

## 基于灰度共生矩阵算法的新型散包检测

杨彩虹, 蔡培良, 郑利明, 何孝强, 丁聪龙, 刘懋超, 刘师遥  
(红云红河烟草(集团)有限责任公司曲靖卷烟厂, 云南 曲靖 655001)

**摘要:** **目的** 解决传统亮度、色彩等检测方法不能有效检测出烟包(尤其背景为白色的烟包)有无油封包裹的问题。**方法** 在传统检测方法的基础上, 增加基于灰度共生矩阵算法的检测方法进行散包检测, 通过对新型散包检测硬件架构设计、硬件隔离设计、相机优化、数学建模、灰度共生矩阵特征值提取、最优解等处理, 采用基于灰度共生矩阵算法的新型散包检测方法实现烟包散包检测精度的提升, 有效检测出烟包(尤其浅色烟包)有无油封包裹的情况, 降低无油封包裹烟包流入下道工序的风险。**结果** 基于灰度共生矩阵算法的新型散包检测方法能有效提升烟包的散包检测精度, 散包烟包的检出剔除率 $\geq 99.9\%$ 。**结论** 基于灰度共生矩阵算法的新型散包检测方法能有效提升烟包的散包检测精度, 尤其对浅色烟包有无油封包裹情况效果提升明显。

**关键词:** 灰度共生矩阵; 特征值; 欧式距离; 曼哈顿距离; 特征向量

中图分类号: TB487 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2023)15-0260-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.15.034

### Novel Bulk Pack Detection Based on Gray Scale Co-occurrence Matrix Algorithm

YANG Cai-hong, CAI Pei-liang, ZHENG Li-ming, HE Xiao-qiang, DING Cong-long,  
LIU Mao-chao, LIU Shi-yao

(Qujing Cigarette Factory, Hongyun Honghe (Group) Co., Ltd., Yunnan Qujing 655001, China)

**ABSTRACT:** The work aims to solve the problem that traditional brightness, color and other detection methods can not effectively detect whether the cigarette pack (especially the white background of the cigarette pack) is oil-sealed. On the basis of traditional detection methods, the detection method based on gray scale co-occurrence matrix algorithm was added for bulk pack detection. Through the novel hardware architecture design of bulk packet detection, hardware isolation design, camera optimization, mathematical modeling, eigenvalue extraction of gray scale co-occurrence matrix, optimal solution and other processing, the novel bulk pack detection method based on gray scale co-occurrence matrix algorithm could improve the detection accuracy of cigarette pack and effectively detect whether the cigarette pack (especially the light-colored cigarette pack) was oil-sealed, and reduce the flow of unsealed packs into the next process. The novel detection method based on gray scale co-occurrence matrix algorithm could effectively improve the detection accuracy of cigarette pack, and the detection and rejection rate of cigarette pack was  $\geq 99.9\%$ . The novel detection method based on gray scale co-occurrence matrix algorithm can effectively improve the detection accuracy of cigarette pack, especially for light-colored cigarette pack with or without oil seal.

**KEY WORDS:** gray scale co-occurrence matrix; eigenvalue; European distance; Manhattan distance; feature vectors

收稿日期: 2023-03-11

作者简介: 杨彩虹(1985—), 女, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向为烟草装备电器维修及检测。

GDX1、GDX2 (以下简称 GD 包装机) 包装机组为国内主流包装设备, 烟包在油封包装生产过程中, 因多种因素导致烟包油封包裹不完整而产生多种类型的烟包油封缺陷产品。对烟包油封包裹检测一般为散包检测, 针对烟包散包检测的方法常见为光电检测、视觉检测等。

## 1 现状分析

生产中因多种因素导致存在没有油封包裹的烟包产生, 故设计出多种散包检测<sup>[1-5]</sup>, 但一般采用基于三色素的亮度检测、色彩检测等方法进行散包检测。传统的散包视觉检测存在识别效果不够好、准确率不高、运算速度慢、可能产生多个正确识别结果等问题, 针对油封包裹完好与没有油封包裹的烟包, 采用传统亮度、色彩检测方法较难区分出有无油封包裹的情况, 如图 1 所示, 存在无油封包裹的缺陷烟包而

不能被有效检测出并剔除的风险。李力等<sup>[6]</sup>采用基于疑似目标区域判定方法进行散包检测, 对目标区域类的图像进行判定, 对背景为浅色的纯色烟包, 其判定效果不明显。

从图 1 可以看出, 采用传统的亮度检测方法进行散包检测, 有无油封包裹烟包的检测值较为接近, 存在无油封包裹烟包流入下道工序的风险, 且生产中无法杜绝无油封烟包的产生。无油封烟包流入下道工序进入条包后, 无法对烟包油封再次进行检测, 存在较大的质量风险。

针对上述问题, 在传统检测方法基础上, 采用基于灰度共生矩阵算法<sup>[7-9]</sup>的检测方法进行散包检测。经过对有油封包裹与无油封包裹烟包的散包测试发现, 基于灰度共生矩阵算法<sup>[10-13]</sup>的检测方法<sup>[14-15]</sup>能有效解决上述问题, 杜绝无油封包裹烟包流入下道工序的风险。检测结果如图 2 所示。

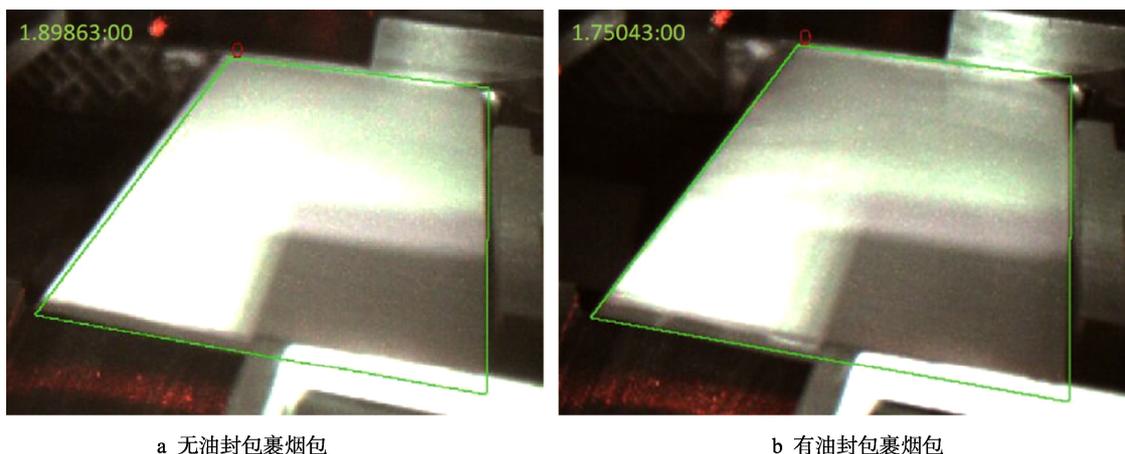


图 1 传统算法对正常烟包和缺陷烟包的散包检测对比  
Fig.1 Comparison of the traditional algorithm for the detection of normal and defective packs

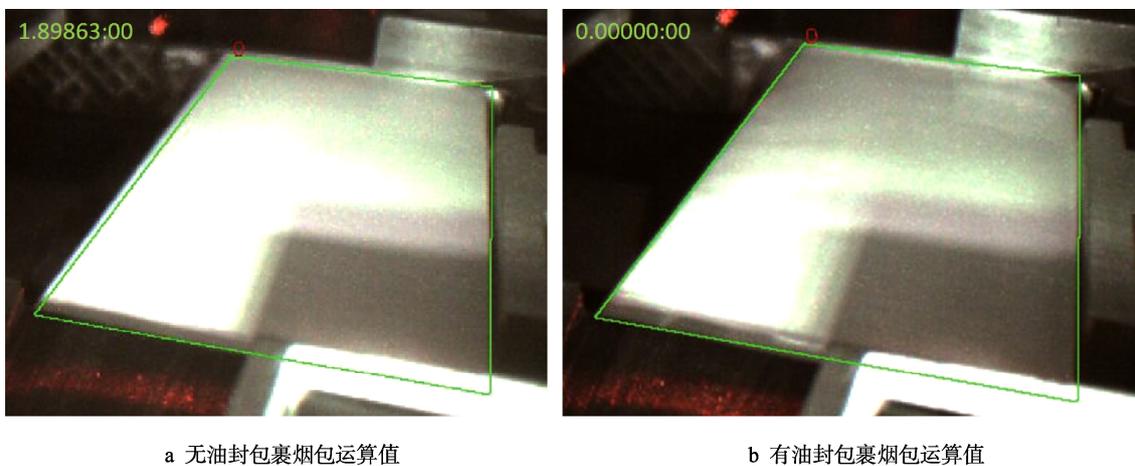


图 2 基于灰度矩阵算法检测对正常烟包和缺陷烟包的检测结果对比  
Fig.2 Comparison of the detection results of normal and defective packs based on gray scale matrix algorithm

## 2 基于灰度共生矩阵算法的新型散包检测设计

### 2.1 新型散包检测装置架构及硬件架构

新型散包检测装置由高性能 Blackfin 处理器、流水线视觉处理器、超高清视觉彩色相机、光源、工控机等构成。检测系统硬件架构如图 3 所示。

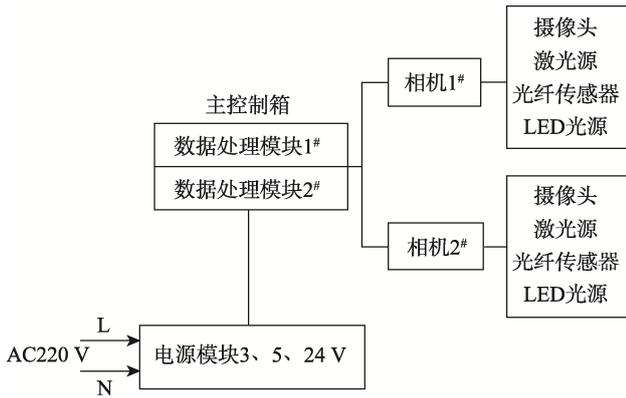


图 3 新型散包检测硬件架构

Fig.3 Novel hardware architecture of bulk pack detection

为了提高图像算法处理的速度，不需 CPU 干预以提高运算处理时间，则在传统硬件基础上增加流水线视觉处理器 PVP。视觉处理器 PVP 包含于数据处理模块 DSP 中，PVP 具有 4 个 5×5 的 16 位卷积模块，1 个 16 位笛卡尔转极坐标模块，1 个像素边缘分类器，支持一阶和二阶导数模式、32 位加法、乘法和除法运算，从而预处理和协处理视频处理应用中的视频帧，提高运算速度。

散包检测的 2 个相机工作环境较恶劣，周围有静电消除器（易产生高压电）与高速电机等，极易对高速 DSP 产生干扰。为了降低外部因素对 DSP 的干扰，DSP 及主板与外部设备之间采用全隔离，使得两端的电源完全独立，提高系统的稳定性，尤其使得设备外壳能承受 10 000 V 的静电高压放电（接触放电）。硬件隔离设计框图如图 4 所示。

为了提高检测系统的处理时间，对相机进行优化设计：中间链路采用带宽高达 1.6 GHz 频率的同轴电缆，并将相机的电源、输入信号、控制信号、相机触发信号等所有信号全部耦合到同轴电缆中。经测试，触发信号从输入到输出的响应时间为 50 μs，完全达到设备生产要求；优化后提高了相机的抗干扰性，并极大降低了相机的体积，相机能满足多种安装尺寸，相机优化设计简图如图 5 所示。

在线检测对处理时间要求较高，GD 设备正常运行速度为 400 包/min，则每包烟包在检测位的时间约 0.15 s，而检测系统的硬件与软件优化后的响应时间

为 50 μs，完全满足设备正常运行速度要求，检测系统的在线实时处理性能满足设备运行需求。

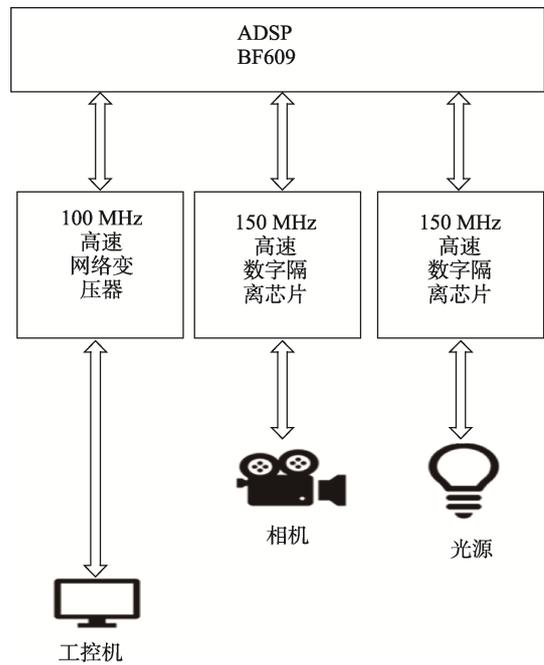


图 4 系统硬件架构全隔离设计

Fig.4 Fully isolated design of system hardware architecture

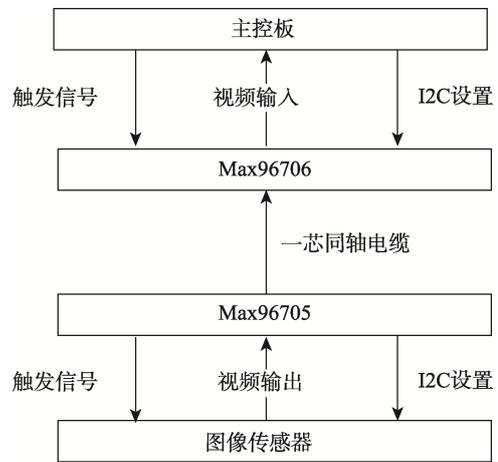


图 5 相机优化设计

Fig.5 Camera optimization design

### 2.2 数学建模

将图像分成若干个 64×64 的子图像，将图像水平方向分为 20 等份，垂直方向分为 15 等份，共 300 个子图像。按从左到右、从上至下排列依次为 0, 1, 2, ..., 299。其中每幅子图像取 12 个特征值，则最大共计 3 600 个特征值，依次排列为 0, 1, 2, ..., 3 599。将 3 600 个特征值按顺序排列并转置成列向量  $X$ ， $X$  为高维空间中的一个点（最大 3 600 维），那么 2 幅图像的区别大小为高维空间中 2 点的距离。2 幅图像区别越大

则表现为空间中 2 点间的距离越大, 若 2 幅图像极其相似 (或相同), 表现为 2 点距离接近 (或重合)。在高维空间中 2 点的距离通过曼哈顿距离与欧式距离来表示。

曼哈顿距离: 向量  $x, y$  间的距离  $d=L_1=\sum abs(x_i-y_i)$ ; 欧式距离: 向量  $x, y$  间的距离  $d=L_2=\sqrt{(\sum(x_i-y_i)^2)}$ 。

### 2.3 基于灰度共生矩阵算法的特征提取及归一化处理

特征提取是机器学习最关键的一步, 特征是否具有代表性直接关系到判断的准确性。根据多次试验结果, 本检测采用灰度共生矩阵进行特征提取。灰度共生矩阵 (GLDM) 的统计方法是由 Haralick 等提出, 在假定图像中, 各像素间的空间分布关系包含了图像纹理信息的前提下提出的具有广泛性的纹理分析方法。

检测的输出图像为 bayer 格式, 如图 6 所示。对 300 个  $64 \times 64$  子图像中的 RGB 分别求灰度共生矩阵。其中  $R$  选择  $0^\circ$ , 即水平方向, 取间隔 2 个像素的灰度级, 左右、上下移动步长为 2;  $G$  选择  $45^\circ$ , 即对角线方向, 同样左右、上下移动步长为 2;  $B$  选择  $90^\circ$ , 即垂直方向, 取间隔 2 行像素的灰度级, 左右、上下移动步长为 2。图像传感器各个像素输出数据为 12 位数据, 即从 0~4 096, 为降低运算量, 将输出数据  $D$  除以 128, 即  $D=D/128$ , 这样数据被分为 32 个等级, 所得 3 个灰度共生矩阵为  $32 \times 32$  的方阵。这样在满足检测要求的前提下极大地提高了运算速度。

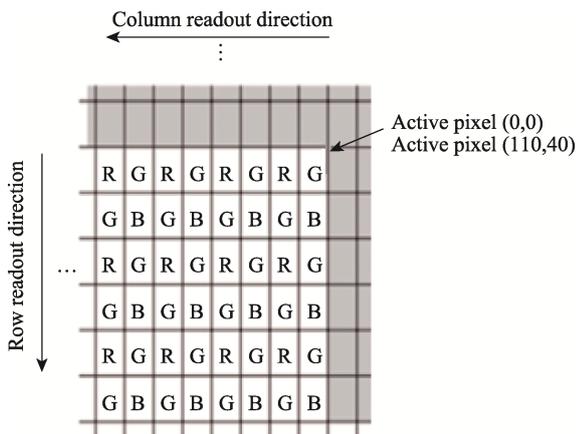


图 6 输出图像的 bayer 格式  
Fig.6 Output image in bayer format

由于灰度共生矩阵的数据量较大, 一般不直接作为区分纹理的特征, 而是将基于灰度共生矩阵构建的一些统计量作为纹理分类特征。Haralick 等曾提出了 14 种基于灰度共生矩阵计算出来的统计量, 如能量、

熵、对比度、均匀性、相关性、方差、和平均、和方差、和熵、差方差、差平均、差熵、相关信息测度以及最大相关系数。本检测通过对对比度、能量、熵、逆方差等 4 个特征统计量的计算, 找出灰度共生矩阵的特征值。

#### 2.3.1 灰度共生矩阵的特征统计量

为度量图像的清晰度与纹理的沟纹深浅, 采用对比度  $C_{on}$  进行分析。

$$c_{on} = \sum_i \sum_j (i-j)^2 P(i, j)$$

对比度反映了图像的清晰度和纹理的沟纹深浅。对比度越大, 纹理的沟纹越深, 反差越大, 效果越清晰; 反之, 对比度越小, 沟纹越浅, 效果模糊。

为反映图像灰度分布均匀程度和纹理粗细度, 采用能量  $A_{sm}$  进行分析。

$$A_{sm} = \sum_i \sum_j P(i, j)^2$$

从能量分析可以看出, 若能量较小, 表明灰度共生矩阵的元素值相近, 反映出图像纹理细致; 若能量值较大, 表明矩阵中的元素值波动大, 其中一些值大, 一些值小。

在判断图像的清晰度、灰度分布、纹理粗细后, 对图像灰度分布的复杂程度分析采用熵  $E_{nt}$  分析。

$$E_{nt} = \sum_i \sum_j P(i, j) \log P(i, j)$$

熵度量了图像包含信息量的随机性, 表现了图像的复杂程度。当矩阵中所有值均相等或者像素值表现出最大的随机性时, 熵最大。从熵  $E_{nt}$  看出, 熵值越大, 表明共生矩阵中的值的随机性越大, 反映出图像越复杂。

最后采用逆方差  $H$  对图像纹理的每个局部变化的大小进行分析。

$$H = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} \frac{P(i, j | d, \theta)}{1+(i-j)^2}$$

逆方差反映图像纹理局部变化的大小, 从逆方差  $H$  可以看出, 若图像纹理的不同区域间较均匀, 变化缓慢, 逆方差会较大, 反之较小。

通过上述 4 个特征统计量完成对灰度共生矩阵的求解, 实现对图像的算法分析。

#### 2.3.2 特征向量归一化

上述特征统计量的计算结果并不能被计算机解读, 需完成特征统计量的归一化, 通过归一化处理全部转换到 0~1。

在 300 个  $64 \times 64$  子图像中搜索出  $C_{on}$  的最大值  $C_{max}$  和最小值  $C_{min}$ , 对比度的归一化值为  $C_{on\_new}$ ,  $C_{on\_new}=(C_{on}-C_{min})/(C_{max}-C_{min})$ 。同理对能量  $A_{sm}$ 、熵  $E_{nt}$ 、逆方差  $H$  进行归一化处理, 归一化计算处理结果如图 7 所示。

图7 归一化处理计算截图  
Fig.7 Normalized processing calculation screenshot

归一化后的计算结果为0~100，对每位计算结果除以100，转化为0~1，完成归一化处理。

### 2.4 数据模型最优解

本检测的样本总数固定为768个，且均为正类，因此共有768个维度为3 600的高维向量，记做 $X_i$  ( $X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_{768}$ )。对处理器来说，由于曼哈顿距离运算量小，欧式距离计算量大，欧式距离需要平方和再开根号。为了得到稀疏解并加快算法速度，故优化时采用 $L_1$ 正则化（即曼哈顿距离），且支持向量大大减少，方便后一步计算。进行 $L_1$ 正则化，在该特征空间求解出体积最小的超球体，因此要解决以下优化问题：

$$\min_{a, R, \xi} R^2 + C \sum_{i=1}^n \xi_i$$

$$\text{s.t. } \|\Phi(x_i) - a\| \leq R^2 + \xi_i, \xi_i \geq 0, \forall i = 1, 2, \dots, n$$

式中： $R$ 为超球体半径； $a$ 为超球体的球心，也是一个向量； $\xi$ 为松弛因子； $C$ 为一个权衡超球体体积和误分率的惩罚参数； $n$ 为768。结合拉格朗日乘子法，则原问题的对偶问题转换为：

$$\text{Max}L(\Phi(x_i), a, R, \xi_i, \alpha_i, \beta_i) =$$

$$R^2 + C \sum_{i=1}^n \xi_i + \sum_{i=1}^n \alpha_i [(\Phi(x_i) - a)^T (\Phi(x_i) - a) - R^2 - \xi_i] - \sum_{i=1}^n \xi_i \beta_i$$

根据优化理论，分别对 $R, a, \xi_i$ 求偏导，并令其偏导数为0，则有：

$$\partial L / \partial R = 2R - 2R \sum_{i=1}^n \alpha_i = 0 \quad (1)$$

$$\therefore \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$$

$$\partial L / \partial a = \sum_{i=1}^n [\alpha_i (-2\Phi(x_i) + 2a)] = 0 \quad (2)$$

$$\therefore \sum_{i=1}^n \alpha_i a - \sum_{i=1}^n \alpha_i \Phi(x_i) = 0$$

$$\therefore \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$$

$$\therefore a = \sum_{i=1}^n \alpha_i \Phi(x_i)$$

$\partial L / \partial \xi_i = C - \alpha_i - \beta_i = 0$ （分别对每一个 $\xi_i$ 求偏导数）

$$\therefore C = \alpha_i + \beta_i$$

将式(1)——(3)代入前面的拉格朗日函数可得：

$$\text{Max}L(\Phi(x_i), \alpha_i) = \sum_{i=1}^n \alpha_i (\Phi(x_i), \Phi(x_i)) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \alpha_i \alpha_j (\Phi(x_i), \Phi(x_j)) \quad (4)$$

为了增加检测的非线性，引用高斯核函数：

$$G(x_i, x_j) = \exp\left(-\frac{(x_i - x_j)^2}{d^2}\right)$$

$$\text{令 } G(x_i, x_j) = (\Phi(x_i), \Phi(x_j)) \quad (5)$$

当 $i = j$ 时， $G(x_i, x_j) = 1$ ，则由式(4)——(5)得：

$$L_{\text{max}} = 1 - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \alpha_i \alpha_j G(x_i, x_j) \quad (6)$$

通过坐标下降法求出768个 $\alpha$ 值，由于采用的是 $L_1$ 正则化，所以很大一部分 $\alpha$ 值为0。把 $\alpha$ 值不为0的向量记做特征向量，并按图片对应保存至特征向量库 $S_V$ ，则超球体半径的平方为：

$$R^2 = 1 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \alpha_i \alpha_j G(x_i, x_j) - 2 \sum_{i=1}^n \alpha_i G(x_{S_V}, x_j) \quad (7)$$

则检测点到球心距离的平方为 $D_{\text{TEST}}^2$ ：

$$D_{\text{TEST}}^2 = 1 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \alpha_i \alpha_j G(x_i, x_j) - 2 \sum_{i=1}^n \alpha_i G(x_{\text{TEST}}, x_j) \quad (8)$$

计算与检测样品的支持向量的距离时，此时样品数量已大大减少，仅剩支持向量，且仅计算检测样品到各支持向量的距离，没有其他交叉计算，故计算数据量少。由于欧式距离的精度要远大于曼哈顿距离的，故此时通过欧式距离 $L_2$ 计算出图像各检测点 $x_{\text{TEST}}$ 与各支撑向量之间的距离，找到距离最近的支撑向量即为对应的特征向量 $R_{S_V}^2$ ，记做 $R_{S_V \text{min}}^2$ 。如果 $D_{\text{TEST}}^2 > R_{S_V \text{min}}^2$ ，则为不正常烟包；如果 $D_{\text{TEST}}^2 < R_{S_V \text{min}}^2$ ，则为正常烟包。

### 2.5 算法测试

通过以上几类型烟包测试, 证明所设计的基于灰度共生矩阵算法的新型散包检测能有效解决浅色烟包(尤其是白色背景烟包)无油封包裹不能被有效检测的问题。经实验测试(见图 8), 基于灰度共生矩阵算法的散包检测能有效检测浅色背景烟包有无油封包裹, 对纯白色背景烟包也有明显的区分, 极大地提高了散包检测的精确度和准确度。

### 3 散包检测效果分析

为了验证基于灰度共生矩阵算法的散包检测系统安装前后检测效果, 在正常生产机组选取 2 台 GD 机型设备进行测试, 设备按正常运行速度 400 包/min 运行, 生产品牌为常规品牌(烟包颜色为浅色、纯白色)。通过随机抽取 1 组包装机安装该散包检测系统, 统计前后 10 个工作日下一道工序返回无油封包裹烟包数量、检测系统剔除无油封包裹的烟包数量, 见表 1。

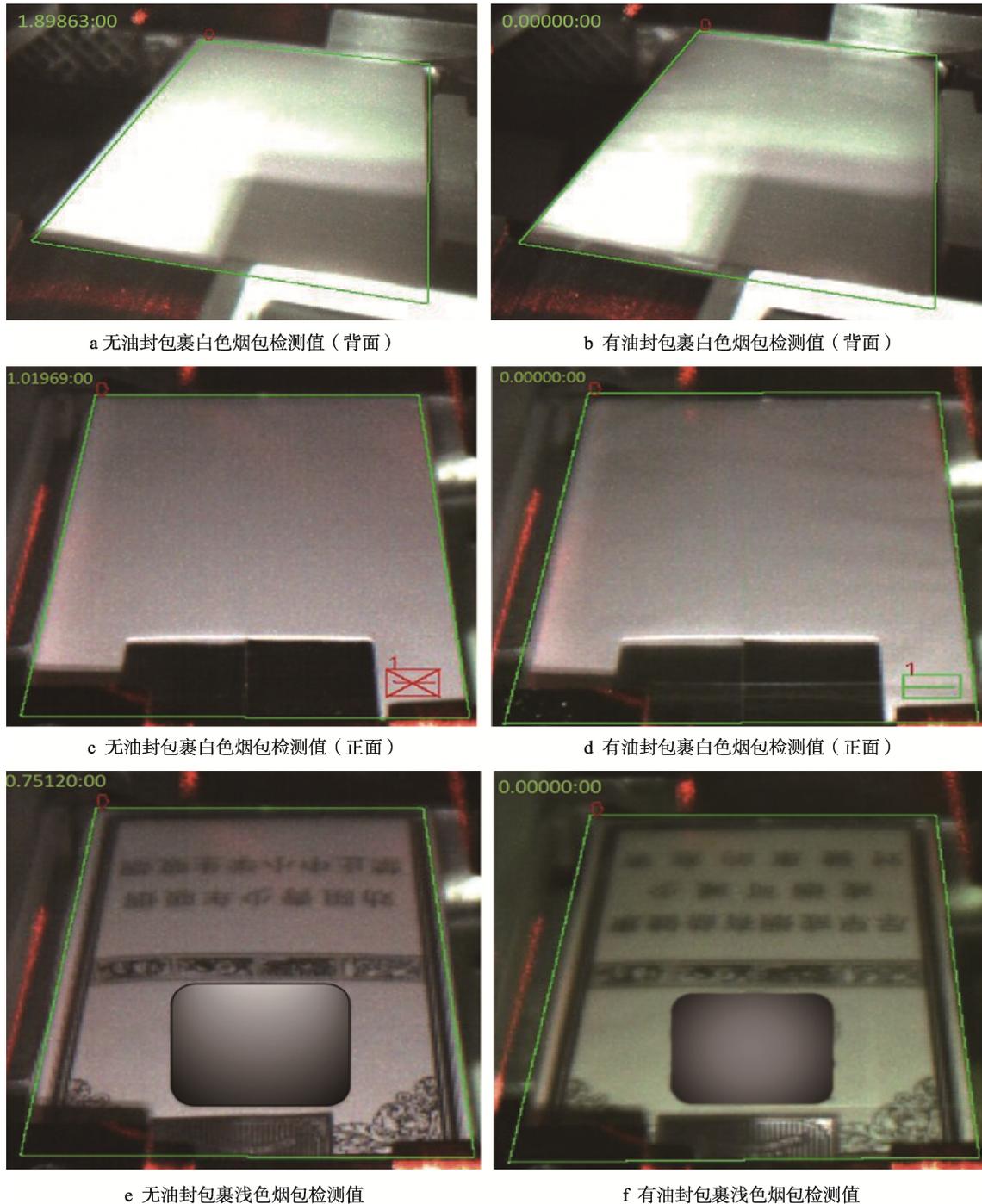


图 8 不同颜色烟包有无油封包裹下的测试对比  
Fig.8 Test comparison of different color cigarette packs with or without oil seal

表1 新型散包检测系统测试前后缺陷烟包(无油封)发生频次统计

Tab.1 Statistics of the occurrence frequency of defective cigarette packs (without oil seal) before and after the test of the novel bulk pack detection system

样本数据	改进前		改进后	
	检测系统检测剔除数量/(包·d <sup>-1</sup> )	下一道工序返回缺陷烟包数量/(包·d <sup>-1</sup> )	检测系统检测剔除数量/(包·d <sup>-1</sup> )	下一道工序返回缺陷烟包数量/(包·d <sup>-1</sup> ) <sup>①</sup>
1	0	2	2	0
2	0	1	1	0
3	0	2	2	0
4	0	1	2	0
5	0	2	2	0
6	0	2	2	0
7	0	2	2	0
8	0	2	2	0
9	0	1	1	0
10	0	1	2	0
合计	0	16	18	0

注: ①改造前无油封包裹的烟包全部流入下一道工序, 改造后无油封包裹的烟包全部在检测口进行有效检测并准确剔除。

从表1的统计表明, 该新型散包检测系统安装前后, 包装机生产中产生的无油封包裹的烟包总量基本一致, 平均每天新型散包检测系统检测剔除的烟包为1~2包, 与改造前流入下一道工序的缺陷烟包数量基本一致; 改造后, 下一道工序检测、抽检、自检返回的无油封包裹的烟包数量为0。检测装置安装运行后, 无油封包裹烟包全部在包装机剔除口被准确剔除。表明采用基于灰度共生矩阵算法的新型散包检测方法能实现烟包散包检测精度的提升, 该方法能有效检测出浅色烟包有无油封包裹情况, 极大地提升了散包检测的精确性, 降低缺包烟包进入下道工序的风险。

为对新型散包检测进行对比分析, 故对传统散包检测进行测试统计。在正常生产机组随机选取1台GD机型设备进行测试, 设备按正常运行速度400包/min运行, 生产品牌为常规品牌(烟包颜色为浅色、纯白色), 统计10个工作日下一道工序返回无油封包裹烟包数量、检测系统剔除无油封包裹的烟包数量, 见表2。

从表2的统计表明, 传统散包检测能检测出部分散包, 但下道工序仍存在部分散包缺陷烟包。表明传统散包检测存在漏检情况, 存在缺陷散包流入下道工序的风险, 散包检测精度有待提升。

表2 传统散包检测测试缺陷烟包(无油封)发生频次统计  
Tab.2 Statistics of occurrence frequency of defective cigarette packs (without oil seal) detected by traditional bulk pack test

样本数据	检测系统检测剔除数量/(包·d <sup>-1</sup> )	下一道工序返回缺陷烟包数量/(包·d <sup>-1</sup> )
1	1	1
2	0	1
3	2	1
4	0	1
5	1	2
6	0	1
7	1	1
8	0	1
9	0	1
10	0	1
合计	5	11

注: 传统无油封包裹的烟包散包会流入下一道工序。

## 4 结语

通过对传统散包与基于灰度共生矩阵新型散包检测的在线烟包数据分析可知, 新型散包检测系

统不合格品检测剔除率 $\geq 99.99\%$ 、误剔率 $\leq 0.01\%$ 。该数据为下一道工序返回的无油封包裹的缺陷烟包, 包括下一道工序检测、抽检、自检返回的不合格烟包。

从测试及试运行可知, 采用基于灰度共生矩阵算法的新型散包检测方法能实现烟包散包检测精度的提升。该方法能有效检测出浅色烟包有无油封包裹情况, 极大地提升了散包检测的精确性, 进而提升产品质量、降低物耗、降低缺包烟包进入下道工序的风险。

#### 参考文献:

- [1] 曹兴强. 包装机散包检测系统[J]. 设备管理与维修, 2016(1): 61-63.  
CAO Xing-qiang. Bulk Package Detection System of Packaging Machine[J]. Plant Maintenance Engineering, 2016(1): 61-63.
- [2] 高辉. ZB25 包装机玻璃纸散包检测装置设计及应用[J]. 现代制造技术与装备, 2015(6): 56-57.  
GAO Hui. The Design and Application of ZB25 Packaging Machine for Measuring the Glass Paper Bag[J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment, 2015(6): 56-57.
- [3] 罗彩丽. GDX2 包装机组 CH 小包透明纸检测系统的设计应用[J]. 烟草科技, 2013, 46(3): 25-26.  
LUO Cai-li. Design and Application of Packet Film Detection System for CH of GDX2 Packing Line[J]. Tobacco Science & Technology, 2013, 46(3): 25-26.
- [4] 祝荣壮, 关堂新. ZB25 包装机玻璃纸散包检测装置设计及应用[J]. 包装与食品机械, 2008, 26(5): 21-23.  
ZHU Rong-zhuang, GUAN Tang-xin. Design and Application of Incompact Cellophane Inspecting Device in ZB25 Packer Machine[J]. Packaging and Food Machinery, 2008, 26(5): 21-23.
- [5] 孙军, 甘益员, 刘静北, 等. ZB45 型包装机组条包烟内外质量检测装置的设计应用[C]// 中国烟草学会工业专业委员会, 中国烟草学会工业专业委员会烟草工艺学术研讨会论文集, 中国烟草学会, 2010: 4.  
SUN Jun, GAN Yi-yuan, LIU Jing-bei, et al. Design and Application of the Internal and External Quality Inspection Device for ZB45 Packaging Unit[C]// Industrial Professional Committee of China Tobacco Society. Proceedings of the Symposium on Tobacco Technology of the Industrial Professional Committee of the China Tobacco Society, China Tobacco Society, 2010: 4.
- [6] 李力, 黄玉彦, 乔茜华, 等. 基于疑似目标区域判定方法的卷烟透明包装缺陷检测[J]. 郑州轻工业学院学报(自然科学版), 2014(2): 35-37.  
LI Li, HUANG Yu-yan, QIAO Qian-hua, et al. Detection of Cigarette Transparent Packaging Defect Based on Judgment Method of Suspected Target Region[J]. Journal of Zhengzhou Institute of Light Industry (Natural Science Edition), 2014(2): 35-37.
- [7] 朱丽娟. 基于灰度共生矩阵的红枣纹理特征提取[J]. 科技风, 2022(25): 78-80.  
ZHU Li-juan. Texture Feature Extraction of Red Jujube Based on Gray-Level Co-Occurrence Matrix[J]. Technology Wind, 2022(25): 78-80.
- [8] 陈滔, 张庆国, 刘澳. 基于灰度共生矩阵的图形纹理检测及焊接缺陷的 SVM 分类实现[J]. 洛阳理工学院学报(自然科学版), 2022, 32(1): 53-61.  
CHEN Tao, ZHANG Qing-guo, LIU Ao. SVM Classification Implementation of Graphic Texture Detection and Welding Defects Based on Gray Level Co-Occurrence Matrix[J]. Journal of Luoyang Institute of Science and Technology (Natural Science Edition), 2022, 32(1): 53-61.
- [9] 薄华, 马缚龙, 焦李成. 图像纹理的灰度共生矩阵计算问题的分析[J]. 电子学报, 2006, 34(1): 155-158.  
BO Hua, MA Fu-long, JIAO Li-cheng. Research on Computation of GLCM of Image Texture[J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(1): 155-158.
- [10] 李丽宏, 谢东阳, 王琳, 等. 纹理图像多尺度灰度共生矩阵步长参数的研究[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2021, 38(3): 108-112.  
LI Li-hong, XIE Dong-yang, WANG Lin, et al. Research on Step Parameter of Multi-Scale Gray Level Co-Occurrence Matrix for Texture Image[J]. Journal of Hebei University of Engineering (Natural Science Edition), 2021, 38(3): 108-112.
- [11] 刘光宇, 黄懿, 曹禹, 等. 基于灰度共生矩阵的图像纹理特征提取研究[J]. 科技风, 2021(12): 61-64.  
LIU Guang-yu, HUANG Yi, CAO Yu, et al. Research on Extraction of Image Texture Feature Based on Gray Co-Occurrence Matrix[J]. Technology Wind, 2021(12): 61-64.
- [12] 初录, 刘斌, 许亮, 等. 基于灰度共生矩阵的散斑质

- 量评价[J]. 激光与光电子学进展, 2021, 58(4): 235-243.
- CHU Lu, LIU Bin, XU Liang, et al. Speckle Quality Evaluation Based on Gray Level Co-Occurrence Matrix[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2021, 58(4): 235-243.
- [13] 刘振文. 用 PLC 在 ZB45 型包装机上实现散包检测[J]. 韶关学院学报(自然科学版), 2007, 28(9): 65-68.
- Liu Zhen-wen. Realizes Wrappage Examination with PLC on the ZB45 Packaging Machine[J]. Journal of Shaoguan University (Natural Science), 2007, 28(9): 65-68.
- [14] 董雅雯, 师静, 陈兴亚, 等. 基于灰度共生矩阵的矢量数据属性不一致图斑判定[J]. 中南林业调查规划, 2022, 41(3): 37-39.
- DONG Ya-wen, SHI Jing, CHEN Xing-ya, et al. Vector Data Attribute Inconsistent Patch Determination Based on Gray-Level Co-Occurrence Matrix[J]. Central South Forest Inventory and Planning, 2022, 41(3): 37-39.
- [15] 李金凤, 赵雨童, 黄伟然, 等. 基于灰度共生矩阵的多尺度分块压缩感知算法[J]. 激光与光电子学进展, 2021, 58(4): 100-108.
- LI Jin-feng, ZHAO Yu-tong, HUANG Wei-ran, et al. Multi-Scale Block Compressed Sensing Algorithm Based on Gray-Level Co-Occurrence Matrix[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2021, 58(4): 100-108.

责任编辑: 曾钰婵