

文章编号: 1671-7449(2025)06-0635-08

J. Test Measur. Technol., 2025, 39(6): 635-642.

一种新型带弱磁包裹检测方法

奚青¹, 陈曲燕¹, 王延青², 周德强^{2*}, 盛卫锋²

(1. 无锡弘宜智能科技股份有限公司, 江苏 无锡 214187; 2. 江南大学 智能制造学院, 江苏 无锡 214122)

摘要: 针对信函件分拣系统中, 带磁性的包裹会吸附在传送装置上导致包裹丢失和系统停机等问题, 提出一种基于阵列磁传感器与门逻辑电路弱磁检测方法; 针对电机启停瞬间磁场干扰噪声, 提出一种滑动窗口滤波方法。分析了弱磁物品的磁场分布特性, 研究了磁场在垂直方向迅速衰减的规律和表面空间的强度; 针对物流检测平台空间狭小的特点, 提出了贴片磁传感器与薄片铝板相结合的结构设计方法。在物流分拣平台上的实验结果表明: 该方法检测率高于常规方法, 可以在1 m/s的速度下100%检测出弱磁性包裹。

关键词: 霍尔传感器; 弱磁检测; 磁场分布; 滤波算法; 物流分拣

中图分类号: TP212

文献标识码: A

doi: 10.62756/csjs.1671-7449.2026003

引用格式: 奚青, 陈曲燕, 王延青, 等. 一种新型带弱磁包裹检测方法[J]. 测试技术学报, 2025, 39(6): 635-642.

XI Qing, CHEN Quyan, WANG Yanqing, et al. A new method for detecting weak magnetic wrapping[J]. Journal of Test and Measurement Technology, 2025, 39(6): 635-642.

A New Method for Detecting Weak Magnetic Wrapping

XI Qing¹, CHEN Quyan¹, WANG Yanqing², ZHOU Deqiang^{2*}, SHENG Weifeng²

(1. Wuxi Hongyi Intelligent Technology Co., Ltd., Wuxi 214187, China;

2. School of Intelligent Manufacturing, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: In response to the problems of lost packages and system downtime caused by magnetic parcels adhering to conveyor devices in the letter sorting system, a weak magnetic detection method based on an array magnetic sensor and a gate logic circuit is proposed. A sliding window filtering method is proposed to deal with the magnetic interference noise caused by the motor's starting and stopping. The magnetic field distribution characteristics of weak magnetic items are analyzed, and the rules of rapid decay of the magnetic field in the vertical direction and the intensity on the surface are studied. A structural design method combining a chip magnetic sensor and a thin aluminum plate is proposed for the logistics detection platform with limited space. The experimental results on the logistics sorting platform show that the detection rate of the method is higher than that of the conventional method and can detect weak magnetic parcels at a speed of 1 m/s with 100% accuracy.

Key words: Hall sensor; weak magnetic field detection; magnetic field distribution; filtering algorithm; logistics sorting

收稿日期: 2025-01-04

作者简介: 奚青(1973—), 男, 高级工程师, 主要从事智能物流机器人研究。E-mail: xq8583@126.com。

* 通信作者: 周德强(1979—), 男, 副教授, 博士, 主要从事智能物流机器人研究。E-mail: zhoudeqiang@jiangnan.edu.cn。

0 引言

我国2024年快递业务量已于8月15日突破1 000亿件,比2023年提前71天达到千亿件^[1],信函件使用量也随之增加。信函件物流行业与普通物流行业有所不同,由于信件体积小、重量较轻,对分拣精度和设备的专业化程度要求更高,需分拣机每小时可处理数万件^[2-3]。与普通包裹相比,当信函件带有磁性物体时,更容易在分拣系统中被吸附。由于分拣系统的高度自动化,上述情况轻则导致包裹丢失,重则使整个系统停机,从而极大降低分拣系统的工作效率^[4]。

磁场检测技术可以分为物理检测和电子检测^[5]。物理检测依赖于传感器对物理量的直接测量,典型代表为霍尔传感器和磁通门传感器。磁通门传感器^[6]具有高达皮高斯级的测量精度,具备高空间分辨率和广泛的动态范围。在核磁共振检查中,针对复杂的背景磁场和高误报率的问题,马成功等^[7]设计了一种基于磁通门传感器的铁磁探测系统,结合二次谐波法、积分反馈和卡尔曼滤波等技术,有效提升了磁场信号的信噪比和抗干扰能力。针对传统磁通门传感器在井下复杂环境中的局限性,葛翰林等^[8]开发了一种基于二次谐波法的高性能数字磁通门传感器,该传感器通过精密电路设计和温度补偿,能够在175℃的高温环境下实现±60 000 nT的量程和3 nT的分辨率。尽管磁通门传感器具有极高的测量精度,其复杂和相对庞大的结构却不适用于精密自动化设备,其配套设备的使用也存在一定难度。

相较而言,霍尔传感器在磁场检测中表现出体积小、成本低、响应速度快、抗震性好以及易于集成的优势^[9],能够满足多数工程应用对磁场快速、粗略检测的需求。例如,项琼等^[10]构建了包括16个霍尔元件的圆形阵列,精准测量电流周围的磁场,实现了高精度的磁场信号检测及电流转换。李小康等^[11]设计了一种椭圆差分霍尔传感器阵列,基于磁场径向差测量技术,有效提升了多导体电流检测的抗干扰性能和测量精度,降低了外部磁场的干扰。霍尔传感器的产品级应用主要集中在测速和自动化设备领域。赵寅瀚等^[12]对刚性和柔性印刷电路板探头在平面和曲面缺陷磁场检测中的性能进行了比较,发现柔性探头在曲面缺陷检测中具有更优的信噪比和适应性。Yang等^[13]提出了一种基于磁通门传感器

的弱磁场检测方法,结合数学模型、磁通门传感器、DDS激励电路和虚拟仪器技术,达到了高精度的弱磁场测量。侯化安等^[14-15]基于单片机和霍尔传感器的研究实现了磁场空间矢量分布和平面云图的快速准确测量,并设计了一个结合霍尔传感器与三维机械运动平台的缺陷区域定位系统,用于初步确定缺陷区域。

针对物流信件与包裹带弱磁性导致包裹丢失或停机等问题,本文通过分析弱磁信函的磁场分布特征,设计了一种基于开关型霍尔传感器的信号检测电路,通过与门逻辑芯片串联多个霍尔传感器,实现大范围信号采集,并有效抑制电机启停产生的电磁干扰,最终向上位机输出可靠的检测信号。

1 弱磁物品磁场分布

1.1 磁场测量

快递包装不会对磁场分布造成影响,只会增加传感器与磁性物体的距离。选择厚度约为1 mm的磁性橡胶片作为测量对象,如图1所示。磁场测量仪型号为天恒TM5100,共测量18个位点,依次编号为1~18。1~10号点沿对称轴分布,间隔20 mm,6~14号位于中间水平线上,间隔20 mm,其余点分布在边缘。在每个采样点,分别测量0、1、2、3、4 mm高度处的磁场强度。

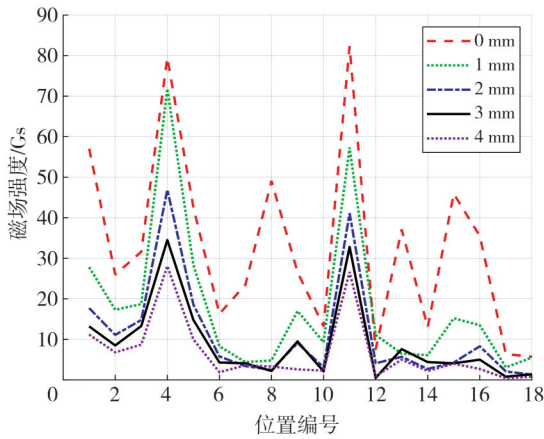


图1 实习贴测量点标注

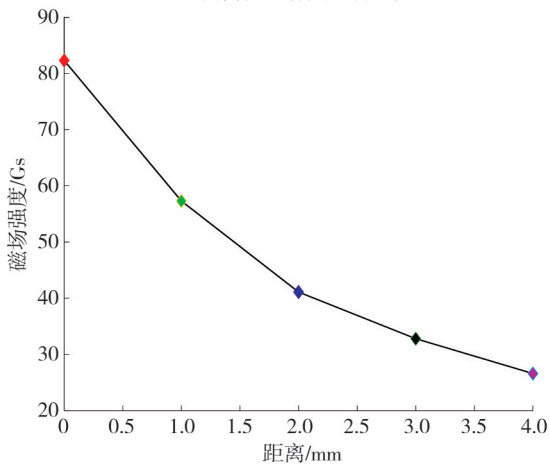
Fig. 1 Marking of measuring points

图2(a)为所有点位磁场强度随高度的变化规律,图2(b)为11号点位表面磁场强度随距离的变化规律,距离为1 mm时衰减了30%,距离为2 mm时衰减50%,而距离为4 mm时只有26 Gs。具有类似特征的还有点位4.0 mm时,8、13、15、16号点位的磁场强度偏高,是因为磁场衰减过快,极其细微的测量距离变化都会使测量结果产生巨大变化。距离为4 mm时,最大磁场强度不足35 Gs,但大于23 Gs。结合实际测量点,可以推测出距离4 mm时有块至少10 mm×10 mm的区

域磁场强度大于 23 Gs。



(a) 不同高度下各点磁场强度



(b) 11 号点位的磁场随距离的变化

图 2 磁性橡胶片空间磁场分布对比

Fig. 2 Comparison of spatial magnetic field distribution of magnetic rubber sheet

1.2 装磁性橡胶的信函件磁场测量

图 3 为装有磁性橡胶的信函件, 黑色点为测量点, 以坐标系的形式表示各点位置。

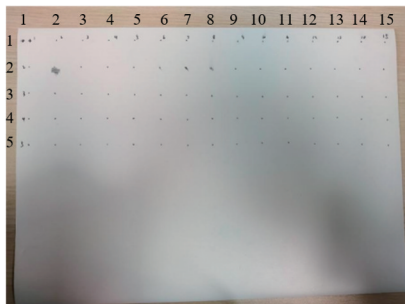


图 3 单张磁贴表面测量点标定

Fig. 3 Calibration of measuring points on the surface of a single magnetic patch

图 4 为信函件表面 0 mm 处磁场强度数据的三维柱状图, 大于 23 Gs 的数据用红点标出。表 1 为横

坐标 6~10 测量点的磁场强度, 距离为 1 mm, 磁场强度极其微弱, 远小于 23 Gs。

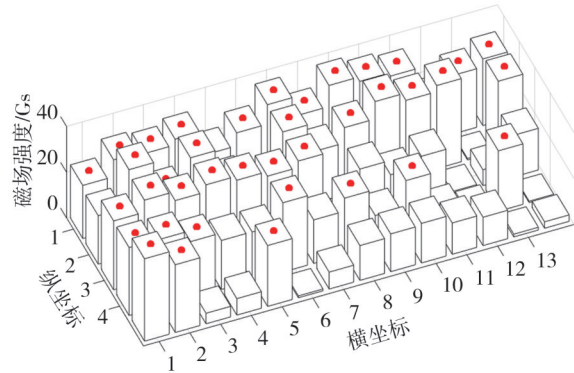


图 4 信函件表面 0 mm 处磁场强度数据

Fig. 4 Magnetic field intensity data at 0 mm on the surface of the letter

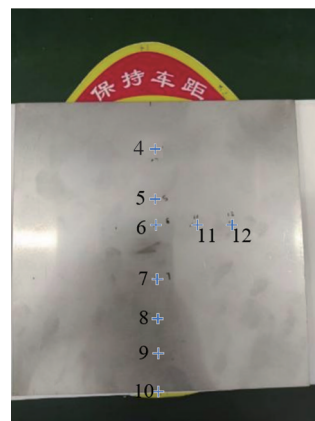
表 1 横坐标 6~10, 距离 1 mm 的磁场强度

Tab. 1 Magnetic field intensity of measuring points at abscissa 6~10 with 1 mm distance

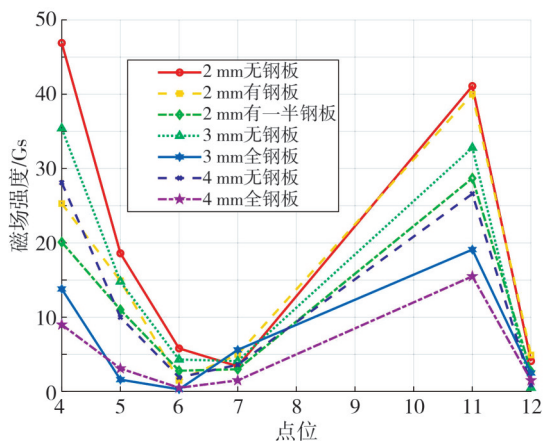
纵坐标 点位	磁场强度/Gs				
	6	7	8	9	10
1	2.5	4.9	8.3	3.4	7.6
2	7.3	11.6	8.2	10.9	13.0
3	11.6	13.4	11.7	8.9	9.9
4	8.5	11.2	5.1	8.6	7.5
5	10.0	8.9	1.6	11.4	11.7

1.3 金属对磁场分布的影响

为进行弱磁检测设备的机械结构设计, 对磁场分布受导磁体介入产生的影响进行了考察。检测方法如图 5 所示, 其中图 5(a) 为钢板覆盖磁性橡胶的方式, 检测数据如图 5(b) 所示, 与图 2(a) 相比, 磁场强度约衰减一半, 但是相同覆盖情况下的衰减规律没有变化。钢板覆盖面积越多, 磁场强度衰减得越多。



(a) 检测方法



(b) 不同钢板覆盖方式下不同高度的磁场强度

图5 检测方法和测量结果

Fig. 5 Detection method and measurement results

测量数据表明, 实习贴可被检测到的磁场分布最窄处大约为 20 mm。因此, 为了确保检测效果, 应预留至少 20 mm 宽的无钢板区域来放置传感器。实际上, 这一预留区域的宽度是由被检测物体的特性决定的, 其宽度应尽可能大, 以适应不同情境下的检测需求。

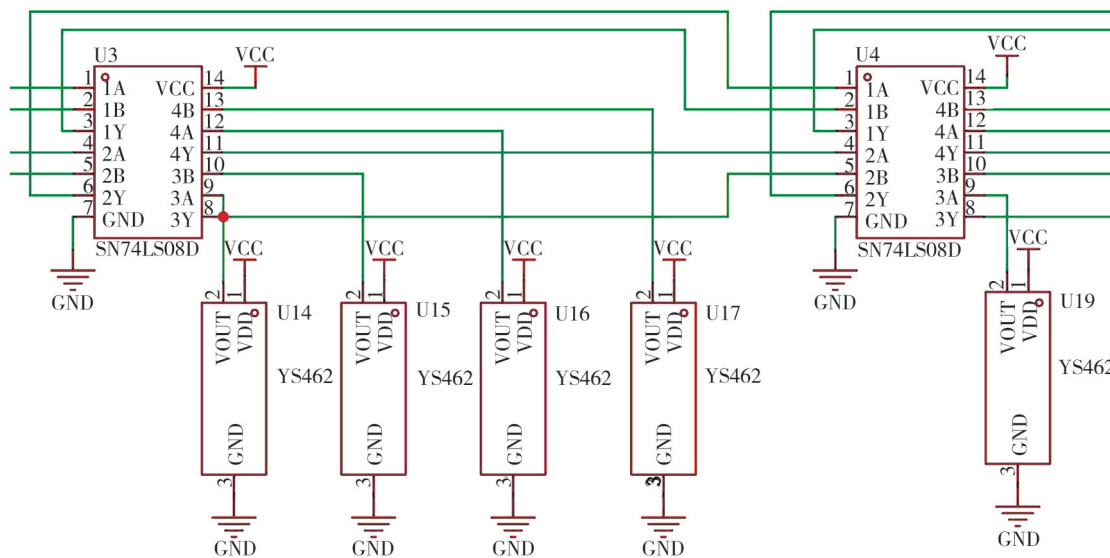


图6 贴片式传感器的电路原理图

Fig. 6 Circuit schematic diagram of chip sensor

74LS08有4个与门, 共8个输入, 其中4个输入为传感器输出, 剩余4个输入为上一级的4个与门输出。理论上以此规律连接的传感器数量不受限制。本文应用霍尔传感器的数量为240个, 且可以根据需求进一步增加。这种电路设计有效提高了传感器阵列的布置密度, 解决了传感器阵列数量不足、检测范围狭小、实时性差及芯片发热等问题。

2 电路与算法设计

2.1 电路设计

霍尔传感器主要分为模拟输出型和数字输出型。模拟输出型霍尔传感器可提供连续及与磁场强度成正比的输出信号; 数字输出型霍尔传感器常用于检测磁场阈值, 输出开关信号。本文选用数字输出型霍尔贴片传感器YS462。表2为该传感器的参数, 测试条件为25℃, 正电源电压为3V。

表2 该传感器参数

Tab. 2 Parameters of the sensor

参数	最小值	典型值	最大值
工作点/Gs	±11	±17	±23
释放点/Gs	±6	±12	±18
回差/Gs	—	5	—

注: ±表示磁场方向。

图6为传感器阵列电路, 主要包含霍尔传感器及74LS08, 当磁场强度高于17Gs时, 霍尔传感器输出低电平; 低于17Gs时输出高电平。其中, 74LS08为与门电路, 磁传感器输出信号作为与门电路的输入。

传感器的排列方式对检测效果至关重要。结合前述测量分析结果, 低密度的布局可能导致检出率低。在距离实习贴4mm时, 至少存在10mm×10mm的区域磁场强度超出23Gs。如果工作点为23Gs的传感器与实习贴距离4mm, 可能出现漏检情况。因此, 应尽量减小传感器之间的间隔。除了采取更密集的排列方式外, 只有当丝印面处于水平状态时, 对磁场的感应才最灵敏。

2.2 滑动窗口滤波方法

电机启停所产生的噪声信号持续时间至少为 500 ms, 与电机的启动方式如力矩和速度等密切相关。

根据可检测的磁场区域以及传送带速度 (1 m/s), 所检测到的带磁信号的理论持续时间计算为 1.4 ms, 二者之间存在两个数量级的差异。因此, 设置固定长度的时间检测窗口, 比较检测到的信号持续时间并过滤干扰。首先, 定义两个数组用于记录高电平和低电平的持续时间。接着, 通过查询方式判断输入信号是否为高电平, 如果输入信号为高电平, 则启动定时器 T2 开始计数。同时, 系统将持续监测输入的电平状态, 一旦检测到低电平, 立即停止 T2 的计数, 并将此次记录的数据存入相应的数组中。与此同时, 启动计数器 T0 以记录低电平的持续时间, 直到再次检测到高电平为止。这时, T0 停止计数, 并将记录的数据存入数组。如果此次记录的高电平持续时间超过 10 ms, 并且此次高电平前的低电平持续时间与此次高电平持续时间的比值大于 100, 则该状态被视为检测到磁性包裹。此时, 系统将输出持续 2 s 的高电平信号作为可编程逻辑控制器(PLC)检测的输入信号, 并随后初始化数组。如果未能检测到磁性包裹, 系统将继续查询输入电平状态, 并在没有检测到的情况下清零对应数组的值。该程序的流程图如图 7 所示。

2.3 信号输出电路

图 8 为信号放大电路。当检测到传感器电路输出低电平信号, 8 引脚贴片单片机 stc15f104w 经过滤

波程序, 确定有磁性信号时, OUT1 输出低电平导通 U3 光电耦合器, 光电耦合器的输出导通 Q1 晶体管, 让电流从集电极流向发射极, 使后续的继电器通电。继电器的触点 JDQ1 连接到负载, 实现 24 V 信号的输出。此外, 还连接了一个指示灯 D3, 当继电器导通时, LED 会亮以指示负载正在工作或电路处于工作状态。

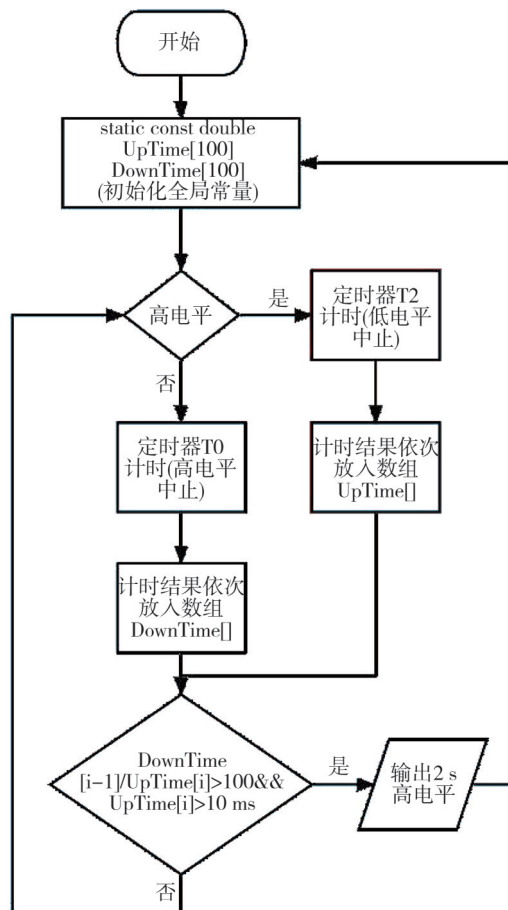


图 7 信号滤波流程图

Fig. 7 Flow chart of signal filtering

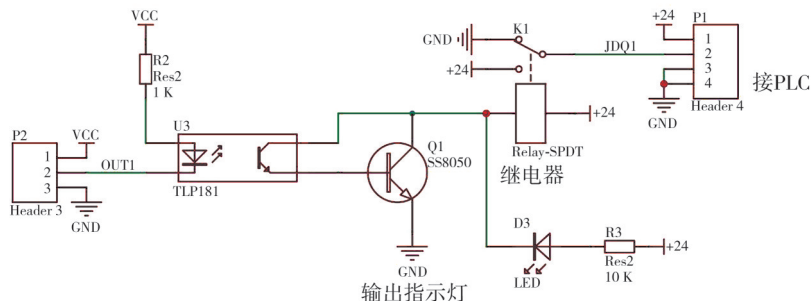


图 8 信号放大电路

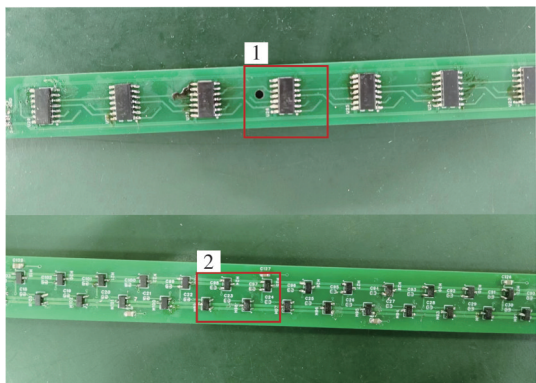
Fig. 8 Signal amplification circuit

3 实验分析

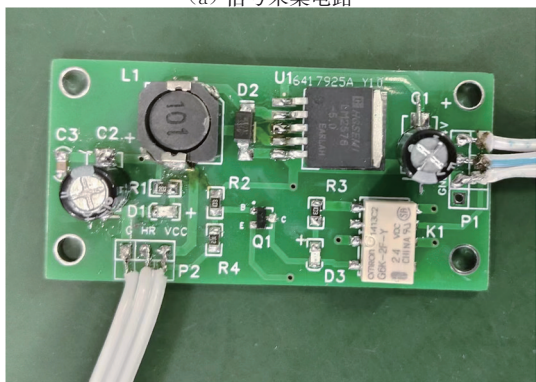
本节从电路设计制作和支撑结构出发, 着重

试验分析了不同的结构设计对检测的影响。电路按照功能分为信号采集和电源与信号处理两部分。图 9(a) 中的 1 号框为信号采集电路背面的与

门芯片,图9(a)中的2号框为部分霍尔传感器阵列,横向间隔10 mm,纵向相错5 mm。图9(b)为电源和信号处理模块,单独引出节省空间。



(a) 信号采集电路



(b) 电源和信号处理模块

图9 各模块电路板

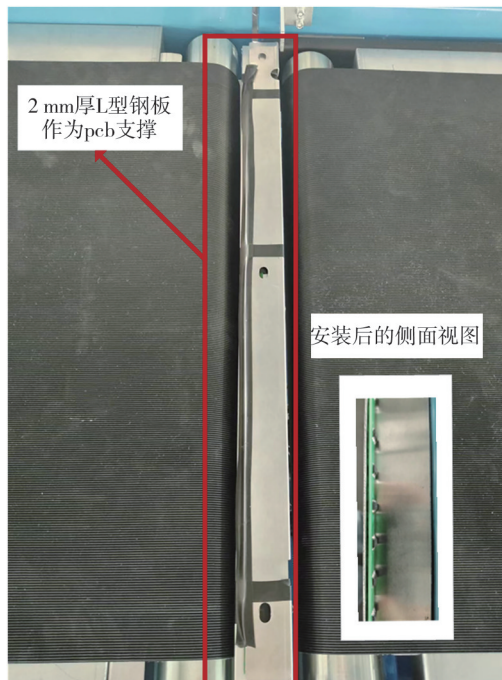
Fig. 9 Circuit board of each module

实验首先将传感器安装在2 mm厚的钢板下方,如图10(a)所示。结果表明,即使在静态条件下,传感器也无法检测到磁性物体,这是由于钢板对磁场的削弱作用。后续更换为2 mm厚的铝板实验,如图10(b)所示,实验表明在静态条件下可以检测到磁性物体,但在1 m/s的速度下仍无法检测到。

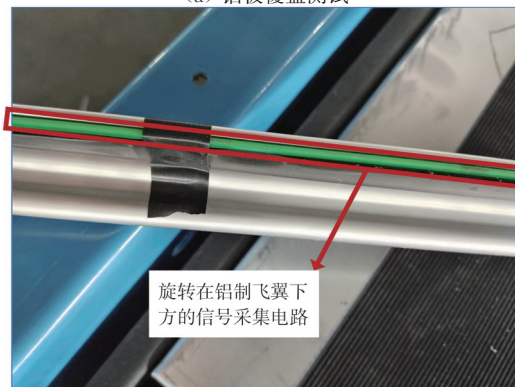
为研究铝板厚度对检测效果的影响,将传感器安装在两个传送带中间的铝板下方。选用厚度为1.5 mm和1 mm的铝板进行实验。当传感器安装在1.5 mm铝板下方时,在静置和低速情况下,传感器能够成功检测到磁性物体;当速度达到1 m/s时,检测效果丧失,这是因为铝板具备一定的弧度,总距离甚至超过2 mm。当更换为1 mm厚铝板时,由于传感器足够贴合,总距离为1 mm,试验在静置和1 m/s的速度下均能检测到磁性信函。

为进一步研究本设计应对复杂情况下的检出率等数据,进行了产品级别的测试。实验对象为

信函,共100件,其中10件装一张磁性橡胶,10件装3张磁性橡胶,10件装5张磁性橡胶,10件装7张磁性橡胶,磁性橡胶规格相同,其余60件不装磁性橡胶。信函累计循环检测100次,共10 000次信函件被检测,信函运输速度1 m/s。



(a) 铝板覆盖测试



(b) 1.5 mm飞翼覆盖测试

图10 试验测试

Fig. 10 Experimental testing

检测结果如表3所示,信函内磁贴数量指单个信函内磁贴数量。

随着每个信函内磁贴数量的增加,吸附率逐步减小,这是由于磁场强度的增加与信函所承载重量之间的比例关系失调。系统检出率全部达到100%。误检率是指被错误识别为含有磁性橡胶的无磁性信函的比例。实验误检率为0.017%,说明在嘈杂环境中,系统偶尔会受到外部干扰,出现轻微的判断错误。漏检率是指未能识别出包含磁性橡胶的信函的

比例。在表 3 中,漏检率为 0,意味着没有任何一件含有磁性橡胶的信函被遗漏。

表 3 性能指标

Tab. 3 Performance specifications

信函内磁贴数量/张	信函总检测量/次	吸附率/%	检出率/%	误检率/%	漏检率/%
0	6 000	0	—	0.017	—
1	1 000	93.4	100	—	0
3	1 000	81.0	100	—	0
5	1 000	69.9	100	—	0
7	1 000	47.2	100	—	0

4 结 论

信函件分拣系统中,带磁性的信函吸附在传送装置上,会导致包裹丢失或机器停机,严重影响分拣效率,鉴于此,提出了一种基于开关型霍尔阵列的弱磁检测方法,通过信函分拣平台实验,证实该方法可有效检测出带磁信函。主要结论如下:

1) 研究了弱磁体的磁场分布特征,磁场强度随距离越大衰减越快。磁场强度低于 23Gs,将难以被霍尔开关传感器检测。通过测量单张磁贴和多张磁贴吸附的磁场分布,为后续传感器布局提供了依据。

2) 提出了一种铝板结构的设计方法,研究了不同金属结构对磁场的抑制特性,发现铝板对包裹磁特性抑制特性弱于钢板结构。由此设计了 1mm 厚铝板结构作为传感器的支撑和保护。

3) 设计了一种基于密集排布的霍尔传感器阵列的检测电路,实现了对弱磁场的快速准确检测和信号输出,有效减弱了电路发热等问题。

4) 设计了基于滑动窗口算法的滤波程序,有效抑制了外部磁场干扰,提高了检测的可靠性。

最后通过实验测试,信函件在 1m/s 的速度下,可以 100% 检测到包含不同数量的弱磁性信函件。

参考文献:

[1] 刘政. 2024 年全国快递业务量已突破 1000 亿件[N]. 中国经济导报, 2024-08-15(001).

[2] 张合明. 从肩扛背驮到智能化邮运生产[J]. 中国邮政, 2019(11): 36-37.
ZHANG Heming. From shoulder-carried to intelligent postal transportation[J]. China Post, 2019(11): 36-37. (in Chinese)

[3] 柳志光. 邮政平常信函业务产品改革探析[J]. 邮政研究, 2015, 31(4): 17-18.
LIU Zhiguang. Analysis of postal ordinary letter busi-

ness product reform [J]. Postal Research, 2015, 31(4): 17-18. (in Chinese)

[4] 谭宇硕, 韩瀚, 冯亚波, 等. 基于 PLC 的挂号信函分拣机械手设计[J]. 制造业自动化, 2015, 37(15): 137-138.
TAN Yushuo, HAN Han, FENG Yabo, et al. Design of registered letter sorting mechanical hand based on PLC[J]. Manufacturing Automation, 2015, 37(15): 137-138. (in Chinese)

[5] LIU Y, XIN Y, HUANG Y, et al. Optimal design and development of magnetic field detection sensor for AC power cable[J]. Sensors, 2024, 24(8): 2528.

[6] YANG Y, XU W, CHEN G, et al. MEMS fluxgate sensor based on liquid casting [J]. Micromachines, 2023, 14(12): 2159.

[7] 马成功, 李丕丁. 基于磁通门传感器的铁磁探测系统设计[J]. 电子测量技术, 2022, 45(19): 175-180.
MA Chenggong, LI Piding. Design of ferromagnetic detection system based on fluxgate sensor [J]. Electronic Measurement Technology, 2022, 45(19): 175-180. (in Chinese)

[8] 葛翰林, 张一鸣, 张晨浩, 等. 高温磁通门传感器设计与实现[J]. 仪表技术与传感器, 2023(11): 23-28.
GE Hanlin, ZHANG Yiming, ZHANG Chenhao, et al. Design and implementation of high temperature fluxgate sensor[J]. Instrument Technique and Sensor, 2023(11): 23-28. (in Chinese)

[9] LIU Y, HU L L, LIAO M Z, et al. A testing platform for frequency response characteristics of linear Hall sensors [J]. Journal of Measurement Science and Instrumentation, 2024, 15(1): 105-119.

[10] 项琼, 岳长喜, 胡琛, 等. 基于霍尔传感器阵列的电流测量系统[J]. 电测与仪表, 2017, 54(23): 105-110.
XIANG Qiong, YUE Changxi, HU Chen, et al. Hall effect element array based current measurement system [J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2017, 54(23): 105-110. (in Chinese)

[11] 李小康, 唐玥, 吴骏炎, 等. 一种应用于椭圆阵列式霍尔传感器的多导体测量串扰优化研究[J]. 测控技

- 术, 2024, 43(8): 23-28.
- LI Xiaokang, TANG Yue, WU Junyan, et al. A multi-conductor measurement crosstalk optimization study applied to elliptical array hall sensors[J]. Measurement & Control Technology, 2024, 43(8): 23-28. (in Chinese)
- [12] 赵寅瀚, 王海, 林涛, 等. 应用于涡流无损检测的柔性磁阻传感器[J]. 传感器与微系统, 2024, 43(9): 165-168.
- ZHAO Yinhan, WANG Hai, LIN Tao, et al. Flexible magnetoresistive sensor for eddy current non-destructive testing [J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2024, 43(9): 165-168. (in Chinese)
- [13] YANG L, TU C, GAO S. Detection method of weak magnetic field based on fluxgate sensor[J]. Instrument Technique and Sensor, 2014, 15(4): 84-87.
- [14] 侯化安, 易忠, 王三胜. 基于STM32的磁检测系统和扫描检测算法研究[J]. 测试技术学报, 2016, 30(4): 313-321.
- HOU Huaan, YI Zhong, WANG Sansheng. Research on magnetic detection system and scanning detection algorithm based on STM32 [J]. Journal of Test and Measurement Technology, 2016, 30(4): 313-321. (in Chinese)
- [15] 侯化安, 王三胜, 赵瀚, 等. 基于霍尔传感器的缺陷区域预定位系统研究[J]. 测试技术学报, 2015, 29(5): 432-438.
- HOU Huaan, WANG Sansheng, ZHAO Han, et al. Research on defect area pre-positioning system based on Hall sensor [J]. Journal of Test and Measurement Technology, 2015, 29(5): 432-438. (in Chinese)