

# 组合秤优化算法研究及控制系统设计

吴泓达, 邹新哲\*, 张福兴\*, 刘志磊, 赵宗圣

大连工业大学, 辽宁 大连

收稿日期: 2022年4月14日; 录用日期: 2022年7月12日; 发布日期: 2022年7月21日

## 摘要

针对称重物品形状不规则、质量不均匀造成的称重精度下降及效率低问题, 设计开发一款基于STM32单片机的嵌入式组合秤控制系统。硬件方面分别对系统的电源模块、主控模块、A/D数据采集模块、步进电机驱动模块进行了电路的规范化设计。同时运用经典TRIZ理论体系的知识, 对组合秤工作中的实际问题进行理论分析和归纳, 进而设计组合算法解决。最后经现场测试, 记录实验数据佐证, 证明组合秤控制系统可以有效解决组合秤在实际案例应用中遇到的问题。

## 关键词

硬件电路, 组合秤, 算法

# Research on Optimization Algorithm and Control System Design of Combined Scale

Hongda Wu, Xinzhe Zou\*, Fuxing Zhang\*, Zhilei Liu, Zongsheng Zhao

Dalian Polytechnic University, Dalian Liaoning

Received: Apr. 14<sup>th</sup>, 2022; accepted: Jul. 12<sup>th</sup>, 2022; published: Jul. 21<sup>st</sup>, 2022

## Abstract

Aiming at the problems of falling weighing accuracy and low efficiency caused by irregular shape and uneven mass of weighing objects, an embedded combined scale control system based on STM32 single chip microcomputer is designed and developed. In terms of hardware, the standardized circuit design is carried out for the power module, main control module, A/D data acquisition module and stepping motor drive module of the system. At the same time, using the knowledge of classical TRIZ theory system, this paper theoretically analyzes and summarizes the practical problems in the work of combined scale, and then designs a combined algorithm to solve them. Finally, through

\*通讯作者。

the field test and recording the experimental data, it is proved that the combined scale control system can effectively solve the problems encountered in the practical application of the combined scale.

## Keywords

Hardware Circuit, Combinatorial Calculation, Algorithm

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着国家工业化水平的发展和生产能力的不断提高,食品包装行业正向着机械化、自动化方向发展[1]。商品零售超市如雨后春笋般的出现,市场上定量包装商品的种类和需求量越来越大,电脑组合秤需求也越来越大,而目前组合秤的核心技术依然掌握在少数几个发达国家手中,日本大和生产的ADW420系列产品,称重斗数为20,包装速度高达240包/min,定量精度一般在0.1~1g,代表着组合秤的世界先进水平[2]。在我国,各地的我国电脑组合秤正在蓬勃发展,但价位普遍较高,从而导致很多中小型企业没有经济能力去购买使用,他们想以相对便宜的价格购买组合秤来实现产品的自动化称量包装。目前,主要通过专用测量硬件的研发和控制方式的提高来进一步提高组合秤的称量精度和速度,然而只有对组合称量技术具有足够深入的了解,才能更优化控制系统进步来提高组合秤的各方面性能[3]。因此,为改变这一现状,本文设计一套使组合秤全自动运行的控制系统,首先利用数理统计的知识从理论层面分析如何使组合秤的称量精度高、速度快。只有透彻的了解组合秤计算方法和原理对产品合格率高低的影响,才能设计出响应快速且性能稳定的控制系统,以理论分析为依据根据设计需求对整个控制系统进行设计与实施,整个控制系统由硬件和软件两部分组成,通过软件程序的编写驱动硬件外设协同动作最终成功实现了组合秤的全自动运行。

## 2. 结构工作原理分析

### 2.1. 传统单体秤工作原理的分析

传统单体秤根据传感器内部的弹性体受力变形,内部应变片阻值发生变化,通过将电压信号解析、转换从而得到质量。但这需要物品必须稳定之后才能得到较精确的质量,在面对称量质量分布不均匀、形状不规则的物品时,有抗干扰能力差、称量速度较慢且精度不好把控等弊端,通常需要较长时间才能准确称出目标重量,因此效率较低[4]。

### 2.2. 动态组合秤工作原理的分析

动态组合秤通过更加有效地控制振幅,实现均匀给料,通过多次组合从而适用于大重量称重。由上料盘进行上料,通过用控制主振机和线振机的振动,抖动料直至其下落到下面的存料装置,接着通过单片机控制存料斗打开,使料继续下落到称量斗里,使用称量装置下面附带的电阻应变式称重传感器,称出来每个斗的重量。通过组合算法,找到最接近设定的目标,并且满足误差要求的组合。同时释放称料斗,使料下落进行下一步包装。

因为这个传感器具有能良好的线性度以及抗偏载能力，对于形状较小且不规则的物品进行称量时，该系统保证了系统高精度高速度的分析，可以达到满足于企业应用的水平。标准组合秤的出现虽然弥补了传统定量设备的不足，提高了定量产品包装的速度和精度[5]。但面对质量较小的物品时无法准确高效地给出其质量。

### 3. 组合算法的优化

#### 3.1. TRIZ 理论分析

当改善技术系统中某一特性或参数时，同时引起系统中另一特性或参数的恶化，这种矛盾就称为技术矛盾。工程中存在着大量的技术矛盾，利用 TRIZ 理论体系分析产品工作过程的不足之处，将实际问题转化为技术矛盾，之后就可以通过查矛盾矩阵表中的发明原理，归纳分析进而设计出一种有效的解决办法。

组合秤的精度和速度都是用户关心的主要参数，而根据实际生产中用户对于组合秤性能的要求，将组合计算分为高速度型和高精度型两种类型。工作速度快，测试精度较低；测试精度高，工作速度较慢。故组合秤的速度和精度构成了技术矛盾。由矛盾矩阵表 1 查到发明原理为：

**Table 1.** Contradiction matrix table  
**表 1.** 矛盾矩阵表

改善的参数	恶化的参数
速度、测试精度	速度、测试精度
	28, 32, 1, 24, 13

(28) 机械系统替代原理——利用物理场或其他的形式、作用和状态来代替机械的相互作用；

(32) 颜色改变原理——通过改变颜色或一些其它的的光学特性来改变对象的光学性质；

(1) 分割原理——以虚拟的方式或实物的方式将一个系统分成若干部分，以便分解或合并一种有益的或有害的系统属性；

(24) 借助中介物原理——使用中介物传递或完成所需动作；

(13) 反向作用原理——尝试以一种相反的方式来制造或执行。

#### 3.2. 优化算法的实现

##### 3.2.1. 高速度型组合算法

高速度型指的是按照允许的误差区间开始执行程序后，按照顺序进行组合运算。一旦出现允许误差范围内的组合，则停止本次组合，对合格组合进行输出并开始下一次的组合。高速度型算法计算量比较小，可以节省大量的运算时间，极大地提高了组合秤的组合速度。程序流程图如图 1 所示。

##### 3.2.2. 高精度型组合算法

高精度型指的是按照允许的误差区间开始执行程序后，依次进行组合计算，直到把所有的组合种类全部计算一遍，然后将满足要求的组合相互之间进行比较，选择其中与目标重量偏差最小的组合进行输出。高精度型算法最终选取的组合重量相较于高速度型算法更接近于目标重量，但相对来说消耗时间较长，适合用于对精度要求很高的产品。程序流程图如图 2 所示。

##### 3.2.3. 优化的组合算法

经过上两小节的组合算法比较，我们采用发明原理(1)分割原理和发明原理(13)反向作用原理来解决这一矛盾。首先，利用发明原理(1)分割原理通过递归函数来完成组合程序算法的实现。再利用发明

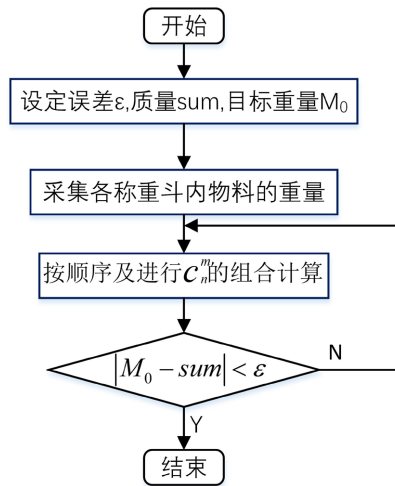


Figure 1. High-speed combined process  
图 1. 高速度型组合流程

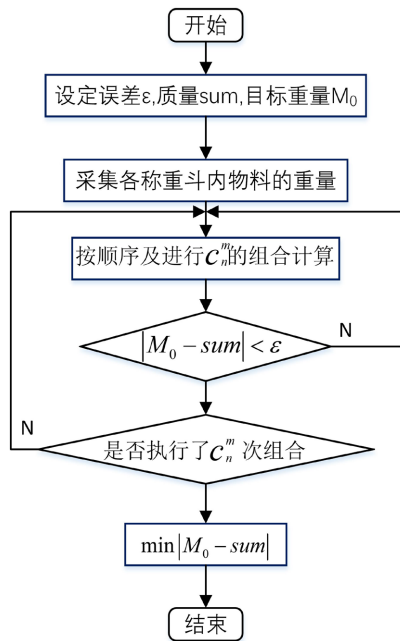


Figure 2. High-precision combinatorial process  
图 2. 高精度度型组合流程

原理(13)反向作用原理,使组合秤的速度、精度都得到了保证。为了能够更加直观的反映组合程序的设计过程,以  $C_{16}^4$  的组合计算为例进行介绍。总共有 16 个称重斗,取其中 4 个参与组合。组合称量的目标重量为  $M$ ,允许称量误差为  $\pm\epsilon$ ,从 16 个称重斗中选取 4 个进行组合,令这 4 个料斗对应的组合编号分别为  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ ,对应的重量分别为  $i$ 、 $j$ 、 $x$ 、 $y$ 。用  $m$  表示组合得到的重量,组合计算的程序流程如图 3。

由流程图可以看出组合算法程序的实现可以通过递归函数来完成。下面介绍算法的程序实现。下面程序中,浮点型数组  $a[n]$  为重量数组,负责存放每个称重斗得出的重量; $n$  表示称重斗总数;数组  $b[M]$  为组合数组,用来存储参与组合的称重斗元素,这里存储的是称重斗的下标。 $m$  表示满足要求的组合中称重斗的数量,  $M = m$ 。

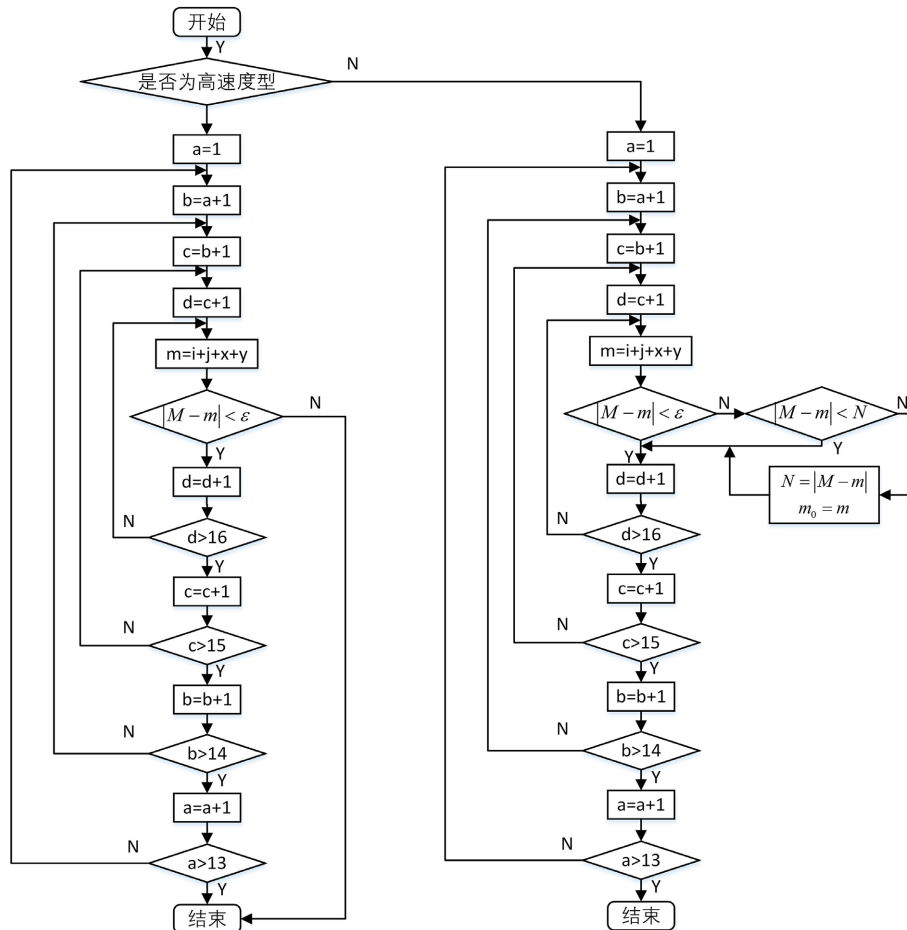


Figure 3. Combined computer program flowchart  
图 3. 组合计算机程序流程图

## 4. 硬件部分的设计

### 4.1. 控制系统硬件总体设计

本文采用模块化的设计理念，将整个控制系统划分为若干个不同功能的子模块，其中包括称重传感器、AD 数据采集模块、中央控制器模块、步进电机及驱动器模块、直流电源模块等。组合秤的称重流程为：首先开机进行初始化，清空料斗中的物料；然后进行物料检测，若物料低于光电检测开关的位置，通知物料传送装置加料；然后主振机和线振机振动给存料斗加料，加料的速度由主振机和线振机的振幅决定；然后主控制器驱动存料斗电机运转，将物料加入称重斗；称重传感器将称重斗物料重量转换为模拟信号输出，经过放大、滤波后由 AD 模拟数字转换器将模拟信号转换为数字信号，由副控制器 CUP 通过 RS485 传送给主控制器；主控制器对采集的多路重量值进行组合运算，选择出满足要求的组合，主控制器驱动满足组合要求的称重斗电机运转放料，完成一次组合称重。系统总框图如图 4 所示。

### 4.2. 主控模块的设计

在进行控制系统的设计时，CPU 的选择显得至关重要。CPU 的性能直接决定了系统运行速度的快慢、功能的强大与否以及系统是否稳定。在进行 CPU 的选择时主要参考芯片的运算速度和精度、所含硬件资源、价格和货源、功耗、配套的开发工具和封装方式等其他信息。由于组合秤通常是由多个称重斗组成，

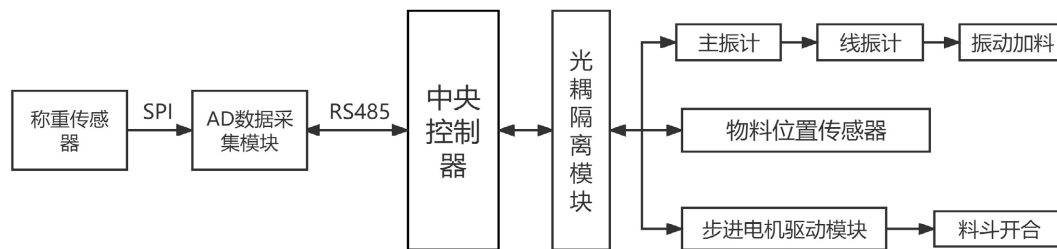


Figure 4. Block diagram of the overall system hardware design  
图 4. 系统硬件整体设计框图

一般为 8~16 个称重料斗，因此控制器的输入输出 IO 口数量较多。本课题采用 16 个称重斗，则需控制 32 个引脚控制步进电机，16 个引脚控制线阵机，1 个引脚控制主振机，此外还有其他的一些输入输出例如指示灯需要占用引脚，故输入输出以及芯片资源需要很多。综合考虑下，拟采用 ARM 级 STM32F103ZET6 微处理器设计控制主板，该芯片拥有高达 144 个引脚可供使用，且时钟高达 72 MHz，运行速度非常快。

在通信方面，选择 RS485 总线实现主控与副控之间的通信。RS485 通信速率快、带负载能力强，能够有效抑制共模干扰，且各负载之间相互独立工作，大大降低了副控单元的故障影响率。基于 RS485 总线的需要，选用 RS485 芯片作为通信芯片，该芯片在通信的距离和速度上有很好的表现，接收输入具有真正的失效保护功能，能够有效提高通信模块的安全性和稳定性。

### 4.3. 电源模块的设计

组合秤控制系统的电源模块繁多，为简化电路设计，直流电源模块均设计在主控板上，由主控板统一供电，各电源模块之间相互独立，但电路设计的基本原理相同。以给主控单元供电的图 5，12 V 电源为例，供给给通信模块的工作电压是 4.5~5.5 V，供给给微处理器 STM32F103ZET6 的工作电压是 2.0~3.6 V。使用外部直流电源给 AD8253 供±15 V 电压，+15 V 电压经过 LM7805 稳压器降为+5 电压，+5 V 电压供模拟数字转换器 AD7609 使用，+5 V 电压再通过 AMS1117 转化为+3.3 V 电压。+3.3 V 电压供副控制器主 CPU 及外围电路使用。

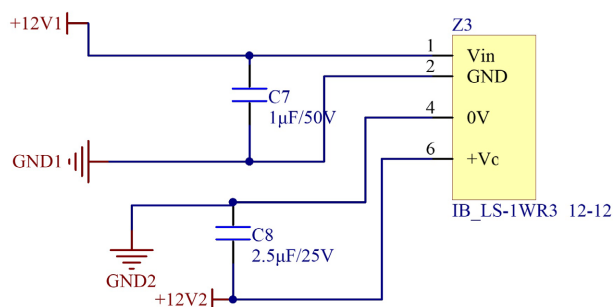


Figure 5. Schematic diagram of 12V power supply circuit  
图 5. 12V 电源电路原理图

### 4.4. AD 采样电路的选用及理由

称重传感器输出的电压信号经过 AD8253 仪表放大器进行放大滤波，此过程称重传感器输出的微弱的电压小信号放大驱动 ADC 模数转换器。ADC 模数转换器将连续的模拟信号转换为数字信号[6] [7]，经副控制器 CPU 通过 RS485 传输给主控制器进行处理和运算。本课题拟采用转换器 AD7609。

AD760 是 ADI 公司生产的一款 18 位, 8 通道的电荷再分配逐次逼近型模数转换器(ADC)的数据采集系统, 模拟输入阻抗为  $1\text{ M}\Omega$ , 8 个差分模拟输入通道可以进行同步采样, 每一路输入通道均具有  $200\text{ KSPS}$  的吞吐速率, 采用  $5\text{ V}$  单电源供电, 使用 RANGE 引脚可以选择  $\pm 10\text{ V}$  或  $\pm 5\text{ V}$  的输入范围, 可以采用并行或者串行的方式与 CPU 通讯, 芯片每一通道都具有一个采样保持器, 因此可进行多通道信号的同时采集[8]。

如图 6 所示, AD7609 采用  $5\text{ V}$  模拟电源供电, 电源引脚 AVCC 接去耦电容至 AGND, REGCAP 引脚通过  $1\ \mu\text{F}$  电容去耦至 AGND, V1 至 V8 引脚通过  $1\ \mu\text{F}$  电容去耦至 AGND, REFCAPA 与 REFCAPB 引脚连接在一起通过低 ESR  $10\ \mu\text{F}$  陶瓷电容去耦至 AGND, REFGND 引脚直接连接至 AGND, REFIN/REFOUT 引脚与 REFGND 引脚附近的地之间加  $10\ \mu\text{F}$  的去耦电容。去耦电容的使用为芯片提供了稳定的电源[9] [10] [11]。

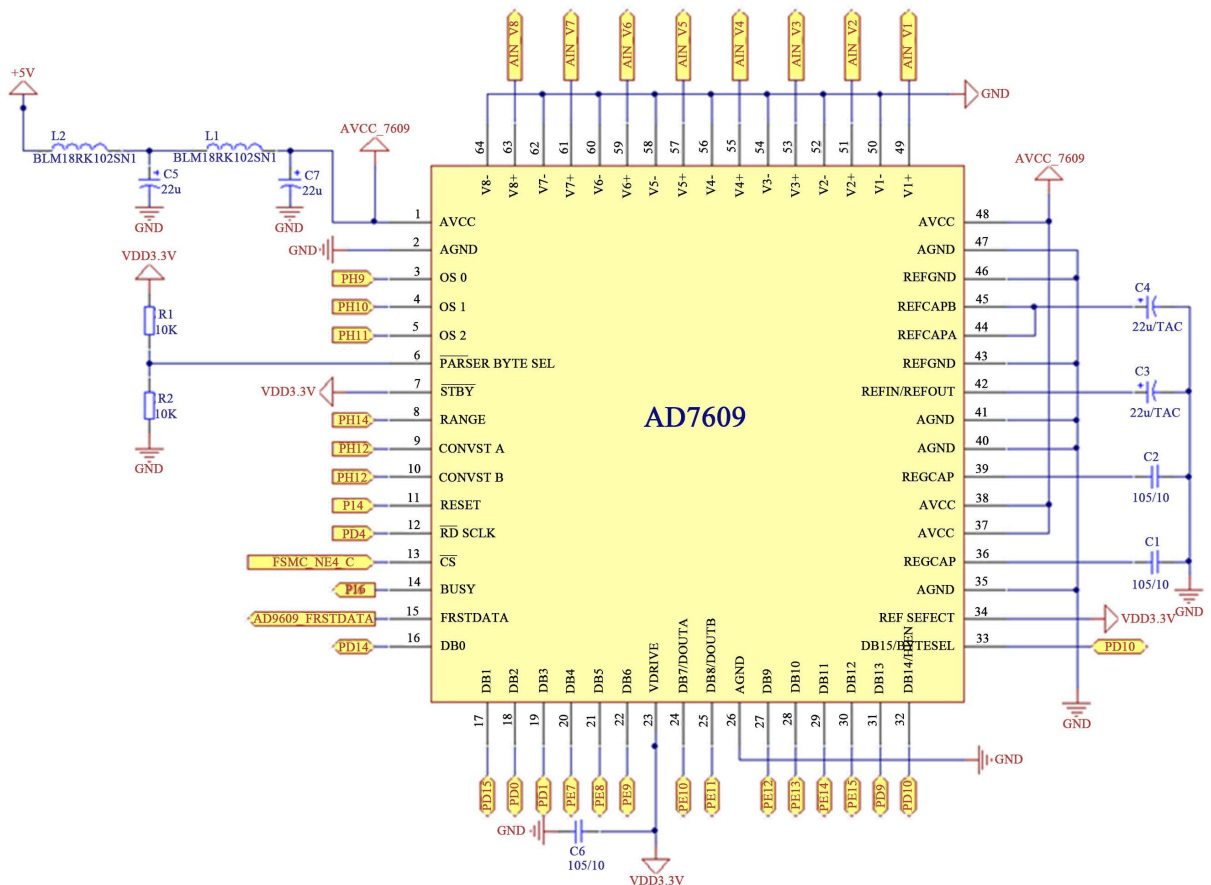


Figure 6. AD7609 circuit schematic

图 6. AD7609 电路原理图

#### 4.5. 光耦隔离模块的设计

为抑制噪声、消除接地回路的干扰, 提高响应速度, 采用光电隔离电路, 隔离外部设备和电路控制单元。如图 7, 该电路采用两个光耦构成的线性电路, 两个光耦输入端串联组成差分负反馈电路来补偿光电耦合器的非线性电流传输特性[12]。

然后采用 Multisim 进行仿真分析, 从图 8 中可以看出, 两个光耦输入端串联组成差分负反馈电路可

以很好的补偿光电耦合器的非线性电流传输特性，图像可以看出，电压基本成线性输出，在 4~5 V 之间存在较小波动。由此该电路符合设计要求，能够补偿非线性特性。

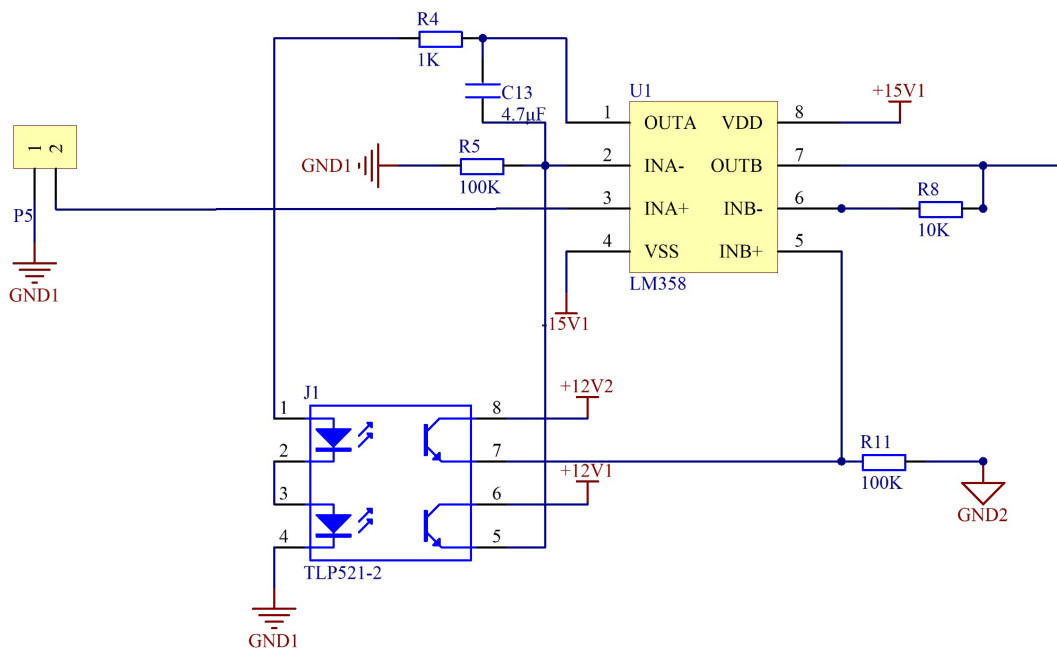


Figure 7. Schematic of a 0~5 V isolation circuit  
图 7. 0~5 V 隔离电路原理图

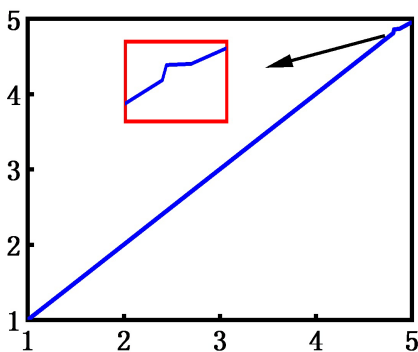


Figure 8. Linearity analysis of photoelectric isolation circuit  
图 8. 光电隔离电路线性分析

#### 4.6. 滤波电路模块的设计

由于传感器在测量构成中常常参杂许多噪声信号，因此会影响测量系统的精度。因此常常需要消除噪声信号的干扰。本文测量的电流信号频率低于 100 Hz，因此设计一个二阶低通滤波器，滤去频率超过 100 Hz 的高频干扰。该电路具有原件少、增益稳定、频率范围宽等优点。电路中  $C_{11}$ 、 $C_{12}$  构成反馈网络。具体电路设计如图 9。

应用 Multisim 对二阶低通滤波电路进行仿真分析，结果如图 10，从图中可以看出，对于频率高于 100 Hz 的电压信号逐渐降低，最终变为 0。仿真结果表明该电路能够有效的消除高于 100 Hz 的信号。



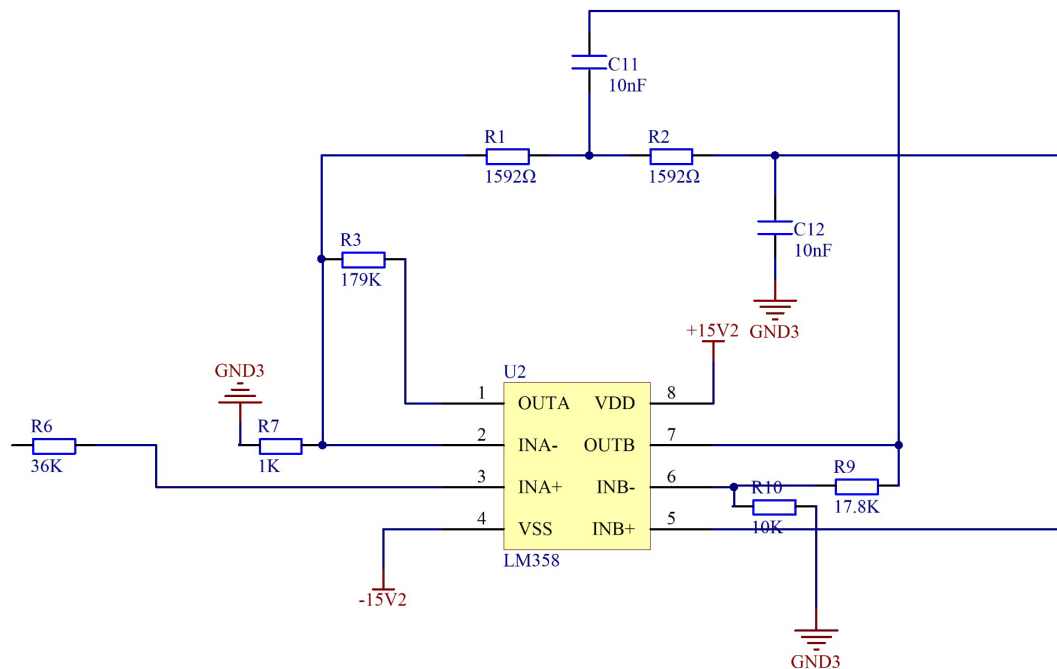


Figure 9. Schematic of a second-order filter circuit  
图 9. 二阶滤波电路原理图

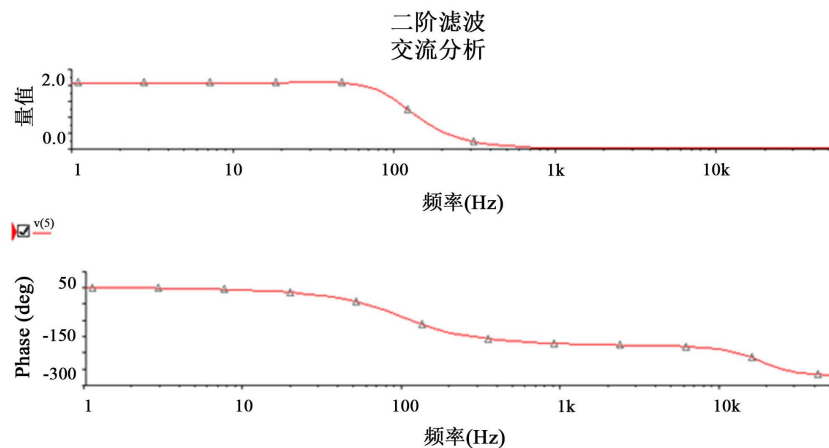


Figure 10. Second-order filtering AC analysis  
图 10. 二阶滤波交流分析

## 5. 实验过程与结果

在工业现场本文以定量包装常用的花生为原料，用量程为 2500 g、分度值为 0.001 g 的电子天平对下料的组合进行称重后备用，标注其重量值，用于对比组合称重误差。目标重量分别设置为 100 g、200 g，偏差值为 5 g，对组合结果做了数据统计，实验数据如表 2 所示。由于本文对系统的组合算法进行了优化，减少了其他不必要的组合工作，可以将组合时间控制在 20 ms 之内。根据每个环节所需时间推算出组合一次的时间大约为 928 ms，即组合速度大 65 包/min。

综上所述，由实验结果可知，当组合速度达到 65 包/min 时，目标重量为 0~200 g 时组合平均误差在  $\pm 0.5$  g 范围内，可以满足企业生产要求。

**Table 2.** Table of field experiment measurement results  
**表 2.** 现场实验测量结果表

序号	天平称重/g	实测值/g
1	100.725	100.7
2	99.743	99.9
3	100.545	100.6
4	100.535	100.6
5	100.044	100.2
6	200.354	199.9
7	199.943	200.0
8	200.133	200.3
9	199.842	199.5
10	200.411	200.3

## 6. 结论

本文设计的基于 STM32 的组合秤控制系统通过对现有问题的分析归纳, 不仅全面的了解了传统系统的不足之处, 而且能针对性的进行流程算法的改进, 弥补了传统的固定每次参与组合的称重斗的数量而过分依赖加料稳定性方式的不足。在硬件设计方面, 将整体控制系统模块化, 进而逐个进一步设计仿真, 调整元件参数至实现称重不同物料之间的自动切换, 这样相对于传统的设备在配置不同物料参数之前的大量的测试工作, 本文系统大大减少了工作量, 提高了设备的精确性和运行的速度。通过现场的测试, 系统的速度和精度都能达到预期要求, 能够有效提高中小型包装生产效率。

## 参考文献

- [1] 刘方全. 定量包装技术的发展方向[J]. 中国计量, 1999, 40(3): 37-38.
- [2] 权小青. 我国智能组合秤市场发展分析[J]. 衡器, 2012, 41(12): 1-3.
- [3] 张春友, 吴晓强. 新型智能组合秤称重系统[J]. 自动化仪表, 2015, 36(4): 88-90.
- [4] 郭鹏, 孙宏强, 杨彦彬, 等. 新型多头秤控制系统设计[J]. 石家庄学院学报, 2012, 14(3): 32-34+82.
- [5] 彭福红, 任作新. 高精度电脑组合秤控制系统的设计[J]. 机械工程与自动化, 2007(6): 127-129.
- [6] Stewart, R.W. (1995) An Overview of Sigma Delta ADCs and DAC Devices. *IEE Colloquium*, **23**, 1/1-1/9. <https://doi.org/10.1049/ic:19951371>
- [7] Candy, J.C. and Temes, G.C. (1992) Oversampling Methods for A/D D/A Conversion. *Oversampling Delta-Sigma Converters*. IEEE Press, New Jersey, 2-3. <https://doi.org/10.1109/9780470545461>
- [8] <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD7609.pdf>
- [9] 刘丽娟, 杨兵初, 倪兰, 等. PDN 电源地平面去耦电容网络设计[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2013, 44(10): 4089-1090.
- [10] 马秀荣, 孔德升, 吴健. 去耦电容特性阻抗反谐振点的分析与应用[J]. 电子技术应用, 2013(9): 61-62+69.
- [11] 徐亮, 阮江军, 甘艳, 等. 去耦电容在 PCB 板设计中的应用[J]. 电测与仪表, 2002(4): 5-8+33.
- [12] 荆西京, 王健琪, 张扬, 李杰. 满幅输出的单电源线性光电隔离放大电路设计与分析[J]. 医疗卫生装备, 2006(4): 75-77.