。而偏航角需要进行额外的处理。由于无法通过加速度计计算出偏航角角度，所以只能通过对陀螺仪的Z轴角速度进行积分得到。但由于陀螺仪存在的较大偏差问题，便在初始化时需要对对陀螺仪Z轴角速度进行偏差校准，并根据计算得到的角速度的大小进行不同的控制处理。

偏航电机的基本控制策略为，当位于手持手柄上的MPU6050#2的Z轴角速度大于设定阈值时，开环控制电机，将角速度作为电机运动速度，电机运动方向与手柄旋转方向相反；当Z轴角速度小于设定阈值时，将MPU6050#2积分出来的偏航角与位于相机下方的MPU6050#1积分出来的角度相减，将差值作为PID控制器的输入，以实现相机偏航运动的平稳过渡。

开环控制中，角速度的数据变化快，波动大，无法有效地表示一个运动过程，故需要对Z轴角速度进行滤波。本课题采用的是中值滤波法。

中值滤波法要求有一段固定的空间来缓存数据，每个周期将一个最旧的值替换为最新的值，再进行排序，取出位于中间的值。本课题使用时进行了稍微变形，取出的是中间值左右各四分之一，占总缓存数据量50%的数据的均值。中值滤波流程图如图4-2所示。

图4-2 中值滤波流程图

闭环控制中的偏差校准则主要是消除Z轴角速度的零点漂移问题。

系统上电初始化时，云台会转动至水平面，然后静置5s左右进行Z轴角速度累计求和，并在5s后求取均值，将均值作为新的零点。如下式所示。

其中，Zero为新的零点；times表示累加次数；Gz为陀螺仪Z轴角速度。

消除零点漂移后，便可对Z轴角速度进行积分操作，得到偏航角角度。

# 三相无刷直流电机控制

## ****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**

1. 结构设计与安装

# 实验结果与分析

本课题选择是±2g

本课题选择的是±2000°/s

mpu6050 加速度角度 角速度角度 一阶互补滤波角度

mpu6050 零点偏移校准前、后

mpu6050 Z轴角速度中值滤波前、只取中位值、中值滤波后

# 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]. 北京: 湖北工业大学, 2015.

[2] 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, 37(8): 177-181.

[3] 邱云平,伍宝玉. MPU\_6050模块角度算法处理及在嵌入式中的应用[J]. 江西科技学院学报, 2014, 9(2): 32-35.

[4] 陈孟臻. 基于MPU\_6050陀螺\_加速度仪三轴云台的研究[J]. 百色学院学报, 2015, 28(3): 132-137.

[5] 龙达峰. 基于椭球拟合的三轴陀螺仪快速标定方法[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(6): 101-107.

[6] 陈孟臻. 三轴WiFi摄像头舵机云台的设计与实现[D]. 北京: 广西大学, 2015.