



2014年陕西省大学生“TI”杯 模拟模数混合电路应用设计 竞赛获奖作品选编

全国大学生电子设计竞赛陕西赛区组委会 编



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

2014 年陕西省大学生 “TI” 杯 模拟模数混合电路应用设计竞赛获奖作品选编

全国大学生电子设计竞赛陕西赛区组委会编

西安电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

2014 年陕西省大学生“TI”杯模拟模数混合电路应用设计竞赛获奖作品选编/全国大学生电子设计竞赛陕西赛区组委会编. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2014.11

ISBN 978-7-5606-3556-9

I. ① 2… II. ① 全… III. ① 高等学校—混合电路—电路设计—科技成果—陕西省—2014
IV. ① TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 258961 号

策 划 高维岳

责任编辑 马武装

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2014 年 11 月第 1 版 2014 年 11 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 22.5

字 数 535 千字

印 数 1~1000 册

定 价 48.00 元

ISBN 978-7-5606-3556-9/TN

XDUP 3848001-1

如有印装问题可调换

编委会名单

顾问：傅丰林

主任：李建东

副主任：何玉麒 李浩 曾平 郭宝龙 郭涛

沈洁 胡方明 阔永红

主编：郭涛

副主编：胡晓娟 黎娜 王小娟 高维岳

编委：（以姓氏首字母为序）

敖正军 蔡觉平 曹闹昌 曹庆年 陈超波 陈立斌

樊波 葛海波 郭华 郭万有 郝鹏飞 赫建国

黄伟 黄建兵 黄文淮 惠飞 吉武庆 李红波

李宁 李战武 刘成 刘军 刘少伟 刘先锋

骆一萍 欧建军 潘亚涛 任爱锋 申忠如 师剑军

石磊 唐红 汪宏武 王津 王海 王航宇

王宏斌 王加祥 王水平 王新怀 王银 王中方

韦宏利 魏奕 魏坤 肖庆高 谢楷 杨建国

阴亚芳 余平生 袁晓光 张安堂 张翠翠 张俊斌

张俊涛 张乐芳 张鹏辉 张倩 张强 张清江

张显斌 张艳肖 张远 赵罡 赵广胜 赵建

赵小强 周佳社 周强

前 言

学科竞赛是对一所学校教学水平的检验，是培养大学生实践创新能力和团队合作精神的重要手段。

全国大学生电子设计竞赛是教育部高等教育司、工业和信息化部人事教育司共同主办的全国性大学生科技竞赛活动。这项活动对于促进高等学校教学建设和教学改革，提高大学生的综合素质，培养大学生的创新精神和实践能力具有重要作用。

陕西赛区多年来积极参加该项大赛，参赛规模及竞赛成绩不断创造新高。2009年以来，赛区共获全国奖项106项。值得一提的是：在2011年的全国大学生电子设计竞赛中，西安电子科技大学邵明绪、孙永强、杨福荣三位同学组成的竞赛团队，代表陕西赛区夺得该项赛事的最高奖“瑞萨杯”，实现了历史性的突破。陕西赛区的竞赛组织工作也得到了全国组委会的认可与表彰，并多次获得全国赛区“优秀组织奖”。

根据全国电赛章程“在双数的非竞赛年份，鼓励各赛区根据自身条件适时组织开展赛区的大学生电子设计竞赛”的要求，也为进一步深化教育教学改革，推动各高校在教学内容、课程体系与实践教学的改革步伐，努力构建创新人才培养新模式，2008年，由陕西省教育厅主办、西安电子科技大学承办的首届“陕西省大学生德州仪器(TI)杯模拟及模数混合电路应用设计竞赛”正式启动。其目的在于为同学们设计丰富的实践项目和内容，搭建各高校交流互促的良好平台，进一步加强学生工程实践素质的培养，提高学生的实践动手能力，加深其对基础与专业知识的理解与应用，为全省培养优秀的电子信息类技术人才作出贡献。

2014年，恰逢全国大学生电子设计竞赛20周年之际，为了总结全省在电子信息类竞赛方面的优秀成果，陕西赛区组委会秘书处的同志认真筹划、精心组织编写了《2014年陕西省大学生“TI”杯模拟模数混合电路应用设计竞赛获奖作品选编》。本书对我省广大的电子类学科竞赛参赛学生、各高校竞赛指导老师及相关管理者都具有较好的参考价值。

希望本书能够有助于促进我省学科竞赛水平及成绩的进一步提高，有助于进一步深化相关专业教育教学改革、创新人才培养模式、提高人才培养工作质量和水平。

2014年9月30日

目 录

B 题 金属物体探测定位器

作品 1	2
作品 2	11
作品 3	19
作品 4	26
作品 5	34
作品 6	46
作品 7	52
作品 8	59
作品 9	65
作品 10	74

C 题 锁定放大器

作品 1	86
作品 2	94
作品 3	103
作品 4	109
作品 5	116
作品 6	127
作品 7	138
作品 8	144

D 题 音频功率放大器及啸叫抑制设计

作品 1	154
作品 2	164
作品 3	174
作品 4	183
作品 5	191
作品 6	199
作品 7	209
作品 8	215

F 题 电能无线传输装置

作品 1	222
作品 2	230
作品 3	238
作品 4	245
作品 5	254
作品 6	260
作品 7	266
作品 8	271
作品 9	280
作品 10	285
作品 11	291

G 题 风洞控制系统

作品 1	296
作品 2	303
作品 3	310

H 题 自动增益控制放大器

作品 1	318
作品 2	328
附录 A	337
附录 B	345
后记	352

B 题 金属物体探测定位器

作品 1

参赛学校：长安大学

参赛队员：何朋朋 柯 飞 朱良玉

指导教师：惠 飞

摘要：本设计实现了一种具有金属物探测定位及指示功能的两自由度移动探测平台。该平台采用一片 MSP430 单片机作为系统控制核心，两个蓝牙传输设备作为数据传输装置，LDC1000EVM 作为金属传感探头，步进电机控制的滑动导轨作为探头载体，LED 和蜂鸣器用作指示装置。LDC1000EVM 是 TI 公司研发的一款电感数字转换器，进行金属探测时，将探测带的线圈电感量、涡流损耗转换为数字信号经单片机处理，单片机根据处理结果分析所探测金属物的位置，可以控制步进电机进而找到金属目标物，并用指示装置进行指示。经过测试，本系统较好的完成了题目所给的全部指标，实现了金属物探测定位功能。

关键字：MSP430；LDC1000EVM；金属探测；定位

1 设计任务与要求

1.1 设计任务

设计并制作一个可自主移动的金属物体探测定位器(以下简称探测器)，可探测置于玻璃板下的金属物体并给出定位指示。该探测器需采用 TI 公司 LDC1000 电感/数字转换器评估板(AY-LDC1000)作为金属物体探头，探头上应有定位指针，以给出明显定位指示。探头可在水平放置的玻璃板上移动。用直径 $\phi 2\text{ mm}$ 的铁丝围成约 $50\text{ cm} \times 50\text{ cm}$ 的正方形闭合框作为探测区边界置于玻璃板下，示意图如图 1 所示。

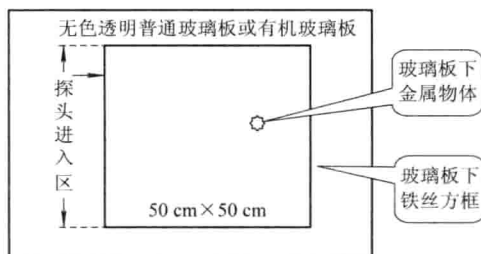


图 1 金属物体探测环境示意图

1.2 设计要求

(1) 在探测区域内某处(距探测边界 $\geq 5\text{ cm}$)玻璃下放置一枚直径约 19 mm 的镀镍钢芯 1 角硬币(第五套人民币的 1 角硬币)。探头能从“探头进入区”一侧任意指定位置和方向自行进入探测区(铁丝框包围区域)。通过探测，定位指针应指在硬币边沿之内，探测定位速度越快越好，且探测定位总时间应不超过 2 分钟。完成定位时给出声-光指示，此后探头不

得再移动。

(2) 将 1 角硬币更换成直径约 25 mm 的镀镍钢芯 1 元硬币(第五套人民币 1 元硬币),重复要求(1)的探测过程。定位完成后,定位指针与硬币圆心之间的定位误差应控制在 5 mm 以内;探测定位速度越快越好,探测定位总时间不应超过 2 分钟。完成定位时给出声-光指示,此后探头不得再移动。

(3) 将硬币改为自制圆铁环(用 $\phi 2$ 铁丝绕制),铁环外直径 4 cm。重复要求(1)的探测过程,应使定位指针尽可能指向铁环圆心,定位误差应控制在 5 mm 以内;完成定位时给出声-光指示,此后探头不得再移动,探测定位总时间不应超过 3 分钟。

(4) 其他功能自主发挥。

2 系统设计方案与论证

2.1 主控模块的论证与选择

金属物体探测定位器要求系统的定位精度高,定位速度快,因此选择合适的控制器是满足探测器快速定位和精确设计要求的基础。

方案一:采用 STC89C52 单片机作为主控芯片,STC89C52 单片机是 STC89C51 单片机的增强板,是 STC 公司生产的一种低功耗、高性能 8 位微控制器,具有 8K 可编程 Flash 存储器,总共有 32 位 I/O 接口,3 个 16 位定时器/计数器,4 个外部中断,全双工串行口等资源。但是该控制器主频低,编程繁琐,外设资源少。

方案二:采用 STM32F103ZET6 作为主控芯片,STM32 系列单片机是基于专为要求高性能、低成本、低功耗的嵌入式应用专门设计的 ARM Cortex-M3 内核。它具有 512 K 片内 Flash,64 K 片内 RAM,片内 Flash 支持在线编程(IAP),多达 80 个 I/O(大部分兼容 5 V 逻辑),4 个通用定时器,2 个高级定时器,2 个基本定时器,3 路 SPI 接口,2 路 I²S 接口,2 路 I2C 接口,5 路 USART 等丰富的资源,但是该芯片开发周期长,编程复杂,对底层库函数使用和外设要求高。

方案三:采用 MSP430 系列单片机,MSP430 单片机是美国德州仪器公司推向市场的一种 16 位超低功耗、具有精简指令集的混合信号处理器。它将多个不同功能的模拟电路、数字电路模块和微处理器集成在了一个芯片上。处理能力强大,运算速度快,片内资源丰富以及其功耗超低,并且具有独立驱动液晶电路的硬件接口,可以满足本题的要求。

根据题目要求,性能和成本的比较,我们选择方案三,选择 MSP430F5529 作为主控芯片,其具有优秀的低功耗性能,同时其内部时钟通过倍频高达 25 MHz,可以较好的满足本题目的要求。

2.2 电机的选择与论证

执行电机模块的选择是整个设计的关键,选择合适的电机能更好地达到设计的精度要求。

方案一:采用步进电机。步进电机可将电脉冲信号转变为角位移,电机的转速、停止的位置只取决于脉冲信号的频率和脉冲数,而不受负载变化的影响,因此,不但控制精度

高,而且简单可靠。如果负荷不超过步进电机所能提供的动态转矩值,就能够立即使步进电机启动或停止。

方案二:采用舵机。舵机的转动位置是内部反馈的,位置和频率呈线性关系,因此给一个固定频率的 PWM 波,舵机就会转到一个特定的位置,无需驱动电路,绝对式的系统,无论来回多少次,都不会有误差累积。但是其价格较贵,此外,舵机的转动需要时间较长,速度较慢。不能满足题目的转动速度要求。

方案三:采用普通直流电机。可实现直流电能和机械能互相转换,具有优良的调速特性,调整范围广,过载能力强,能承受较大重物。由于本系统是控制两轴运动,如果采用普通直流电机,电机动作的精度需要很好的伺服电路和程序的配合控制,增加了系统的复杂度。

考虑到精确控制探测速度,确定金属位置以及电机成本,我们选择方案一。

2.3 电机驱动模块的选择与论证

方案一:采用购买的 L298N 集成芯片,该集成电路带散热器和光电耦合器,可以保护单片机不受电机的影响,最大程度的保护单片机。但是经过我们连线调试之后,发现该种芯片一个致命的缺点,在 PWM 输入达到 kHz 级别的时候,输出端波形严重畸变甚至直接输出高电平,导致电路不能运行在所给的频率下,经分析可能是光耦本身截止频率就在 kHz 级别,一端输出大电压之后,带宽降低,不能满足要求。

方案二:采用 SM-202A 驱动细分器可以改善电机的运转性能,使用常规的电机驱动,电机每运行一步其绕组内的电流变化较大,电机电流的巨大变化,势必会引起电机运转的振动和噪音。而使用细分器后绕组内的电流变化很小,且其电流是一正弦曲线规律变化,这样就大大的减少了电机的振动和噪音。在本次设计中,采用 SM-202A 细分器来驱动步进电机,通过改变 A、B 相电流的大小改变合成磁场的夹角,从而将一个步距角细分为多步。SM-202A 细分器最高 64 细分,使得相同的电机可以输出更大的速度和功率。光电隔离信号输入/输出驱动电流从 0.15 A/相到 1.0 A/相连续可调,可以驱动任何 1.0 A 相电流以下两相混合式步进电机。

为解决电机转动时因振动而出现精度不够的问题,选择方案二。

2.4 探头载体结构

方案一:在指定区域内寻找金属目标物,可以采用以小车为金属探头的载体,MSF430 作为控制器处理传感器数据,通过实时处理数据控制小车方向,最终实现目标定位。但是题目时间限制很短,并且要求定位精度很高,采用小车制导很难有有效的算法在要求的时间内实现题目要求,所以此方案没有办法实现。

方案二:通过方案一可以发现,在指定区域内寻找目标的关键在于速度和探测扫描区域的全面性,所以,可以考虑采用滑动导轨为金属探头载体,这样可以很好的控制扫描速度和方向,同时,探测扫描也不会像小车那样留下区域盲点。

综上所述,方案二比方案一更符合题目要求,最终采用方案二。

2.5 电源模块

用传统的 L78XX 系列和 LM117 三端稳压芯片,得到稳定的 5 V 电压和 3.3 V 电压,

用于对 LCD 液晶屏和单片机供电。78 系列和 LM 系列三端稳压 IC 片组成的稳压电源所需外围元件极少，电路内部还有过流、过热及调整管的保护电路，使用起来可靠、方便，而且价格便宜，在电源设计中是常见的稳压芯片。

3 理论分析与计算

3.1 探测器组成方案与工作原理分析

一个交流电流流过线圈会产生交变磁场。如果导电材料(如金属目标)进入线圈的附近，该磁场将在目标的表面上引起循环电流(涡流)。这些涡流是距离、尺寸和目标等因素的函数。目标表面的涡流可以产生自己的磁场。这种机制相当于变压器，其中所述线圈是主芯，涡流是次级磁芯。两个线圈之间的电感耦合取决于距离和形状。图 2 显示了一个简单的模型。

金属目标物的表面上产生的涡流可以建模为一个变压器，如图 3 所示。

初级线圈和次级线圈之间的耦合距离和导体的特性的功能如图 3 所示。其中电感 L_s 是线圈的电感， R_s 是线圈的寄生串联电阻。电感 $L(d)$ 是距离 d 的函数，是金属目标物的耦合电感。同样， $R(d)$ 是该涡流的寄生电阻。

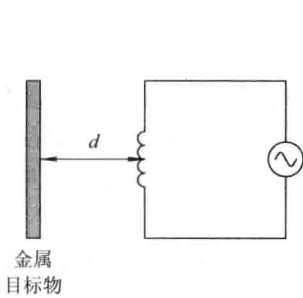


图 2 金属目标物的电感模型

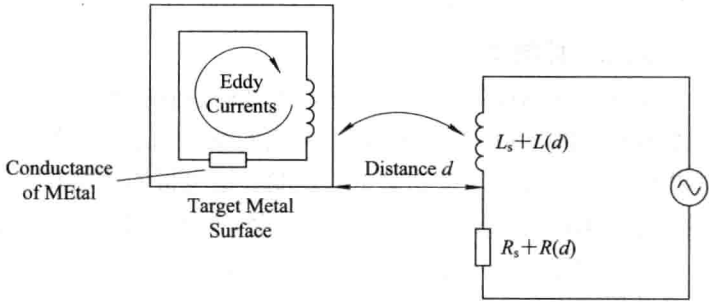


图 3 金属目标物可以等效为关于 L 和 R 的涡流模型

LDC1000 不直接测量串联电阻，它测量的是等效并联谐振阻抗 R_p ，如图 4 所示。

并联谐振阻抗 $R_p(d)$ 可由下式给出：

$$R_p(d) = \frac{1}{R_s + R(d)} \times \frac{L_s + L(d)}{C}$$

$$\text{此时, } R_p = \frac{1}{R_s} \times \frac{L}{C}.$$

谐振阻抗可以从数字输出码的计算得出(单位为 Ω)：

$$R_p = (R_{p_MAX} \times R_{p_MIN}) / (R_{p_MIN} \times (1 - Y) + R_{p_MAX} \times Y)$$

其中：

$$Y = \text{Proximity Data} / 215$$

Proximity data is the LDC output, register address 0x21 and 0x22

R_{p_MAX} 和 R_{p_MIN} 的计算：

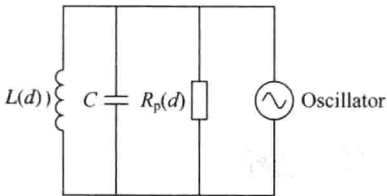


图 4 R_s 在 LC 谐振电路中的等效电阻

经过理论计算和实际的不断调试,本次试验的 R_{p_MAX} 和 R_{p_MIN} 分别设置为 0x15 和 0x38 时可以很好地完成实验要求,其中, R_{p_MAX} 和 R_{p_MIN} 的参考值可以从 LDC1000 的数据手册中数据表格中获得。

电感的计算:

$$L = \frac{1}{C \times (2\pi f_{\text{sensor}})^2}$$

输出数据速率:

LDC1000 的输出数据速率取决于传感器的频率 f_{sensor} 和响应时间(Response Time):

$$\text{输出数据速率} = f_{\text{sensor}} / (\text{Response Time} / 3)$$

3.2 检测与控制算法

3.2.1 检测原理

本次方案采用 TI 公司的 LDC1000EVM 作为金属传感器, MSP430 实时处理采集得到数据,并进行实时处理,以便检测是否有金属目标物存在。

通过分析传感器采集的数据曲线变化可以看出,当没有目标物时,采集的数据点趋于平稳,当检测到目标物时,数据发生急剧变化,可以在程序处理时设置一定的阈值,以便进行检测目标物。同时,通过多次实际测试,可以发现在目标物中心附近数据变化值达到峰值,可实现精确定位。

3.2.2 控制算法

本次方案的控制算法主要是利用滑轨进行行列扫描,在扫描过程中通过传感器采集实时数据和 MSP430 实时处理,当采集的数据超过一定的阈值时,说明探头检测到了金属目标物的存在,进而,控制器可以控制步进电机的速度和方向,并通过对速度的微调,最终实现将探头置于金属目标物的中心位置(铁环和硬币的中心)。

在本次方案中,速度的控制是关键,由于题目要求在 2 分钟中进行精确定位,所以检测过程可以分为两步,第一步速度快一些,先粗略定位目标物的位置,第二步速度相对慢一些,进行精确定位。

4 电路与程序设计

4.1 硬件选择

通过分析题目的具体要求,本方案中采用的相关硬件如下:

MCU: MSP430;

金属传感器: LDC1000EVM;

控制载体: 带有步进电机的滑轨;

其他: 玻璃(厚度 2 mm), 蓝牙传输设备, LED, 蜂鸣器等。

4.2 电路设计

(1) 主控单元硬件电路连接图。

本方案的控制单元电路连接图如图 5 所示，步进电机电路连接图如图 6 所示。

(2) 蜂鸣器和 LED 电路。

蜂鸣器与 LED 的控制端选用相同引脚，以节省 I/O 口。三极管 8550 构成开关电路，当控制引脚输出低电平时，蜂鸣器发声，并且 LED 发光。蜂鸣器和 LED 电路图如图 7 所示。

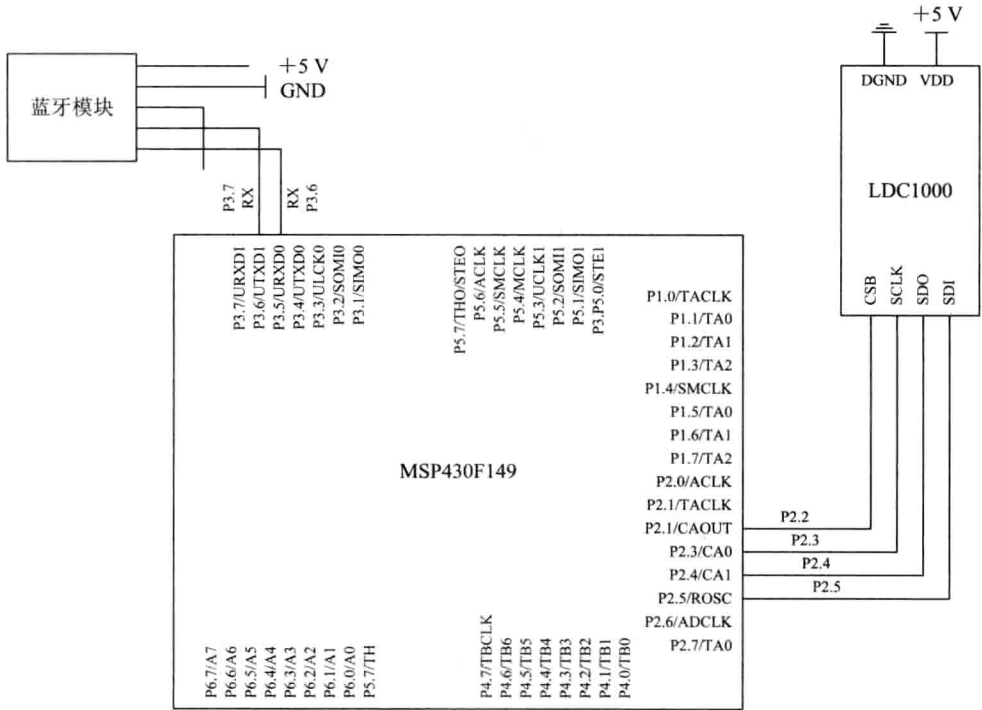


图 5 控制单元电路连接图

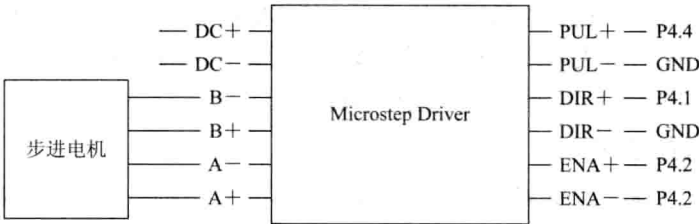


图 6 步进电机电路连接图

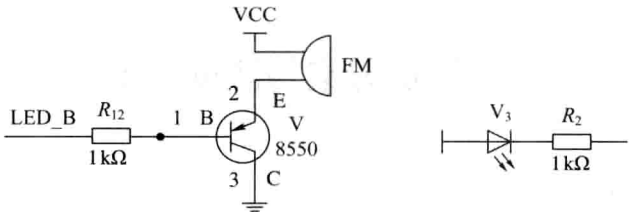


图 7 蜂鸣器和 LED 电路图

4.3 程序设计

4.3.1 程序设计流程图

本方案程序设计流程图如图 8 所示。

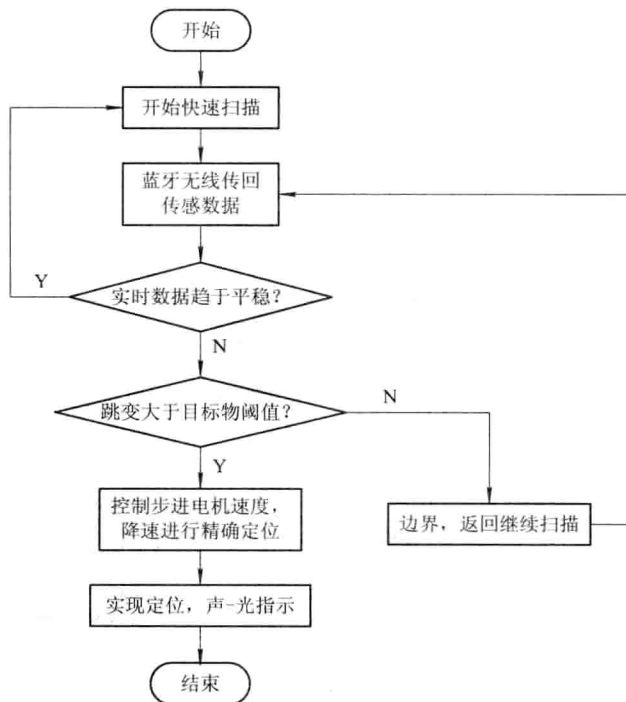


图 8 程序设计流程图

4.3.2 检测程序设计

检测程序主要完成 LDC1000EVM 寄存器的设置和利用 MSP430 对传感器采集的数据进行处理, 同时检测可能发生的越界意外行为。当 MSP430 检测到铁丝边缘和金属目标物时应进入不同的功能函数代码段。检测到边缘时, 控制器应使电机转动完成反向; 当检测到目标物时, 使电机停止, 然后以低速进行精确定位。

4.3.3 控制程序设计

控制程序通过控制器 MSP430 控制步进电机的速度和方向。由于探头越界时, 有可能导致电机损坏, 因此, MSP430 同时还要控制越界的发生, 在滑轨边界处(检测范围之外)设置触动开关检测越界行为, 一旦触动开关发出相关信号, 立即控制电机及时反向。

5 测试方案与测试结果

5.1 滑轨速度测试

本次方案的关键和应该首要解决的是速度问题, 如果滑轨速度过快, 可能导致实验数

据采集不够理想或者采集不到，同时，也可能造成在扫描区域内存在较大的扫描盲区。为了兼顾试验的时间限制和数据采集的准确性，通过实验测试，将滑轨纵向速度调节的较大，横向的速度调节的较慢，这样，既可以保证扫描速度，也可以保证扫描不存在盲点。

5.2 铁丝边缘测试

通过在程序中设置一定的阈值条件，使 LDC1000EVM 在检测到铁丝边缘时，传回的数据能够使控制器产生变向处理，使得滑轨运动方向反向(即 LDC1000EVM 反向)，继续进行探测。但如果阈值设置不当，在通过铁丝边缘时，滑轨会在铁丝附近振荡，或者检测不到铁丝边缘的存在。图 9 为铁丝边缘的传感数据图形。

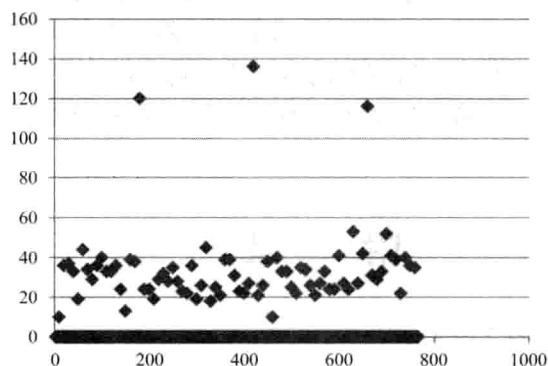


图 9 铁丝边缘的传感数据图形

5.3 金属目标物测试

金属目标物的检测包括硬币的检测和铁环的检测。在上述参数的设定下，可以基本实现题目要求。图 10 为硬币的传感数据图形。

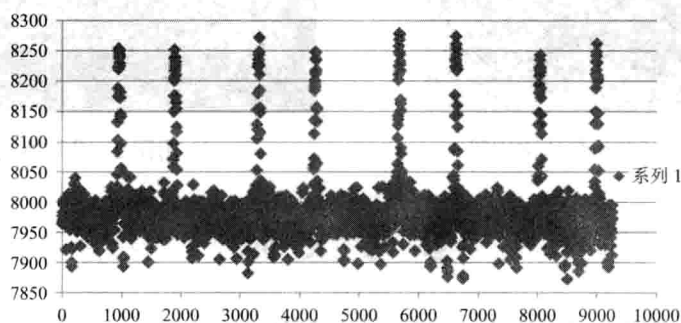


图 10 硬币的传感数据图形(测试)

5.4 金属目标物检测时间测试

当检测到 1 角硬币时，电机停转，蜂鸣器响，LED 灯亮，指针指在硬币内部，多次测试用时在 1 分钟 20 秒以内。

当检测到 1 元硬币时，电机停转，蜂鸣器响，LED 灯亮，指针指在硬币中心，平均误差 3 mm 左右，多次测试用时 1 分 30 秒以内。

当检测到外径为 4 cm 铁环时,电机停转,蜂鸣器响,LED 灯亮,指针指在铁环中心,平均误差 4 mm 左右,多次测试用时 1 分 50 秒以内。

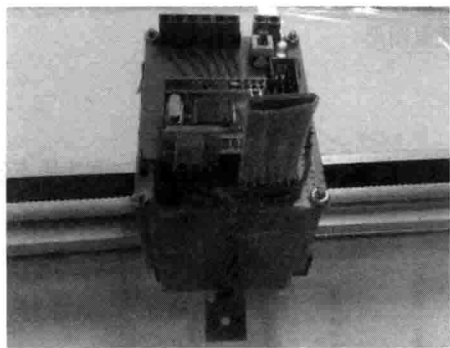
6 设计总结

本次比赛中遇到的最大困难是探测器在二维平面上准确自动移动的机械结构问题,两轴滑台的制作和调试花费时间较多。同时,为了获取稳定可靠的检测信号,也尝试用自己绕线圈等方法获取对比数据,并对获取数据进行分析及采用不同的滤波方法剔除杂值。四天三夜,体验到了很多东西,如团队的力量、沟通的重要性。时间的紧迫也对我们的工作效率和快速获取新知识的能力提出了很大挑战,这些经验对我们以后的工作和学习都会有很大帮助。

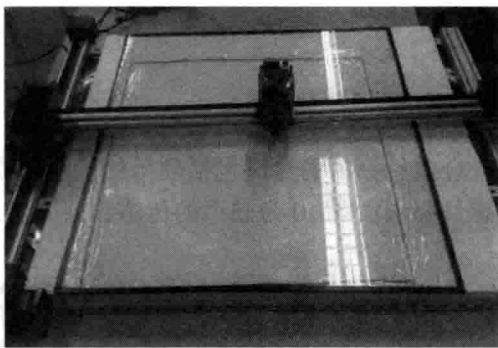
在比赛的最后,要感谢学校和学院老师的给力的后勤工作,使我们能够在不被烦扰的情况下,用最充足的时间完成比赛。感谢大赛的组委会,提供这样优秀的平台和机会让我们得到充足的锻炼。

附录

系统实物如附图 1 和附图 2 所示。



附图 1 检测-蓝牙传送模块实物图



附图 2 作品实物图

参考文献

- [1] 古志坚. 基于单片机的步进电机控制系统研究[D]. 华南理工大学, 2013.
- [2] 周灵彬, 张靖武. PROTEUS 的单片机教学与应用仿真[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2008, 01: 76-79.
- [3] 王海燕, 杨艳华. Proteus 和 Keil 软件在单片机实验教学中的应用[J]. 实验室研究与探索, 2012, 05: 88-91.
- [4] 凌振宝, 王君, 邱春玲. 基于 MSP430 单片机的智能变送器设计[J]. 仪表技术与传感器, 2003, 08: 32-33.
- [5] 潘瑞华, 邹立华. MSP430x32x 系列超低功耗单片机[J]. 电子世界, 2000, 11: 28-29.