**摘 要**

滚球控制系统以STM32F103为主控制器，通过树莓派进行图像识别处理来辅助控制舵机转动。系统上电后，平板上方的摄像头对平板拍照之后传递给树莓派处理,树莓派通过边缘检测对小球进行定位，然后传递信号给STM32F103。STM32F103通过串口接收树莓派发送的数据，STM32F103根据树莓派反馈的位置信息，通过PID算法调节X轴和Y轴两个方向上舵机的转动。整个系统协调工作最终使小球按照要求运动。

**关键词：** STM32F103; 树莓派; 边缘检测；PID算法

**1 方案设计与论证**

**1.1 总体方案描述**

该系统由STM32F103、树莓派、舵机MG995、720P摄像头、12864液晶屏等模块构成。系统上电后，平板上方的摄像头对平板拍照之后传递给树莓派处理,树莓派通过边缘检测对小球进行定位，然后传递信号给STM32F103，STM32F103根据树莓派反馈的位置信息，通过PID算法调节X轴和Y轴两个方向上舵机的转动使小球满足运动要求。总体设计框图如图1-1所示。

 **图1-1 总体设计框图**

## 1.2主控制器选择方案

方案1：采用STM32F103单片机作为系统的控制器。STM32F103单片机具优异的实时性能以及功能强大、效率高的指令系统，以及高性能模拟技术及丰富的外围模块。可以采用固件库开发，不必接触底层寄存器，大大缩短开发周期，降低上升难度。其功耗特别低，性价比特别高。

方案2：采用FPGA作为系统的控制器。FPGA拥有强大的逻辑资源和寄存器资源，并行执行，硬件的实现方式可以应对设计中大量的高速电子线路设计需求，同时拥有更快的速度，可以实现非常复杂的高速逻辑。但是其费用比较高昂，而且本作品并不需要那么高的要求，体现不出FPGA的优势。

方案3：采用STC89C51单片机作为系统的控制器。51单片机集成度高、体积小、有很高的可靠性，控制功能强，扩展性能好，非常容易构成应用系统。但是51单片机运行速度很慢，I/O驱动能力很弱，功耗很高而且抗干扰能力不强。

综合考虑，最终采用方案1。

## 1.3 摄像头选择方案

方案1：采用陕西维视 MV-VD 系列工业摄像机。此摄像头最高采集频率为60 帧/s。陕西维视数字图像技术有限公司提供了摄像机在 VC6.0 下的底层驱动代码，因此在 VS2008 上，可以比较容易的编写摄相机驱动程序，控制相机的采集频率和其他一系列的相机参数。对相机采集回来的图片应用数字图像处理技术，对每一帧图片进行处理，获取球的位置信息。

方案2：采用iMac 拆机摄像头，该摄像头体积小、易于安装，支持各种分辨率，最大硬件分辨率 1280\*1024，720P高清，可改USB摄像头，且价格便宜。

考虑到此系统对图像的分辨率没有太大的要求，而且iMac拆机摄像头价格又远远低于MV-VD 系列工业摄像机，最终采用方案2。

## 1.4 电机选择方案

方案1：采用带有丝杆的直流减速电机。直流减速电机经过减速后对外输出力矩增加，板在倾斜过程中，丝杆连接处的水平距离变短，对丝杆有较大的截向的力，对平板的进一步运动有所阻碍。

方案2：采用舵机。舵机靠脉冲的宽度来控制其转动的角度，舵机转动的角度与脉冲宽度成线性关系，使用舵机带动曲柄连杆即可控制平板的倾斜，通过设置脉冲的宽度即可精确控制舵机转动的角度，曲柄滑块达到最低点与最高点时平板倾斜的角度已经完全能够满足小球运动所需的角度。

方案3：采用直线电机。直线电机可自由控制杆的伸长和缩短，其速度为4cm每秒，最大伸缩长度为10cm。但是直线电机响应速度很慢，达不到小球运动所需的速度。

考虑到角度倾斜准确，最终采用方案2。

## 1.5 图像处理器选择方案

方案1：采用树莓派 2 Fire处理器。该处理器为四核A9处理器，运行主频1.4GHz，具有1GB内存，依托Debian/Android的强大生态系统，以及各种各样的扩展配件，树莓派 2 Fire兼容树莓派的IO口，可支持并行CMOS摄像头接口，和1路专用调试串口，对图像处理具有强大的优势。

方案2：它采用高性能的ARM/Cortex-M32/32 位 RISC 内核，工作频率为 72MHZ，内置高速存储器，以及丰富的 IO 设备和外部接口。由于图像处理需要高速的处理速度，STM32对图像处理略显卡顿。

综合考虑可行性及效果，最终采用方案1。

**2 理论分析与计算**

**2.1 摄像头采集原理**

景物通过镜头生成的光学图像投射到光学传感器表面上，然后转换为电信号，经过A/D转换后变为数字图像信号，再送到数字信号处理芯片中加工处理，再通过USB接口传输到电脑中处理，通过显示器就可以看到图像了。在滚球控制系统中具体来说就是摄像头按一定的分辨率，以扫描的方式采集图像上的点，当扫描到某点时，就通过图像传感芯片将该点处图像的灰度转换成与灰度一一对应的电压值，然后将此电压值通过视频信号端输出。

**2.2 小球检测原理**

小球位置检测是控制板球系统的关键。在树莓派对图像处理之前，需要通过摄像头对平板进行拍照以获取平板和小球的位置信息，将采集到的图片首先进行灰度处理，再进行边缘检测转化为二值图像从而得出小球位置信息。具体流程如图2-1所示。



**图 2-1 小球检测原理流程图**

边缘检测步骤：

1）将彩色图像转换为灰度图像，用高斯平滑滤波对图像进行处理，去除噪声。

2）用高斯的一阶微分对图像进行滤波，获得较好的梯度边缘。

3）对梯度进行非极大值抑制和滞后阀值处理得到图像的边缘。

4）采用双阀值算法检测和连接边缘。设置检测强边缘和弱边缘的2 个阀值。当检测到的边缘点的阀值高于强边缘的阀值，则为强边缘，输出边缘点。当检测到边缘点的阀值介于强边缘的阀值和弱边缘的阀值之间时，认为是弱边缘点，当且仅当弱边缘与强边缘相连时，弱边缘才被输出。

**2.3 小球运动控制原理**

滚球控制系统采用在工业控制中得到广泛运用的PID算法，因为采用的是离散计算，所以这种PID算法又称为数字PID，数字PID控制算法可以分为位置试PID和增量式PID，在滚球控制系统中采用的是位置式PID。

常规模拟PID控制的控制规律可用下式描述：

(2-1)

其中：为期望值与实际值之差、Kp为控制器的比例参数、为积分时间、为微分时间。

现在PID控制的实现大都不采用模拟电路的模式，而是采用数字形式，所以它只能根据采样时刻的偏差来计算控制量，而不能像模拟控制那样连续输出控制量，进而连续控制。因而3.1式中的积分项和微分项不能直接使用，必须要经过离散化处理。离散化处理的方法为：以T为采样周期，K为采样序号，则离散采样时间KT对应连续时间t，用一阶后向差分式近似代替积分，可作如下近似变换：

(2-2)

其中为表示方便令=

式3.2代入式3.1得离散式PID表达式：

（2-3）

或

(2-4)

滚球系统将采集到的小球的位置信息在两个相互正交方向分别进行PID运算，将运算结果作用到PWM的脉宽上，以控制小球的滚动。

**3 系统实现**

**3.1 单片机管脚图**

STM32F103单片机作为主控制器具有优异的实时性能以及高性能模拟技术和丰富的外围模块，其指令系统功能强大、效率高，可以采用固件库开发，不必接触底层寄存器，大大缩短开发周期。

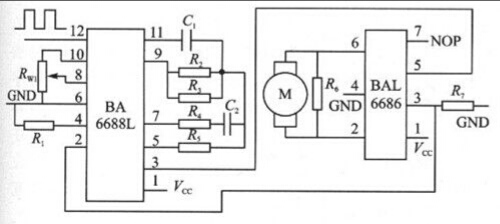
系统中STM32F103接收树莓派反馈的信号，从而根据小球的位置来控制X轴和Y轴舵机运动，使小球达到运动要求。单片机采用C语言编程，目标代码质量高，编译效率高。单片机最小系统电路图如图4-1所示。



**图 3-1 单片机管脚图**

**3.2 舵机驱动电路**

舵机的控制信号为周期20ms的脉宽（PWM）调制信号，其中脉冲宽度从0.5ms-2.5ms,相对应舵盘的位置为0-180度，呈线性变化。给舵机提供一定的脉宽，它的输出轴就会保持在一个相对应的角度上，直到给它提供一个另外宽度的脉冲信号，它才会改变输出角度到新的对应的位置上。舵机内部有一个基准电路，产生周期20ms,宽度1.5ms的基准信号，有一个比较器，将外加信号与基准信号相比较，判断出方向和大小，从而产生电机的转动信号。舵机驱动电路图如图4-2所示：



**图 3-2 舵机驱动电路**

**3.3 显示模块原理**

OLED是指在电场驱动下通过载流子注入和复合导致发光的现象。其原理是用ITO玻璃透明电极和金属电极分别作为器件的阳极和阴极，在一定电压驱动下，电子和空穴分别从阴极和阳极注入到电子和空穴传输层，然后分别迁移到发光层，相遇形成激子使发光电子激发，后者经过辐射后发出可见光。辐射光可从ITO一侧观察到，金属电极膜同时也起了反射层的作用。显示模块电路图如图4-3所示：



**图3-3 显示模块原理图**

**3.4 图像处理器树莓派**

树莓派是一个低功耗，三星s3c2451的arm处理器。树莓派 M3采用三核

A53高性能处理器S5P6818，动态运行主频400M-1.4GHz,集成千兆以太网卡、WiFi、蓝牙，并采用AXP228电源管理芯片。可支持软件开关机，并采用MicroUSB供电，板载陶瓷天线。体积足够小，接口却丰富，树莓派 M3引出了视频输入/输出接口，千兆以太网口，12S接口，3.5mm音频输出接口，更是留出了四个USB接口，带串口调试功能。

**3.5 软件实现**

滚球控制系统上电后，首先对各模块进行初始化，接着摄像头开始拍照进行

图像采样。平板上每个点都对应着不同的像素，树莓派对图像进行处理，得到每个点的横纵坐标。树莓派不停的发送数据，STM32F103通过串口接收数据，从中提取出小球所在位置的横纵坐标。PID算法调节舵机转动，从而使小球按照要求运动。软件流程设计图如图3-4所示：



**图3-4 软件设计流程图**

# 4 系统测试

**4.1测试仪器**

电路测试中使用的主要仪器如表4-1所示。

**表4-1 测试仪器**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **编号** | **名称** | **型号** |
| 1 | 数字万用表 | UT39A |
| 2 | 示波器 | TEK2261 |
| 3 | 秒表 |  |

## 4.2 指标测试结果

各项指标如表4-2所示。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **题目要求** | | **完成情况** | **分析** |
| **基本**  **部分** | （1）将小球放置在区域2，控制使小球在区域内停留不少于5秒。 | 已完成。10次测试中每次都可在区域2内静止 | 系统平衡性较好，有一次是因为小球没放稳 |
| （2）在15秒内，控制小球从区域1进入区域5，在区域5停留不少于2秒。 | 部分完成。四次在15秒内完成要求，一次超过15秒。 | 系统整体情况较稳定，有时候舵机反应较慢导致延迟。 |
| （3）控制小球从区域1进入区域4，在区域4停留不少于2秒；然后再进入区域5，小球在区域5停留不少于2秒。完成以上两个动作总时间不超过20秒 | 部分完成。可完成指定动作但超过20秒。 | 执行动作较多，系统反应迟缓。 |
| （4）在30秒内，控制小球从区域1进入区域9，且在区域9停留不少于2秒。 | 未完成 |  |

续表4-2所示

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **题目要求** | | **完成情况** | **分析** |
| **发挥**  **部分** | （1） 在40秒内，控制小球从区域1出发，先后进入区域2、区域6，停止于区域9，在区域9中停留时间不少于2秒。 | 未完成 |  |
| （2） 在40秒内，控制小球从区域A出发、先后进入区域B、区域C，停止于区域D；测试现场用键盘依次设置区域编号A、B、C、D，控制小球完成动作。 | 未完成 |  |
| （3） 小球从区域4出发，作环绕区域5的运动（不进入），运动不少于3周后停止于区域9，且保持不少于2秒。 | 未完成 |  |
| （4） 其他。 | 未完成 |  |

**6 总结**

滚球控制系统以STM32F103为主控制器，以树莓派为图像处理器，STM32F103根据树莓派反馈的小球位置信息使用PID调节舵机转动，使小球完成各种要求的运动。滚球控制系统对硬件的要求和软件一样严格，这就要求在搭硬件时尺寸设计精确，并且装配准确，将硬件的误差降到最低。滚球控制系统因为硬件的原因还存在一定的误差，可通过精确设计尺寸及合理装配来避免。软件方面代码运行速率较慢，今后可以优化算法来提高代码运行速率。

**参考文献**

[1] 黄争著.德州仪器高性能单片机和模拟器件在高校中的应用和选型指南.上海:德州仪器半导体技术（上海）有限公司大学计划部,2010

[2] 全国大学生电子设计竞赛组委会.全国大学生电子设计竞赛获奖作品选编[M].北京理工大学出版社，2015

[3] 康华光.电子技术基础[M]. (5版).高等教育出版社,2005

[4] 童诗白等.模拟电子技术基础.第3版[M].高等教育出版社,2001

[5] 孙传友等.测控系统原理与设计(第二版)[M].北京航空航天大学出版社,2011

[6] 阎石.数字电子技术基础(5版)[M].高等教育出版社,2006

[7] Fahim, Amr M.时钟发生器在片上系统处理器中的应用[M].北京科学出版社, 2007

[8] 童诗白等.模拟电子技术基础.第3版[M].高等教育出版社,2001

[9] 黄智伟.全国大学生电子设计竞赛系统设计(第二版)[M].北京航空航天大学出版社,2011

[10] 刘守义等.单片机技术基础[M].西安电子科技大学出版社，2007