

归 档 号:

武汉工商学院毕业论文(设计)

学院: 人工智能学院

专业: 电子信息工程 年级: 2016 级

题目: 基于 K60 单片机的板球控制系统的设计

2020 年 5 月 21 日

本科毕业论文（设计）原创性声明

本人郑重声明：所呈交的论文是本人在导师的指导下独立进行研究所取得的研究成果。除了文中特别加以标注引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写的成果作品。本人完全意识到本声明的法律后果由本人承担。

作者签名：

2020 年 5 月 21 日

目 录

摘 要	I
关键词	I
Abstract.....	II
Key words.....	II
1 绪论	1
1.1 课题研究的目的和意义	1
1.2 国内外研究的现状	1
1.3 本课题研究的内容	1
2 系统设计原理	3
2.1 图像预处理	3
2.1.1 二值化处理	4
2.1.2 图像去噪	5
2.1.3 霍夫变换	6
2.1.4 边缘检测法	6
2.2 小球的位置检测	7
2.2.1 霍夫圆检测	7
2.2.2 小球检测结果	8
3.1 主控制系统	9
3.2 图像采集系统	10
3.3 板球控制系统的实验平台	10
3.4 舵机驱动电路	10
3.5 执行器	11
4 系统软件设计	12
4.1 主流程图	12
4.2 PID 控制算法	13
4.3 位置采集	14
4.4 操作界面的设计	15
4.4.1 摄像头的控制	16

4.4.2 数据的显示	16
5 数据测试	17
6 总结	18
参考文献	19

基于 K60 单片机的板球控制系统的设计

摘 要

基于机械视觉滚球控制系统是根据非线性控制原理，通过摄像头来获取板面上小球的位置信息，将获取的信息通过串口发送到主控芯片，进而驱动伺服电机，最终实现对板球系统的稳定控制，使小球能到达指定的位置。本系统是一个典型的基于 PID 控制算法的实验平台，主要包括机械部分和控制部分，机械部分包括舵机、支架和板面等，控制部分包括 K60 主控制器、摄像头、显示模块和按键等。该系统结构简单、操作方便、实现了控制小球到达任意位置的目的，具有数据处理延时短，控制精度高的优点。

关键词：机械视觉；PID；高斯滤波；霍夫变换

The design of cricket control system based on K60 single chip microcomputer

Abstract

Based on the mechanical vision ball rolling control system is based on the nonlinear control principle, through the camera to obtain the position information of the small ball on the plate surface, obtained information is sent to the main control chip through the serial port, and then the servo motor is driven. Finally, the stable control of the cricket system is realized, so that the ball can reach the specified position. this system is a typical experimental platform based on PID control algorithm, which mainly includes mechanical part and control part. the mechanical part includes steering gear, support and rolling board, etc. the control part includes K60 main controller, camera, display module and keystrokes, etc. The system has the advantages of short data processing delay and high control precision.

Key words: mechanical vision; PID; Gaussian filtering; Hoff transform

1 绪论

板球控制系统是一个非线性欠驱动的动力学系统，它通过摄像头采集小球的位置信息，然后通过相应的控制算法来控制伺服电机的运行，其目标是维持板面的平衡和保持小球稳定停留在板面上，板球控制系统涉及机器视觉，自动控制，滤波处理等，其内容可以扩展到航天，工业，农业等领域，所以此系统是一个极具价值的研究课题，它也是我们学习自动控制原理，数字图像处理等专业课的实验平台，在上世纪 80 年代就有许多学者对其展开研究。

1.1 课题研究的目的和意义

在本次实验中，主要研究的是板球系统的非线性问题，其实质是指板面在 x 轴和 y 轴上面的不断调整，来控制小球在板面上的稳定运动，此过程运用到人机交换，机器视觉，控制理论等，而非线性问题的研究又应用在工业，制造业，医疗，军工等各个方面。

随着信息化社会的发展，传统的经典控制理论和现代控制理论不足以满足实验的研究，进而控制理论发展到了智能控制理论的阶段，近些年对于非线性问题学者提出了智能控制，自适应控制，模糊控制等^[2]，随着计算机的发展，又涌现了机器视觉的算法的研究，此算法适用于在一些复杂的环境中提取目标图像^[1]，并且获取目标图像的运动轨迹。

如何将机器视觉和机械控制联系起来，并且验证智能控制理论对非线性系统的控制的好坏，由此国内外学者设计了板球控制系统来验证这些问题，板球控制系统是一个非线性，不受约束的控制系统，控制小球在一个存在摩擦力的非线性环境下是非常困难的，因此研究板球控制系统是一个非常有意义的事情。

1.2 国内外研究的现状

板球控制系统是非线性系统，对其的研究可以扩展到很多领域，在 2000 年初美国伦塞勒工学院开发了一套基于电容屏的板球控制系统，并以此设计了状态反馈控制器，而后捷克理工大学又设计了基于 MATLAB 板球控制系统的实时控制平台，中国对板球控制系统也有许多研究，例如由清华大学教授张乃尧教授推算出板球控制系统的数学模型^[3]，而后吉林大学对板球控制系统进行研究，并提出了基于板球控制系统的模糊控制算法^[4]，最近上海交通大学也自主设计了基于触摸屏的板球控制系统^[5]，由此可以体现初板球系统对非线性系统具有典型的研究意义。

1.3 本课题研究的内容

本课题主要研究对基于机器视觉板球控制系统的研究^[6]，利用摄像头获取小球

在板面的位置信息，通过 PID 算法对伺服电机进行控制，进而达到对小球的定位控制。

此系统设计主要包括以下几个方面：

- (1) 基于机器视觉的板球控制系统；
- (2) 搭建实验所需模型，计算出 PID 三个值的具体参数；
- (3) 对图像进行预处理，得到一副完整的图像，进而在此图像中获取板面轮廓的位置信息；
- (4) 构建人机交换界面，将获取小球位置的信息打印在 OLED 屏上，方便观察，通过上位机观察采集到的图像，以便观察板面的运动轨迹。

2 系统设计原理

系统最终控制起来是否稳定的关键在于摄像头采集的板面与小球的位置信息是否准确，OPENMV 摄像头采用的 OV7725 感光元件可以处理 640*480bit 的灰度图像或者 320*240 的 RGB565 的彩色图像，因此再识别矩形时，通过 OPENMVIDE 内部自带的函数，将像素设置为 160*160 再合适的高度，此时返回的图像正好是板面的大小，确定了板面的大小进而对小球进行检测。

对小球的检测步骤如下：

- (1) 运用二值化法对采集回的图像进行处理；
- (2) 对二值化的图像进行高斯滤波与边缘检测处理；
- (3) 对处理过后的图像进行霍夫圆检测；

霍夫变换的思想是将原始图像中的曲线或者直线转换到空间区域内求峰值，但霍夫变换对内存消耗大并且计算量高，因此有人提出了随机霍夫变换^[7]，即在图像空间中的参数空间、随机抽样中的连接图像空间以及动态链接列表和参数空间的收敛映射，从而加快了运算速度和提高了内存的利用率，并且在处理背景简单小图像识别时，随机霍夫变换运算的速度快，并且识别精度高，故在本次实验中使用随机霍夫变换。

2.1 图像预处理

摄像头采集的原图像如果没有进行预处理，则原始图像会出现噪点，或者由于拍摄环境导致图像模糊或者丢失，所以要对摄像头拍摄的原始图像进行预处理，此部分运用到数字图像处理技术，由实验数据所得，实验所得图像在二值化模式下面小球返回坐标值的情况最好，因此第一步采用二值化处理法对图像进行处理，接着进行滤波处理，最后进行矫正处理。

因此在这里需要了解图像预处理的目的是，对原始图像直接处理会产生较大的计算量，因此需要对原始图像进行预处理，对图像的预处理可以过滤掉杂散信号并且也可以增强某些图像的特征点，反之如果直接调用原始图像，则在后续调用图像时，图像的丢失；畸变；模糊等都会对小球坐标定位产生较大的影响。

在本次实验中图像畸变部分可以通过硬件加以解决，直接在 OPENMV 摄像头上面搭载一个无畸变镜头，畸变问题就得以解决，所以在本次实验的关键在于对图像的滤波以及二值化处理部分。

2.1.1 二值化处理

所谓二值化处理就是将图像像素点根据阈值划分为黑白，即所得图像只显示黑或者白的视觉效果，而二值化又分为全局二值化和局部自适应二值化^[8]，在图像处理的实验中通常需要获取目标图像而忽略其他图像，但一副图像包括目标图像，背景并且还有噪点，因此想要获取目标图像，最常用的一种方法是设定一个全局的阈值 T ，即大于 T 的像素规定为白色，反之小于 T 的规定为黑色，如果使用全局二值化处理，在图像的细节上面会有很大的缺陷，随着对图像处理的研究深入，出现了对图像细节处理的方法即自适应二值化，用此方法的得到的阈值更为精确，即对全部像素的平均值 E ，像素之间的平方差 P ，以及均方根值 Q 带入参数方程 $T=a*E+b*P+c*Q$ 中进行阈值计算^[7]，最终计算出的阈值可以细化原始图像。

在自适应二值化中采用的方法是迭代法，其思想是初始化一个阈值，然后按照特定的方法不断更新阈值，直到满足其给定的条件为止，具体步骤如下：

(1) 设定阈值 Q ，将像素点与 Q 不断循环比较，并且将比较像素划分为两类集合 A , B ;

(2) 计算 A , B 集合的平均像素值 U_a 和 U_b ，其如公式 2-1 所示：

$$\mu_A = \frac{1}{N_A} * \sum_{(i,j) \in A} f(i,j) \quad \mu_B = \frac{1}{N_B} * \sum_{(i,j) \in B} f(i,j) \quad (2-1)$$

其中， N_A 与 N_B 是代表集合 A , B 中像素的个数；

更新阈值如公式 2-2 所示：
$$Th = \frac{1}{2}(\mu_A + \mu_B) \quad (2-2)$$

判断当前计算阈值与上次计算阈值的差值是否满足给定条件，即两次阈值差值是否小于给定值 T ，若小于，则当前阈值 Th 即为所求阈值。

通过自适应二值化法对原始图像进行处理，图 2-2 为原始图像，图 2-3 为处理过后转变为二值化后的图像。



图 2-1 原始图像



图 2-2 二值化后的图像

2.1.2 图像去噪

在实际操作中数字图像在传输过程中会受到外部环境和设备噪声的影响，因此这类噪声图像被统称为：含噪图像，并且图像干扰的主要原因为噪声，在图像的传输和量化等处理过程中会存在各种各样的噪声，所以图像去噪是图像处理过程中关键的步骤。

本次实验的噪声来源主要是外部环境和器件的原因，故主要用空间去噪处理，而空间域去噪常见的方法有邻域平均法，低通滤波，中值滤波，高斯滤波等，在板球控制系统中最常用的是高斯滤波法和中值滤波法^[9]，下面来分析这两种方法在本次实验中的运用，高斯模糊算法是一种数据平滑技术，当图像存在高斯噪声时，运用高斯模糊算法可以很好解决此问题，高斯滤波的具体操作是：每一个像素都取周围 8 个像素点的平均值，然后这个值进行加权处理，然后用加权过后的值替代原始图像像素点的值。

高斯一维函数如公式 2-3 所示：

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2} \quad (2-3)$$

高斯二维函数如公式 2-4 所示：

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2} \quad (2-4)$$

中值滤波是基于顺序统计的非线性信号处理噪声法^[10]，在运算中对图像数据进行排列，并且将图像中产生噪点的数据排列在数据的两侧，则中间所得的数据是正常的，中值滤波对椒盐噪点有很好的抑制作用，并且相比于均值滤波，中值滤波不会对图像造成很大的模糊，但中值滤波受窗口影响较大，它在保护图像细节和消除噪点之间存在矛盾，窗口越大过滤效果越好，但对图像会产生模糊的效果，反之当窗口尺寸较小时，中值滤波会保护图像的细节，但有较差的过滤性。

图 2-3 和图 2-4 分别是采用灰度双边滤波和高斯滤波处理过后的图像，在最后对比这两种滤波处理过后的图像后，被高斯滤波法处理过后的图像，在小球和板面检测效果相比于双边灰度滤波法所得到的图像更好。



图 2-3 灰度双边滤波图像



图 2-4 高斯滤波图像

2.1.3 霍夫变换

一条直线可以由两个点 $A = (x_1, y_1)$, $B = (x_2, y_2)$ 来表示(笛卡尔坐标), 也可以写成 (x, y) 的函数来表示(霍夫空间), 变换后可以通过图形来直观的表达, 即在笛卡尔坐标系中的一条直线在霍夫空间里面是一个点^[9], 反之也依然成立, 霍夫变化是在图像处理应用中很常见的方法, 并且霍夫变化受噪声和曲线间断的影响较小。

过 (x, y) 的线段表示为: $y = ax + b_1$, 其中 a 代表斜率, b 为其在直角坐标系中的截距, 当我们 x, y 看作常数时, 而 a, b 看作变量时, 则上式可以表示为: $b = -xa + y_1$, 经过此变换, 改平面就转换到 $a-b$ 的平面上来了, 此变换就是直角坐标中 (x, y) 点的霍夫变换, 在参数方程中对应为: $b = -xa + y_2$, 并且它与点 (x, y) 在参数空间相交, 如图 2-5 所示。

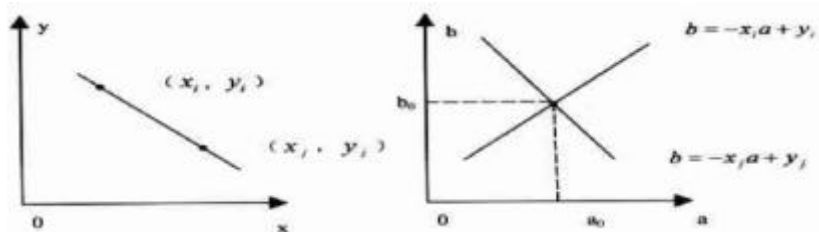


图 2-5 霍夫变换

根据以上原理在图像中的圆上的点, 经过霍夫变换后可以在参数空间映射为一簇圆锥, 在圆中参数就是一簇圆的交点, 此点在参数空间中经过累加后, 则其极大值就是图像空间中圆的参数。

2.1.4 边缘检测法

通过边缘检测法来确定某些局部发生明显变化的区域, 边缘检测的方法有两种, 第一种是检测零交叉点, 第二种是检测边缘的强度, 零交叉点是使用二阶导数进行计算, 而是边缘强度法使用一阶导数来表示, 在本次实验中所使用的是边缘强度法, 其核心为 Canny 算子。

边缘检测的特点主要为:

- (1) 检测边缘时错误率较低, 但需要准确的捕获图像中多的边缘;
- (2) 检测的边缘定位在边缘的中线;
- (3) 检测到的边缘会被特殊标记, 不会产生重复的边缘;

运用 Canny 算子, 可以清晰的标记边缘图像, 并且由于它得良好特点 Canny 边缘检测法成为近些年最具流行得检测法之一。

Canny 边缘检测步骤如下：

- (1) 采用高斯滤波算法，滤除图像的杂波；
- (2) 运算图像中所有像素的面积与方向；
- (3) 采用调制解调的方法，去除图像杂波响应；
- (4) 运用灰度阈值法来标记真实的边线；
- (5) 最后滤除虚假边界，完成边缘检测；

由 Canny 边缘检测法所得图像为图 2-6，原始图像为图 2-7 所示，可以看出滤波效果良好。



图 2-6 Canny 边缘检测法



图 2-7 原始图像

2.2 小球的位置检测

小球的检测在板球系统中使关键所在，检测小球的方法有以下这些方法：霍夫曼圆法、模板匹配法、以及 Fast-RCNN、SSD 等^[11]，本次实验主要用到霍夫圆检测的思路。

2.2.1 霍夫圆检测

霍夫圆检测就是将二维图像中的圆转换为圆的半径^[12]，以及圆的横纵坐标的过程，在经过霍夫变换后，一个任意圆上的 3 点都可以对应圆的一点，在笛卡尔坐标系中圆的方程为： $(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2$ 其二维空间图形为图 2-8 所示。

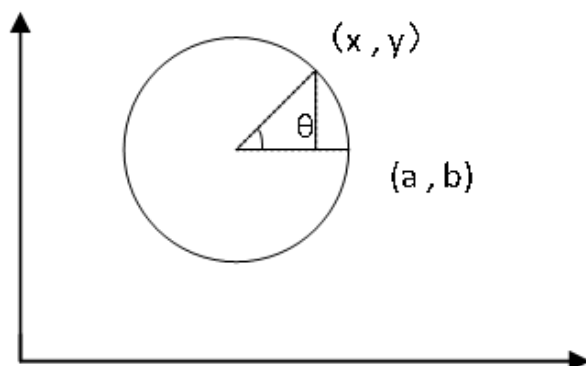


图 2-8 笛卡尔坐标系

因为在三维空间中计算圆的参数需要消耗大量储存空间和时间，因此需要从

三维降到二维，这样可以提升运算速度，并且可以将其一对多的映射转换为一对一的映射，具体步骤如下：

- (1)对图像进行边缘检测，获取边界点；
- (2)如果图像中存在圆形，那么其轮廓必定属于边界点；
- (3)同霍夫变换检测直线一样，将圆形的一般性方程换一种方式表示，进行坐标变换；
- (5)原图像中这些点都在同一个圆形上，直观表现为这许多点对应的圆交于圆心(a, b)；
- (6)统计局部交点处圆的个数，取每一个局部最大值，获得原图像中对应圆心坐标(a, b)；

经过上面这些步骤，对圆的精度达到了要求，并且也减少了计算量。

2.2.2 小球检测结果

经过以上步骤后，对小球进行检测，选取小球在板面不同位置的图像，所得图像如图 2-9 所示。

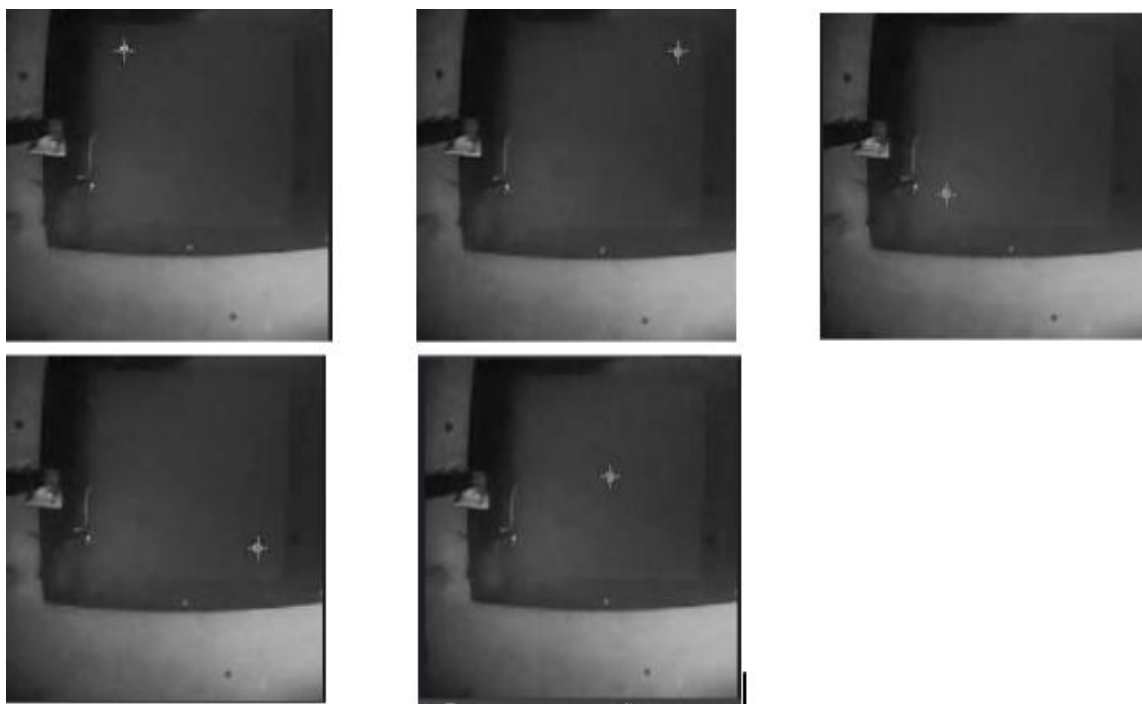


图 2-9 小球在板面不同位置的图像

可以看到被检查的小球被十字箭头标记出来，并且图像也比较清晰，所以这种方法在小球的检测方面比较精确。

3 总体方案设计

此系统包括处理器，控制器，执行器，具体处理方式为：摄像头(处理器)将采集到的小球的位置信息发送到 K60(执行器)，进而驱动伺服舵机(控制器)，最终达到控制小球在板面上进行非线性运动的目的，图 3-1 为板球控制系统的结构框图。

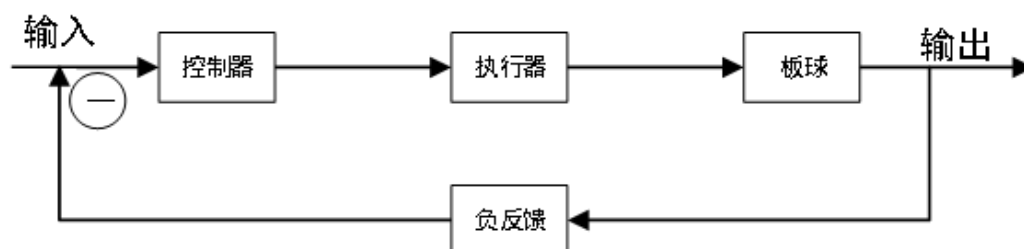


图 3-1 系统总框图

3.1 主控制系统

此系统采用 K60 系列芯片作为主控，MK60N512VMD100 芯片的最小系统由三部分电路组成(电源；复位；晶振)，MK60 由于复位电路连接一个 10K 的上拉电阻，所以在正常工作时是处于高电平状态。当按下复位按钮时，复位引脚为低电平使芯片复位，其电路图如图 3-2 所示，K60 芯片内部集成了 50MHz 有源晶振，外部时钟使用 8MHz 的无源晶振，其晶振电路原理图如图 3-3 所示，而 JTAG 电路是为了调试和下载方便所设计的电路，其原理图如图 3-4 所示。

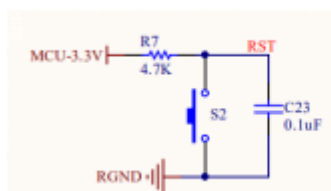


图 3-2 复位电路图

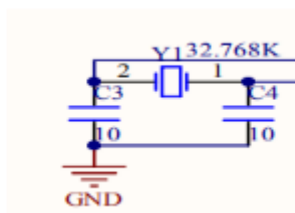


图 3-3 晶振电路

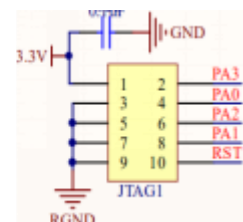


图 3-4 JTAG 电路

K60 系列 MCU 具有硬件解码能力，其 IO 口资源丰富，可以进行单精度浮点运算，其作为伺服电机的控制器，对舵机的运行有着至关重要的作用，其内部已有封装完整的函数，直接调用此函数可产生 PWM 波，以此来驱动舵机的转动，作为一款基于 Cortex-M4 内核的芯片，其 FTM 通道的操作可当做双等的输出，有比较的输出、或独立的通道的双与独立的输出，并且其工作频率为 72MHZ，还有丰富的 IO 口资源，故选此款单片机作为主控，但本次实验主要使用的是 K60 的串口和定时器，通过配置串口，些串口中断服务函数，用来接收来自 OPENMV 摄像头传回的小球位置信息，为了检测实验的准确性，本次实验还使用了上位机来接受来自

OPENMV 的信息，通过上位机显示在电脑上，为控制舵机打下基础。

3.2 图像采集系统

图像采集装置采用由星瞳科技生产的 OPENMV 摄像头，如图 3-5 所示，此款摄像头体积小，操作简单，有彩色，灰度，二值化图像模式，OPENMV 摄像头使用 Python 语言编写的程序进行操控，在摄像头内部集成了用于图像处理的库函数，并且可以通过摄像头自带的 IO 口引脚将所得数据通过串口传送给主控芯片。



图 3-5 OPENMV 摄像头

OPENMV 摄像头底层代码自带颜色追踪函数功能，只需再此软件调用 find_blobs 函数就可以获取小球的坐标信息，并且对小球进行动态追踪。

3.3 板球控制系统的实验平台

由图 3-6 与图 3-7 可以看出，此实验平台由摄像头，伺服电机，K60 主控芯片，电脑，8.2v 电池，联动装置等构成。摄像头是其图像处理器，K60 作为其核心处理器，处理摄像头返回的坐标值并产生 PWM 波驱动伺服电机转动，进而带动传动装置来控制小球稳定在板面上。



图 3-6 板球实验平台正面



图 3-7 板球实验平台侧面

3.4 舵机驱动电路

通过 K60 的 FTM 通道产生 PWM 信号由于信号太弱不足与直接驱动伺服电机

的转动，还需要经过外部 5.5V 供电来驱动伺服电机的转动，此实验使用 8.5V 的锂电池作为电源，但伺服电机的耐压在 3.5v~6.5v 之间，故选用 74HCT126D 作为稳压芯片，74HCT126D 是具有 3 态输出的缓冲器，在 NOE 初的低电平输出呈现高阻抗关断状态。

为了方便观察此部分是否正常供电，故设计了一个指示电路如图 3-8 所示，当电路正常 5.5V 供电时 D3LED 灯亮起，74HCT126D 芯片正常工作。

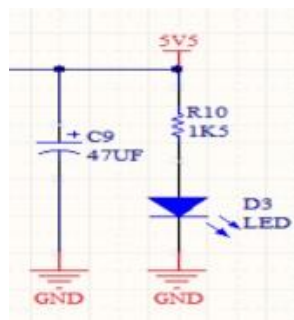


图 3-8 舵机驱动电路

3.5 执行器

本实验采用 MG996R 舵机作为板球控制平台的执行机构，MG996R 具有体积小，精度高，价格便宜，等特点，其工作原理是：由单片机发出控制信号然后接收端接收信号并且将此信号传入调试芯片，通过获取的偏置电压，并此电压与内部产生的周期基准信号相对比，获取两者之间的电压差输出，然后将这个差值输出到舵机的控制芯片上从而决定了舵机的转向，当转动到指定位置时，通过减速齿轮转动电位器，使电压差为 0，最终舵机停止转动，PWM 信号为舵机的控制信号，其原理是利用占空比的大小来控制齿轮转动的角度，其控制要求为图 3-9 所示。

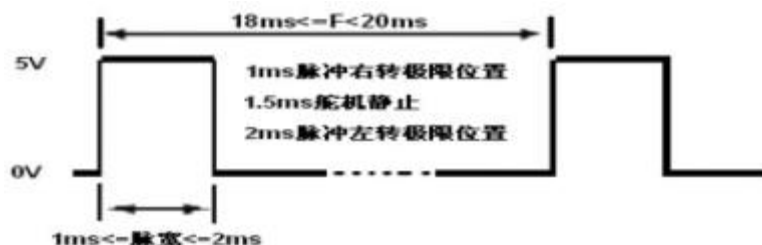


图 3-9 舵机控制信号

MG996R 舵机空载工作电流为 120mA，最大电流不能超过 1400mA，操作速度为 0.17 秒/60 度(4.8V); 0.13 秒/60 度(6.0V)，工作扭矩是 13KG/cm，因此 MG996R 舵机能够满足本次实验得相关要求。

4 系统软件设计

4.1 主流程图

用图 4-1 表示系统的控制的基本过程，其基本控制思想是对系统进行初始化，然后设置小球最终要达到的位置，通过摄像头判断小球是否在板面初始位置，如果确定小球在初始位置则对小球运动进行路线规划，然后通过 PID 算法处理 PWM 输出值，将其值输入到舵机，进而驱动舵机运行，直到小球到达指定位置，若小球不在初始位置则维持板面水平并返回到上一步。

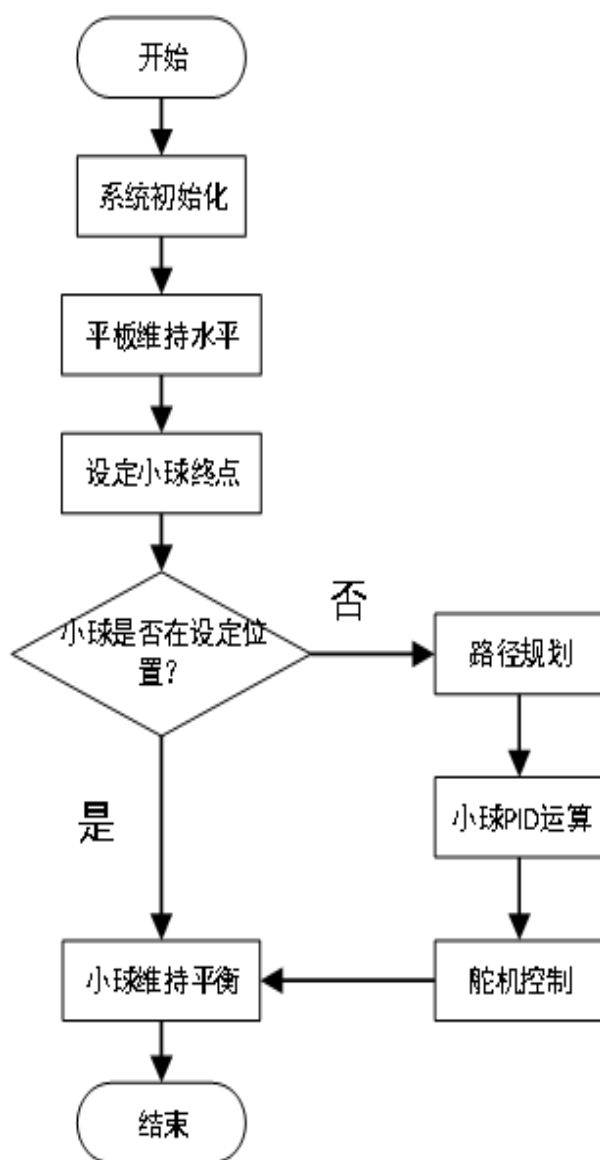


图 4-1 主流程图

4.2 PID 控制算法

在自动控制系统中，相对于开环控制闭环控制的效果更加良好，所谓闭环控制就是运用 PID 算法的控制，而根据输入与输出的关系，将 PID 算法分为位置式和增量式^[13]，其中 P 代表比例，I 代表积分，D 代表微分，对于增量式 PID 在输入时要加入一个前置滤波器，其作用让滤除给定值的突变值，并且在计算过程中对已累加的积分进行替换，节省了计算机的储存空间，加快了运算速度，因此增量式 PID 有以下优点：

- (1) 输出增量仅与近三次采样值有关
- (2) 每次输出的都使执行机构的变化值，不易受系统误差的影响
- (3) 可以使用逻辑运算来滤除误差数据

而位置式 PID 相比于增量式 PID，其适用范围为不带积分环节的控制器，并且输入信号和执行器所输出的实际位置一致，而最终输出的控制量是根据控制器在第 n 次采集的控制量与给定量之间所产生的偏差量 $e(n)$ 所确定的，在本次实验中主要用到的式位置式 PID，其表示为控制信号在 n-1 时刻的控制量^[14]，位置式 PID 如公式 4-1 增量式 PID 如公式 4-2 所示，PID 系统结构框图如图 4-2 所示。

$$u[n] = K_p \{e[n] + \frac{T}{T_I} \sum_{i=0}^n e[i] + \frac{T_d}{T} \{e[n] - e[n-1]\}\} \quad (4-1)$$

$$u[n-1] = K_p \{e[n-1] + \frac{T}{T_I} \sum_{i=0}^{n-1} e[i] + \frac{T_d}{T} \{e[n-1] - e[n-2]\}\} \quad (4-2)$$

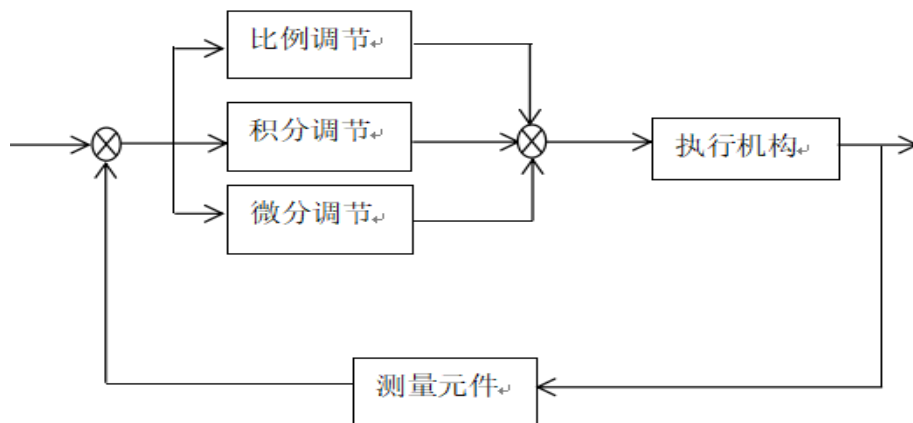


图 4-2 PID 系统结构框图

在具体使用 PID 时，需要对 PID 的比例环节系数，积分环节时间常数，微分环节时间常数，以及目标值与控制周期进行设置，每经过一段时间间隔计算一次给定量和被控制量之间的偏差，然后根据偏差来输出控制量^[15]，所以在控制周期的选择

上尤其重要，其具体的周期选择要求如下：

(1) 在下一个执行周期到来之前，前一个执行周期的动作已经完成；

(2) 在本次执行周期执行后，并且在下一次执行周期到来之前被控量可以产生相应的变化。

在满足上面的两条条件执行周期尽可能缩短，因为断的控制周期可以更加精确的跟随被控量的瞬态变化从而随时做出相应的调整，所以一个好的控制系统应该有一个合理的控制周期，本实验根据实验结果选择最佳控制周期为 20ms，在确定完控制周期后，然后要对 K_p, K_i, K_d 参数分别进行确定，在自动控制理论中由离散 PID 的表达式可知， K_p 与输出有着直接的关系，因此想要使响应速度变快，可以适当增加 K_p 值，但是 K_p 不是越大越好，若 K_p 值过大则会引起系统的超调现象， K_d 值可以使系统产生超前反应， K_i 值可以使系统反应产生滞后的效果，在具体调节这三个参数时，一般先使 K_d, K_i 置为 0，然后使 K_p 从 0 逐渐增加直到系统出现振荡，然后将其过程反向，直到振荡消失，最终选取 K_p 为此值的 60%。

接下来确定 K_i 值，选取一个较大的 K_i 值随后逐渐减小它，直到出现振荡现象，然后增大此值，直到消除系统振荡，最后确定的 K_i 值为此值的 1.5 倍。

最后调整 K_d 值，一般情况下将 K_d 设为 0 即可，若需要调节方法与调节 K_p 值得方法一致，取系统不产生振荡时的 30%，在调节时先在空载的系统上面调试，然后负载后进行微调直达满足实验要求即可。

4.3 位置采集

图像经过预处理后需要对小球到达的位置进行标记，首先对整体图像进行遍历找出板面的中心位置，然后根据腐蚀算法从中点向上下左右四个方向进行坐标信息的采集，最后取得预先设定好 9 个点的具体坐标。

电机拉杆控制的思路是控制 x, y 轴方向的电机，从而调整小球在板面的位置，所以控制的关键是 2 个电机输出的控制量之间的耦合关系，在经过大量实验后，得到以下的控制电机策略。

(1) 本实验将板面划分点如图 4-3 所示，摄像头采集这 9 个点的位置信息，然后根据小球在实际位置与最终输出位置的偏差以及小球的运动速度和方向，来确定两个电机的上升或者下降，小球在点 9 时若此时要求小球到达点 5，故可以根据点 5 在点 9 的方向来控制两个电机的拉杆的上升或者下降。

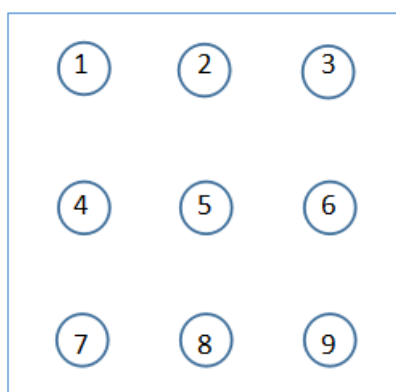


图 4-3 板面划分点

(2) 由于舵机安装在板面下方 4 点和 8 点的位置，所以当小球在板面不同位置时，两个电机推杆的作用也不同，根据小球在不同的位置，来划分那个电机起主要控制作用，电机 a 电机 b 输出的 PWM 波分别控制 x 轴与 y 轴，根据不同的区域给不同输出，在经过以上的操作与设计之后可以对小球实现精准的控制。

4.4 操作界面的设计

板球控制系统上位机界面如图 4-4、4-5 所示，包括舵机上位机界面，摄像头上位机界面，还有各种选择参数的窗口。



图 4-4 板球控制系统上位机参数



图 4-5 板球控制系统上位机界面

4.4.1 摄像头的控制

OPENMV 摄像头的操控主要由以下几个部分组成：首先对摄像头初始化，然后采集摄像头的参数，还有开关摄像头控制。

摄像头初始化：包括初始化曝光时间，采集图像面积大小。

摄像头参数的采集：根据初始化所确定的采集时间周期，每隔一段时间采集一次图像，然后通过串口发送到 K60。

摄像头的开关控制：主要作用是开启或者关闭摄像头。

4.4.2 数据的显示

本次实验由上位机显示小球左边参数而且运用 OLED 显示屏在硬件上显示模式和小球位置信息，供电模块为 3.3v 或者 5v，所以不需要额外添加供电模块，采用 SPI 或者 IIC 通信模式，操作方便，OLED 显示屏如图 4-6 所示。



图 4-6 OLED 显示屏

5 数据测试

板球控制系统每次初始化,两个伺服电机都会让板面处于水平状态,在系统初始化完成后,系统开始按照任务要求进行运转。功能 1: 小球从 1 号点走向其他任意 8 个点,每次从 1 点到达其余任意 8 点的总时间不超过 15s,并且在规定点停留时间为 5s,测试数据如表 5-1 所示。

表 5-1 任意两区域路径测试

序号	路线规划	过度时间	是否进入其它区域
1	1-3	8.2s	否
2	1-6	8.9s	否
3	1-9	10.5s	否

在测试初期小球从一号点到达 5 号点所花费时间大于 15s 并且有时会出现板面振荡情况,后经过一系列的排除,发现舵机的信号采集周期与执行周期发生冲突,故舵机转轴不能到达指定位置,导致系统出现振荡现象,后把信号采集周期设置为 20ms,此问题得以解决,在图像处理方面,前期搭建实验平台时,用灰度双边滤波法所得图像会出现小球坐标丢失的现象,从而导致小球滑出板面,后采用二值化与霍夫圆检测,所得图像信息稳定,如图 5-1 为采用灰度双边滤波法所得图像,图 5-2 为采用二值化与霍夫圆检测所得图像。



图 5-1 灰度双边滤波法检测图像



图 5-2 二值化与霍夫圆检测图像

在经过测试后,本系统能够在规定得时间内完成所指定得任务,但响应速度不够迅速,因此后期还需进行改进,并且在有光线干扰的情况下,本系统得实验效果不是很理想,需要摄像头对光线进行特殊处理。

6 总结

本次毕业设计采用 OPENMV 摄像头与 K60 作为核心处理器，使整个系统外观更加整洁，在控制精度上能达到实验任务要求，并且相比于电阻屏板球实验系统模型，本系统可控性更强、且适用于更大面积的板面。

本设计的不足之处是，光线会对摄像头采集原始图像产生较大影响，在实验过程中采用补光和改变阈值来应对光线问题，但光线太强的情况下，系统还是会受到较大影响，所以这点是本系统需要改进的地方。

在设计本次系统时碰到了许多问题，在搭建实验平台的过程中我学习到了许多关于机械的知识，然后我又查阅了许多资料解决了 OPENMV 摄像头与 K60 两者之间通信的问题，最重要的是通过此次毕业设计我学会了软件和硬件之间联调的方法，我相信这段经历使我在今后的生活和工作中受益匪浅。

参考文献

- [1] 熊若男. 浅谈计算机技术与信息技术联用[J]. 数字技术与应用, 2014, 18(07): 231-232.
- [2] 滕树杰, 张乃尧. 板球系统的 T-S 模糊多变量控制方案[J]. 信息与控制, 2013, 25(12): 362-363.
- [3] 苏信, 孙政顺. 板球系统的模糊控制方法研究[J]. 计算机仿真, 2015, 20(13): 17-19.
- [4] 李芳. 板球系统设计及控制系统研究[D]. 包头: 内蒙古科技大学, 2016.
- [5] 徐云云. 基于视觉的板球控制系统算法研究[D]. 成都: 西华大学, 2016.
- [6] 王旭芳. 板球系统的反步滑模自适应控制[D]. 大连: 大连理工大学, 2015.
- [7] 李军. 模糊控制在板球系统中的仿真研究[J]. 电机与控制学报, 2017, 29(03): 128-129.
- [8] 李军. 模糊控制在 BALL&PLATE 装置中的应用[J]. 实验技术与管理, 2016, 33(10): 25-29.
- [9] 王赓. 板球控制系统的 PD 型模糊控制算法研究[J]. 电气传动, 2018, 15(06): 18-20.
- [10] 沈洁. 摄像头消旋平台的设计[D]. 太原: 中北大学, 2018.
- [11] 邓睿. AMOLED 显示屏图像显示的研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2015.
- [12] 张光凯. 浅谈基于 Protel DXP 2004 环境下的电路仿真分析方法[J]. 中国新通信, 2015, 27(20): 22-23.
- [13] 王莉莉. Protel 99 SE 和 Multisim 软件在电路仿真中的应用比较[J]. 南宁职业技术学院学报, 2017, 14(20): 99-100.
- [14] 刘静. 基于 ARM 嵌入式教学实验平台的设计与开发[D]. 成都: 电子科技大学, 2014.
- [15] 王超炎. 基于 Atmega128L 的类壁虎机器人运动控制系统的实现[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2017.