

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.03.017

在线动态称重系统开发及质量采集算法研究

Development of online dynamic weighing system and research on weight acquisition algorithm

陈锐鸿

CHEN Rui-hong

(华南理工大学广州学院机械工程学院, 广东 广州 510800)

(School of Mechanical Engineering, Guangzhou College of SCUT, Guangzhou, Guangdong 510800, China)

摘要:以包装生产线上连续在线动态称重及后续处理的功能为导向,从称重工作站的结构、控制系统、分拣机构、数据处理与保存方面进行研究。采用 PLC、A/D 模块、称重仪表、称重传感器、变频传送带控制等技术,开发出一套在线动态称重系统。系统采用区间采样、区间数值平均的算法,测量和计算动态数据,使产品的动态质量值与静态值之间的差值最小。在线称重系统可根据功能快速搭建,实现对产品的质量采集、对比及对产品的分拣、分装、包装等功能。系统可快速二次开发对接包装线所需要的功能,且构造简洁实用、成本低,质量采集的准确性高,应用前景广泛。

关键词:在线动态称重;区间采样法;PLC

Abstract: On-line dynamic weighing is an important part of the unpacked foods packaging production line, which can realize the functions of error prevention, leakage prevention, packing and filling. It was investigated the formation of the structure, control system, sorting mechanism, data processing and preservation of weighing workstation in this study, based on the function of continuous online dynamic weighing an subsequent processing in packaging production line. The interval sampling and numerical averaging methods were used to collect and calculate dynamic weight data, and the difference of the product between the dynamic weight value and the static were minimized. The system could be quickly built according to the function of achieving the weight of the product collection, comparison, sorting, packaging etc. Therefore, this system could be used widely for rapid secondary development of docking packaging line, with the simple structure, low cost and high accuracy.

基金项目:广东省本科高校高等教育教学改革项目(编号: JY170309)

作者简介:陈锐鸿(1983—),男,华南理工大学广州学院实验师,硕士。E-mail: Chenrh@gcu.edu.cn

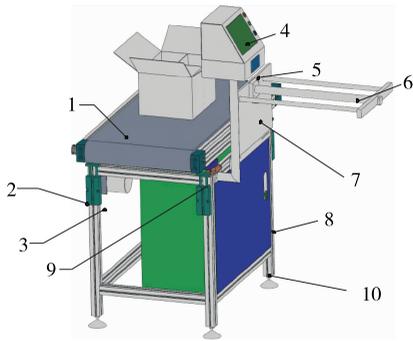
收稿日期:2018-10-02

Keywords: Online dynamic weighing; Interval sampling method; PLC

称重是散装食品包装线上的重要一环,考虑到称重的准确性、设备的导入周期、适用性、稳定性等因素,在线动态称重工作站未能在食品与包装等行业内完全普及,随着制造业自动化的发展及人力成本的提升,现有人工称重包装分拣的生产模式已经不能满足当前食品包装行业自动化生产的需要^[1]。当前在线动态称重研究成果已有,张洁平^[2]使用单片机开发了在线称重分选检测系统,具备一定的在线称重与分选功能。高艳雯^[3]利用 LabVIEW 和专用设备开发了一套在线称重系统,具备质量采集、动态稳定性控制等功能,现有的在线称重系统在制造成本及通用性上仍有改善的空间。基于称重的稳定性及制造成本综合考虑,本设计提出基于可编程序控制器(PLC, Programmable Logic Controller)、称重仪和工业触摸屏(HMI, Human Machine Interface)技术开发的在线称重系统,系统与生产线对接,能够快速地对线上产品的质量进行采集,加装降低质量动态波动的机构,采用区间采样和区间数值平均值的方法计算动态质量,系统还具备分拣质量不达标产品的功能,预留了外部输入和输出的接口,可为食品或饮料的罐装、分装、包装提供扩展接口,实现快速二次开发。称重工作站的组成见图 1。

1 称重工作站的构成与功能

称重工作站(Online Weighing Station, OWS)具有在线称重、产品分拣的功能。图 1 中的 1 是传送带,采用变频器控制交流异步电动机方式,速度由变频器控制。9 是称重传感器,系统采用 4 组传感器,传送带整体安装在 4 个传感器上。5 是称重仪,将传感器采集的信号转换成电流信号传到主电控柜的 AD 模块, PLC 根据数字量进行对比、记录、分拣或包装等操作。4 是系统的操作面板,可以显示当前的称重数据,并记录保存相关的质量数据,控



1. 传送带 2. 支撑气缸 3. 传送带电机 4. 触摸屏 5. 称重仪表 6. 剔除机构 7. 到位检测传感器 8. 电柜 9. 称重传感器 10. 工作站台架

图1 称重工作站总体图

Figure 1 Online Weighing Station overview

制分拣机构的执行逻辑。

2 系统硬件选型

系统选用三菱 FX3G-40MR 型号的 PLC, 模拟量和数字量转换模块选用 FX3G-2AD-BD, 具备 2 个通道的电压或电流模拟量输入^[4], 这 2 个硬件性能稳定。称重仪根据生产线的质量范围需要选择型号, 其作用是将传感器的信号转化成模拟量, PLC 通过读取模拟量的数据对物品进行控制。显示及操作系统选用工业触摸屏, 触摸屏带数据保存功能, 可将质量、种类、合格状态记录在系统中^[5], 系统的控制框架如图 2 所示。

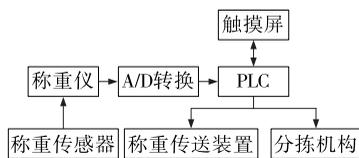


图2 设备控制框架图

Figure 2 Control framework of OWS

3 电气控制系统设计

3.1 称重仪与传感器电气接线

称重仪是采集传感器信号, 并将质量值进行显示的仪表, 可以实现对质量的采集、去皮、归零等操作^[6]。称重系统采用 4 个称重传感器与机架连接, 一个传感器 5 条线, 分别是输入+和输入-, 输出+和输出-, 以及屏蔽线。4 个传感器的线接入到称重传感器的接线盒内, 通过接线盒控制汇总成一总线接入到称重仪, 传感器接线如图 3 所示。

3.2 A/D 模块接线

FX3G-2AD-BD 模块, 具备 2 路的模拟量输入, 可以输入 0~5 V 电压, 也可以输入 4~20 mA 电流, 本系统的称重仪选用能够输出 4~20 mA 电流的模块, 称重仪可将

质量转变成电流输出到 PLC 的 AD 模块, AD 模块将电流转换成数字量提供给 PLC^[7]。FX3G-2AD-BD 模块与称重仪的接线方法如图 4 所示。

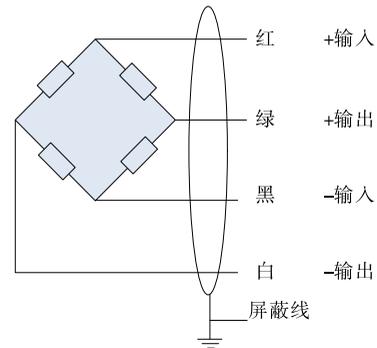


图3 传感器接线端

Figure 3 Sensor terminal

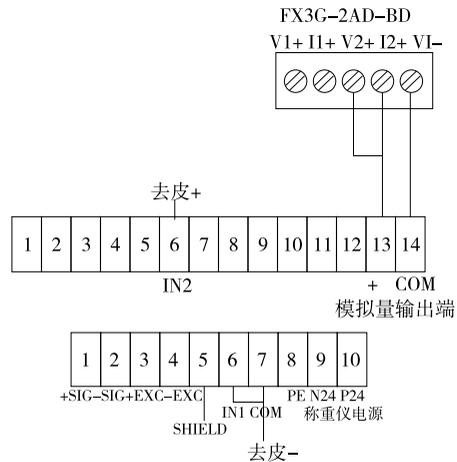


图4 模拟量输入模块与称重仪表接线图

Figure 4 Connection diagram of AD input module and weighing meter

3.3 电气 IO 分配

在线称重系统选用可编程控制器作为主控制器, 它的输入信号主要由传感器、按钮和相关对接信号组成, 输出包括气缸、电机及外部对接备用信号等。IO 分配表如表 1 所示。

4 工作流程设计

在线称重工作站可运用于多个场合, 例如散装食品的包装称重、生产线上的包装防漏检测、包装的重量检测等。可嵌入到现有生产线的系统中, 根据程序设置记录称重的结果, 分拣质量不符合设定的产品。系统也可以与灌装单元进行联动控制, 当达到设定的质量时, 灌装停止, 完成一个灌装流程。该系统可运用于在线称重的多个场合, 现以食品包装检测为例, 工作流程如图 5 所示。上游生产线已经分装好的产品, 经过传送带进入到称重工作站, 工作站启动质量采集程序, 质量采集到位后, 将

数值与系统所设定的额定值进行比较,如果达到要求,则产品流入下一个封箱环节,如果达不到要求,则会启动产品剔除等系统设定的工作。

5 控制程序和触摸屏设计

5.1 控制系统设计

5.1.1 称重仪模拟量数据采集 PLC 读取称重仪模拟量的数据,读取到的是 0~2 000 的数字量,将其与标准值在

表 1 PLC IO 分配表

Table 1 Distribution list of PLC IO

输入	输入信号名称	输出	输出信号名称
X0	启动	Y0	记录质量
X1	工件到位检测	Y1	皮带放行
X2	气缸前限位	Y2	分拣气缸动作
X3	气缸后限位	Y3	防抖气缸动作
X4	称重仪表去皮	Y4	备用
X5	防抖气缸前限位	Y5	备用
X6	防抖气缸后限位	Y6	备用
X7	备用	Y7	备用
X10	外部对接备用	Y10	外部对接备用
X11	外部对接备用	Y11	外部对接备用
X12	外部对接备用	Y12	外部对接备用
X13	外部对接备用	Y13	外部对接备用
X14	外部对接备用	Y14	外部对接备用
X15	外部对接备用	Y15	外部对接备用
X16	外部对接备用	Y16	外部对接备用
X17	外部对接备用	Y17	外部对接备用

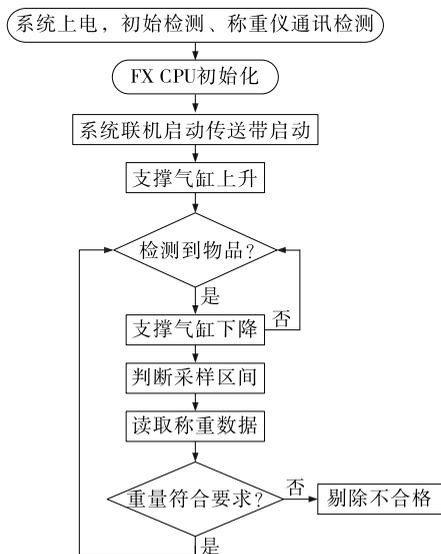


图 5 在线动态称重系统的工作流程图

Figure 5 Workflow chart of online dynamic weighing system

程序上进行标定,得到正确的测量值。系统初次投入使用前需要进行标定,如果设备重新安装或者重新挪动位置也需要进行再次标定,以保证系统采集质量的精度^[8]。

系统需要对 PLC 所采集到的质量进行显示和保存,触摸屏作为数据显示和保存的设备,需要对触摸屏系统界面进行设计,工业触摸屏的选用能够快速根据功能开发出上位机,存储称重的各项数据^[9]。

根据 AD 模块的输入特性,将电流值转换成数字量,系统选用 A/D 模块的通道 2,根据表 2 中的软件元件功能,PLC 采集的数据是存储在 PLC 的 D8261 寄存器中,读取的数字量存储在 D101 中,将数据转换到程序中,如图 6 所示。

5.1.2 数字量与质量之间的转换计算 根据模拟量模块的输入特性(图 7),数字量与电流成正比,而电流的输入与质量成正比,电流量程的最大值即是质量量程的最大值。

表 2 FX3G-2AD-BD 模块软件功能

Table 2 Soft component function of FX3G-2AD-BD module

特殊软件	软元件编号	内容
特殊辅助继电器	M8260	通道 1 输入模式切
	M8261	通道 2 输入模式切
	M8262-M8269	未使用(请不要使用)
特殊数据寄存器	D8260	通道 1 输入数
	D8261	通道 2 输入数
	D8264	通道 1 平均次数(设定范围 1~4 095)
	D8265	通道 2 平均次数(设定范围 1~4 095)
	D8266	未使用(请不要使用)
	D8267	错误代码
	D8268	错误代码
	D8269	机型代码=3

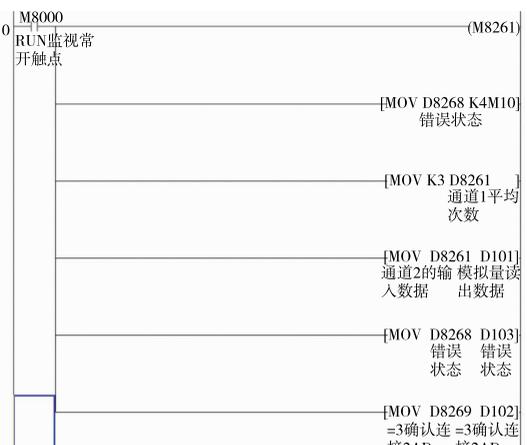


图 6 模拟量转换成数字量程序

Figure 6 Program of analog convert to digital

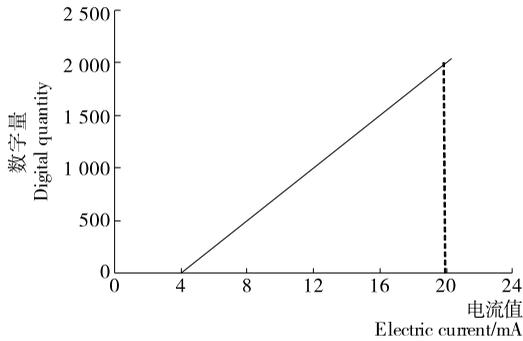


图7 FX3G-2AD 模拟量输入特性图

Figure 7 Analog input characteristic diagram of FX3G-2AD

$$W_{\text{当前值}} = D_{\text{读取值}} \times W_{\text{量程}} \div 2000, \quad (1)$$

式中:

$W_{\text{当前值}}$ —— 质量当前采样值;

$D_{\text{读取值}}$ —— PLC 通过 AD 模块转换读取的数字量;

$W_{\text{量程}}$ —— 称重仪设定的量程。

假如设定的称重仪量程为 12 kg, 当前值读取的数字量为 1 000, 依据式(1)计算, 可得出称重仪采集的信号对应的质量为 6 kg。

5.1.3 质量比较程序设计 将当前质量值与设定值进行比较, 两者之差如果大于正偏差或者小于负偏差, 则认为质量不达标, 程序如图 8 所示, 采用三菱 PLC 的 CMP 比较指令将当前值与偏差进行比较。质量不达标的工件将由分拣机构执行分拣动作。要求工作站将质量符合和不符合的产品都需要记录在存储器内, 以便后续的查询和跟踪。



图8 质量比较程序

Figure 8 Program of weighting comparison

5.1.4 传送带的控制 在线称重的工作周期需要与生产线的周期匹配^[10], 因此传送带的速度使用变频器进行控制, 为使质量波动有规律, 传送带必须匀速传送。由异步电机的转速关系 $n = (1 - s)n_0 = \frac{60f_1}{P}(1 - s)$ 得知, 电机的转速与频率 f_1 有关, 频率越大, 电机的转速越大。通过变频器调节异步电机的输入频率, 则可以达到平顺调节电机速度的目的^[11]。

5.2 触摸屏程序设计

动态在线称重系统是具备质量采集、存储、分拣物品

的模块化工作站, 所以相关的功能和参数设置需要使用触摸屏, 根据图 5 中工作流程的需要, 触摸屏的功能设计如下:

(1) 质量显示功能: 将当前采集的实际质量实时显示出来, 以便操作者查看。

(2) 额定质量显示: 产品的额定质量即产品出厂需要达到的质量, 根据产品的需求, 允许有一定范围的误差, 误差的大小可由系统进行设置。只要产品的质量在允许的范围, 则视为当前产品质量达标, 否则视为不合格。

(3) 履历显示: 产品的当前质量值和产品编号的信息以及质量是否达标, 可以通过产品履历显示出来, 最新的产品检测结果显示在最前面。

(4) 额定质量输入: 使用 PLC 自带的断电保持寄存器 D200-D2000, 存储不同包装规格产品的额定质量, 当切换产品时, 系统可自动调用出当前产品的额定质量, 触摸屏界面如图 9 所示。

5.3 动态质量采集稳定性控制

由于生产线上的产品都是动态的, 因此需要对数据进行滤波处理, 将进和出时的质量数据波动进行过滤, 使测量的误差不受生产线振动和冲击的干扰^[12], 系统的最大测量误差需控制在 5 g 以内。

图 10 为称重采样动态图从产品进入称重工作站到离开工作站, 质量值是波动上升的, 达到目标值时会保持一段时间。由于传送带的运行, 质量值会小幅度波动, 质量的有效值则在这小幅度波动区间内进行采样, 这种方法叫区间估计采样^[13]。判断有效值区间 2 的方法:



图9 称重触摸屏界面

Figure 9 Weighing touch screen interface

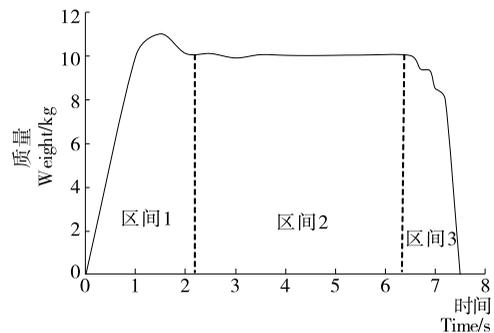


图10 称重采样动态图

Figure 10 Sampling dynamic diagram of weighting

建立区间 1 的经验公式如式(2)所示。

$$y = \varphi(t) + K, \tag{2}$$

式中:

y ——采集质量值,kg;

t ——产品进入工作站的时间,s;

K ——质量的有效值,kg。

对式(2)进行求导,得:

$$\varphi = \frac{d(y)}{d(t)}. \tag{3}$$

通过对 φ 的分析,在区间 2 中,当质量处在稳定区间时,它的值趋向于 0,此时可判断为质量的有效采样区间,如图 10 中的区间 2 所示。

在区间 2 中,在一定的时间内快速采集质量值,采用区间数值平均^[14]的算法:

$$y = \frac{K_1 + K_2 + \dots + K_n}{n} = \frac{\sum_1^n K_n}{n}. \tag{4}$$

求得 y 为在线称重的质量值。

使用 PLC 的控制程序,当有效区间触发时,将数据存储在临时数据寄存器 D 中,并进行平均值计算得出动态质量的精确值 y 。

6 质量误差分析试验

产品的在线质量采集结果如表 3 所示,通过对数据的分析,分别对同一工件进行 10 次测量,根据试验误差的计算方法^[15],按式(5)计算每次的试验误差。

$$\delta = (m_1 - m_0) \times 1\ 000, \tag{5}$$

式中:

δ ——质量误差,g;

m_1 ——当前采集的动态质量,kg;

m_0 ——静态质量,kg。

通过对试验误差的分析,质量平均误差为 2.5 g,无重大误差(>5 g),系统的误差控制方法可行有效。

表 3 质量误差试验

Table 3 Experimental data for weigh

测试	动态质量/kg	静态质量/kg	试验误差/kg	平均误差/g
1	8.905	8.90	0.005	2.5
2	8.902	8.90	0.002	
3	8.895	8.90	0.005	
4	8.904	8.90	0.004	
5	8.902	8.90	0.002	
6	8.899	8.90	0.001	
7	8.901	8.90	0.001	
8	8.902	8.90	0.002	
9	8.898	8.90	0.002	
10	8.901	8.90	0.001	

7 结语

设计的在线称重系统采用 PLC 和广泛商用的称重仪,工作稳定,成本低,质量的动态控制经过区间采样和区间平均值的算法后,动态值非常接近静态值,系统可满足众多中小企业对在线动态称重的需求,具备推广价值。本研究的下一步工作将开展系统的模块化、参数化设计,方便更多的生产线快速地导入。

参考文献

[1] 聂学俊, 岳森峰, 李坤. 食品机械自动称重系统计量精度研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(4): 67-69.

[2] 张洁平. 基于单片机的在线称重分选检测系统设计[J]. 河西学院学报, 2018, 34(2): 49-52.

[3] 高艳雯. 输送带在线动态实时称重系统的研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2007: 12-15.

[4] 廖常初. PLC 模拟量输入模块的使用方法[J]. 电工技术, 2003(10): 23-24.

[5] 梅幼亚, 姚毅, 于洋, 等. 基于西门子 S7-300 与威纶通触摸屏的换热站自控系统[J]. 山东工业技术, 2015(13): 220-221.

[6] 卞家宏. 利用称重仪表实现配料自动化[J]. 化工自动化及仪表, 2000, 27(3): 54-55.

[7] 方亚梅. 基于三菱 FX-3U PLC 的力采集系统设计[J]. 工业控制计算机, 2017(12): 136-136.

[8] 曹金华, 王宜怀. AD 转换的动态在线校正技术[J]. 实验室研究与探索, 2008, 27(4): 44-47.

[9] 杨邦朝, 张治安. 触摸屏技术及应用[J]. 电子世界, 2003(2): 79-80.

[10] 刘坦. 实时在线分拣和称重系统研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2013: 54-55.

[11] 王艳美. 变频器和 PLC 在传送带多种速度控制中的应用[D]. 苏州: 苏州大学, 2010: 12-13.

[12] 吴任和, 周文玲, 李相伟. 基于 PLC 控制的在线动态称重分拣系统[J]. 轻工科技, 2013(12): 55-57.

[13] 马成, 朱奕, 伞冶. 一种基于区间估计的粒子滤波算法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2013, 45(11): 8-12.

[14] 张乐成, 汪震波. 基于 Monte-Carlo 方法利用随机变数平均值计算定积分的算法[J]. 计算机与现代化, 2012(11): 33-34.

[15] 毛建东. 动态称重系统的动态补偿和校正[J]. 食品与机械, 2006, 22(2): 84-86.