

多光谱复合防伪图像检测报告生成技术研究

张霞, 曹鹏

北京印刷学院信息工程学院, 北京

收稿日期: 2025年3月1日; 录用日期: 2025年4月3日; 发布日期: 2025年4月18日

摘要

多光谱图像通常指其频率范围包括紫外(260~400 nm)、可见光(400~700 nm)及近红外(700~1100 nm)等多个波段的图像, 其能够提供丰富的防伪特征。多光谱图像从采集到数据分析与检测报告自动生成在实现防伪检测自动化和便捷化方面具有重要的应用价值。针对解决这一问题, 本文提出了一种基于Qt框架的多光谱复合防伪图像检测报告生成系统。该系统通过多光谱图像采集模块, 获取不同波段的图像信息, 然后基于QT的QAxObject接口实现Word文档的内容动态插入与格式调整, 从而实现图文信息混排, 快速生成检测报告内容, 大大缩短了报告生成时间。此外, 系统还构建了稳健的模块架构, 确保各功能模块之间协同工作, 提高了系统的稳定性和可靠性。通过实验测试, 该系统在系统响应时间、最短稳定时间指标上达到了16 s、8小时。应用该系统可有效缩短报告撰写时间、节省人力、提高劳动效率。

关键词

多光谱成像, 防伪检测, 报告自动化, Qt框架

Research on the Generation Technology of Multispectral Composite Anti-Counterfeiting Image Detection Report

Xia Zhang, Peng Cao

School of Information Engineering, Beijing Institute of Graphic Communication, Beijing

Received: Mar. 1st, 2025; accepted: Apr. 3rd, 2025; published: Apr. 18th, 2025

Abstract

Multispectral images generally refer to images whose frequency range includes multiple bands such as ultraviolet (260~400 nm), visible light (400~700 nm), and near-infrared (700~1100 nm), and they can provide rich anti-counterfeiting features. From the acquisition of multispectral images to

the automatic generation of data analysis and inspection reports, it has important application value in realizing the automation and convenience of anti-counterfeiting detection. To address this issue, this paper proposes a multispectral composite anti-counterfeiting inspection report generation system based on the Qt framework. This system obtains image information in different bands through the multispectral image acquisition module, and then realizes the dynamic insertion of content and format adjustment of Word documents based on the QAxObject interface of QT, to achieve the mixed layout of graphic and text information and quickly generate the content of the inspection report, greatly shortening the report generation time. In addition, the system also constructs a robust module architecture to ensure the collaborative work among various functional modules, improving the stability and reliability of the system. Through experimental tests, the system has achieved 16 seconds for the system response time and 8 hours for the shortest stable time index. The application of this system can effectively shorten the report writing time, save manpower, and improve labor efficiency.

Keywords

Multispectral Imaging, Anti-Counterfeiting Inspection, Report Automation, Qt Framework

Copyright © 2025 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

多光谱成像技术通过整合紫外、可见光及近红外等波段的光谱信息,能够揭示材料表面的隐蔽特征与内部结构差异,在环境遥感[1]、食品检测[2]、防伪检测[3]、农业监测[4]等领域展现出重要价值。其中,在防伪技术领域,随着商品经济的繁荣发展,防伪的重要性日益凸显。防伪技术作为保障产品真实性、维护市场秩序的关键手段,从传统的物理防伪(如激光全息防伪[5]、水印防伪等),到化学防伪(如荧光油墨防伪[6]、温变油墨防伪等),再到如今的数字防伪(如二维码防伪、RFID 防伪等[7]),一直在不断演进。

然而,现有研究多聚焦于单一应用场景,缺乏对多光谱数据融合与标准化输出的系统性探索。随着防伪材料复杂度的提升,传统人工检测方法已难以满足高效性与准确性的双重需求。统计显示,全球防伪包装市场规模预计 2026 年突破 2000 亿美元,其中多光谱技术因可识别荧光油墨、红外穿透特征等优势,在防伪技术体系中应用占比显著提升[8]。推动多光谱技术与人工智能的深度融合以应对新型伪造手段。然而,当前防伪检测系统仍存在两大瓶颈:其一,多光谱数据整合依赖人工干预,导致检测周期长且误判率高;其二,报告生成系统智能化不足,难以实现多光谱图像与结构化数据的动态嵌入。

在自动化报告生成领域,利用大语言模型实现半自动化检测报告生成,但未解决多光谱图像格式标准化问题[9];基于 LIMS 系统的检验报告生成方案,但其模块化设计缺乏多光谱数据支持[10]。此外,易语言检测报告系统虽提升了操作便捷性,却未涵盖复杂图像处理功能[11];基因检测报告技术则局限于文本数据,难以适配多模态防伪需求[12]。与此同时,多光谱目标检测算法的优化需结合深度学习与多模态融合,而现有系统在实时性与跨平台部署方面仍存在明显短板[13]。多光谱成像技术在全球冰川监测中的应用,验证了其在大范围环境监测中的有效性,但尚未与防伪检测需求深度结合[14]。

针对上述挑战,本文提出一种多光谱复合防伪图像检测报告生成系统,致力于设计并实现一种全新的多光谱复合防伪图像检测报告生成系统。旨在突破传统局限,提升检测报告生成的准确性、高效性与专业性,为现代防伪检测工作提供坚实的技术保障,满足日益增长的防伪需求,推动相关行业的健康发展。

展。后续章节将围绕技术框架、关键技术及实验结果展开论述，为防伪检测的智能化转型提供理论支撑与实践参考。

2. 系统技术框架

2.1. 开发环境与工具

开发基于 Windows 10 操作系统，采用 Qt Creator 6.4 集成开发环境与 Qt 5 框架。Qt 5 丰富的类库与功能模块为系统开发筑牢根基，保障系统跨平台性与稳定性。在文档生成环节，运用 QAxObject 组件调用 Microsoft Word API，实现 Word 文档复杂操作，包括精准创建文档、细致设置格式、高效插入表格与图像等，确保报告生成功能强大且格式规范，满足专业检测报告的严格要求。

2.2. 整体架构

系统架构如图 1 所示，采用分层架构设计，涵盖用户界面层、业务逻辑层和数据层。用户界面层基于 Qt 框架构建，利用 Qt Designer 布局，借助信号槽机制实现组件交互，为用户提供便捷直观的操作界面，集成检测参数输入、报告生成及数据预览等功能模块。业务逻辑层负责处理用户操作逻辑，协调数据层访问，涵盖接收检测参数、处理光谱图像(如缩放、校验)及连接界面输入与处理结果等核心功能。数据层负责安全存储与高效管理多光谱图像数据，确保数据可靠读写，为系统稳定运行提供数据支撑。

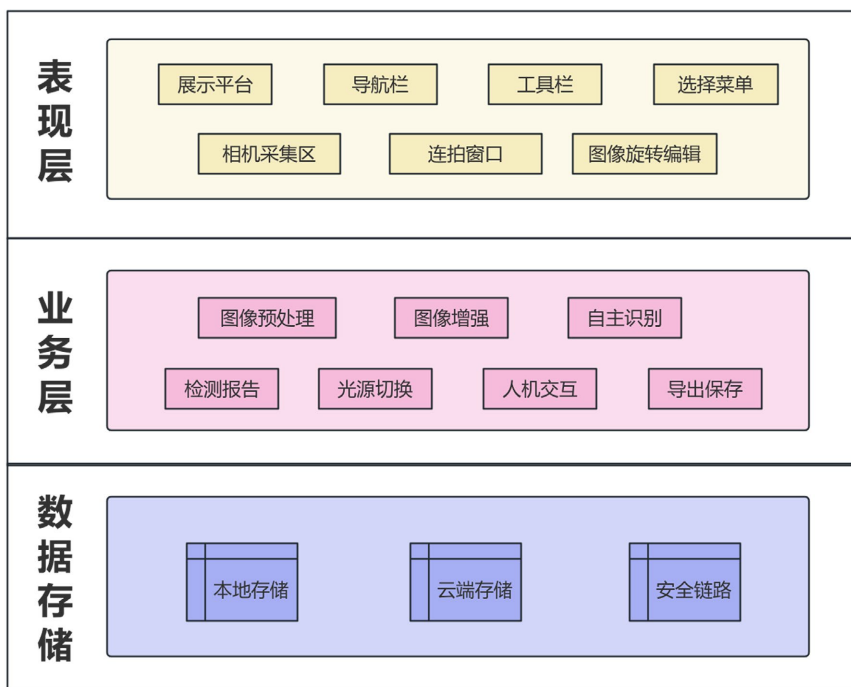


Figure 1. Overall system architecture

图 1. 系统整体架构

2.3. 系统流程图(检测报告部分)

如图 2，获取采集的图像，对图像进行识别和比对，以得到初步结果。接着，通过计算相似度，判断是否判定符合品牌公示的技术信息；若大于 80%，则判定符合，反之，则不符合。对初步结果进行进一步分析，得出最终的检测结果。获取检测报告的基本信息(如图像名称、检测日期、检测单位、检测工程

师), 并将这些信息与检测结果整合, 最终生成检测报告。

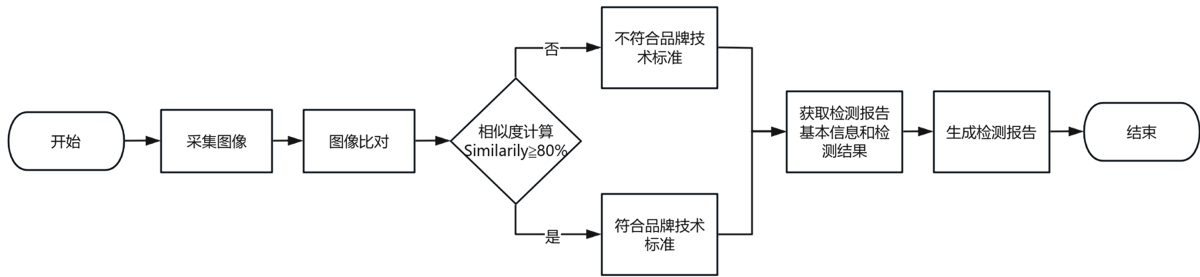


Figure 2. System flow chart

图 2. 系统流程图

3. 关键技术

本系统检测报告自动生成部分的核心技术体现为多光谱数据全流程处理能力的创新整合, 深度融合多光谱图像采集技术、图像识别比对技术、图文混排技术及智能内容生成技术, 通过标准化数据接口与动态渲染引擎的协同优化, 构建了从光谱特征提取到结构化报告输出的完整技术链条。四项关键技术模块形成有机闭环, 分别解决了报告排版效率、多波段图像同步获取、检测结论自动生成及防伪特征精准核验等核心问题, 实现了检测流程效率提升与人工干预减少的双重优化目标。

3.1. 采集图像技术

开发了多光谱图像采集模块, 能够获取目标物体在不同光谱波段下的图像数据。通过多光谱成像设备以及相关图像采集算法, 实现了对紫外光、可见光、近红外光等光谱范围内图像的采集与存储。在图像采集过程中, 可根据不同的检测需求进行相应调整。采集到图像后, 会进行一系列处理, 包括格式转换、缩放以适应界面显示需求, 还会将图像保存到本地。同时, 也会对图像进行特殊处理, 如伪彩色映射等。

3.2. 图像识别比对技术

通过使用均方误差的方式对比两张图像对应像素点的 RGB 通道差异, 计算差异的平方和并求平均值, 以此衡量图像的差异程度。设图像 I 和 J 的大小均为 $M \times N$, 对于每个像素点 (x, y) , 其 RGB 通道分别为 R、G、B, 则 MSE 的计算公式如下:

$$MSE = \frac{1}{3MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} \left[\left(I_R(x, y) - J_R(x, y) \right)^2 + \left(I_G(x, y) - J_G(x, y) \right)^2 + \left(I_B(x, y) - J_B(x, y) \right)^2 \right] \quad (1)$$

式中, $I_R(x, y)$ 、 $I_G(x, y)$ 、 $I_B(x, y)$ 分别表示图像 I 在像素点 (x, y) 处的红色、绿色、蓝色通道的值; $J_R(x, y)$ 、 $J_G(x, y)$ 、 $J_B(x, y)$ 分别表示图像 J 在像素点处的红色、绿色、蓝色通道的值。M 为图像的宽度方向像素数量, N 为图像的高度方向像素数量, 前面的系数 $\frac{1}{3MN}$ 中, 代表 RGB 三个通道, 对所有像素点三个通道的差值平方和求平均, 从而得到均方误差值。该值越小, 说明两张图像对应像素点的颜色差异越小, 即图像整体的相似度越高; 反之, 该值越大, 则说明两张图像的差异越大。

在实现过程中, 首先检查两张图像的尺寸是否相同, 若不同则改变图像大小, 使两张图像大小相同。然后遍历图像的每个像素点, 获取对应像素的 RGB 值, 计算差值的平方并累加, 最后除以像素总数与通道数的乘积得到 MSE 值。根据 MSE 值, 通过以下公式将其转换为相似度百分比:

$$S_{MSE} = \frac{100}{1 + MSE} \quad (2)$$

经过计算, 得出初始结果 S_{MSE} , 再通过信号和槽的机制将初始结果传输到 word 文档中, 对其进行分析, 最终得到检测结果(如图 3)。

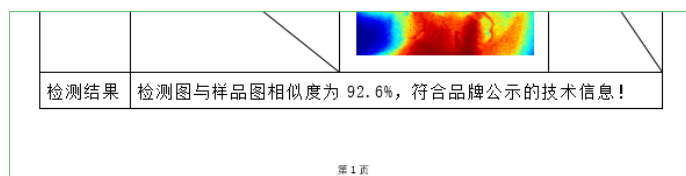


Figure 3. Test report results section
图 3. 检测报告结果部分

3.3. 图文混排技术

利用文档编辑技术, 实现多光谱图像与文本内容的精准融合。在生成检测报告时, 根据报告的逻辑结构和内容重点, 将处理后的多光谱图像(如紫外光、可见光、近红外光图像)合理地嵌入到相应位置, 确保图像与文字描述相互补充、相得益彰。通过对图像的位置、大小、环绕方式等参数进行精细调整, 使图文布局紧凑、美观, 避免出现图像与文本冲突或排版混乱的情况, 提升报告的可视化效果和信息传递效率。为了进一步优化图文混排效果, 根据图像的特征和文本的长度自动选择最合适的排版方式, 例如对于多组对比图像, 则采用并列排版的方式。同时, 在图像与文本之间建立紧密的关联链接, 方便用户快速获取所需信息, 增强报告的交互性和易用性。

3.4. 内容生成技术

基于模板驱动和数据驱动相结合的方法, 实现检测报告内容的自动化生成。首先, 运用 Qt 的动态组件(如 QGraphicsView 与 QGraphicsScene), 实现交互式的画布调整、数据输入和内容预览。使用分页式设计, 通过 QStackedWidget 组织界面逻辑, 支持用户输入检测参数输入功能(如图 4)。

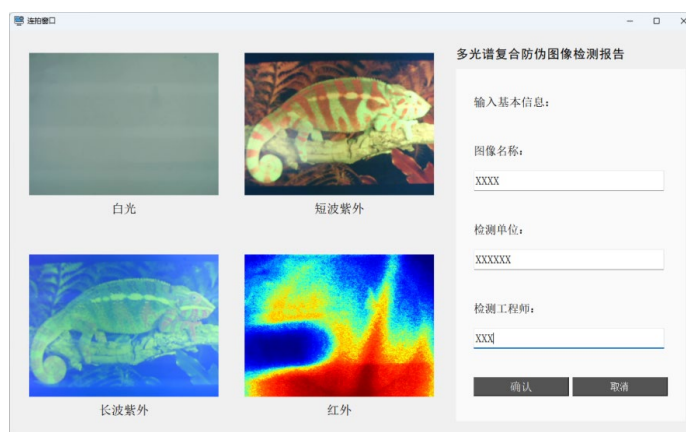


Figure 4. Multi spectral composite anti-counterfeiting image detection system (detection report module) user interface
图 4. 多光谱复合防伪图像检测系统(检测报告模块)用户界面

根据检测报告的常见结构创建模板, 模板包含固定文本和占位符。见表 1, 根据常见的结构来填充固定部分的检测报告模板, 如标题, 副标题等。

Table 1. Create a fixed template
表 1. 创建固定模板

根据常见结构创建检测报告固定模板	
1:	Function fillTemplate(template, data)
2:	for each key - value pair in data
3:	placeholder = "{" + key + "}"
4:	template = replace(template, placeholder, value)
5:	end for
6:	return template
7:	End Function

基于面向对象的设计原则，文档生成模块使用模板驱动的自动化生成方法，借助 QAxObject 接口创建 Word 文档并设置格式，如页面布局(页边距等)和字体格式(标题、正文)。见表 2，插入表格时，根据报告内容确定表格结构，填充数据并设置表格格式。

Table 2. Fill in the testing report form
表 2. 填充检测报告表格

创建表格并根据用户输入的参数和多光谱图像填充数据	
1:	Function createAndFillTable(document, data)
2:	table = document.createTable(numRows, numColumns)
3:	for each row in data
4:	for each cell in row
5:	table.setCellContent(rowIndex, cellIndex, cellValue)
6:	end for
7:	end for
8:	table.setColumnWidths(columnWidths)
9:	table.setBorderStyle(borderStyle)
10:	return table
11:	End Function

如图 5，将用户输入的参数及多光谱图像嵌入 Word 文档后，生成标准化报告。

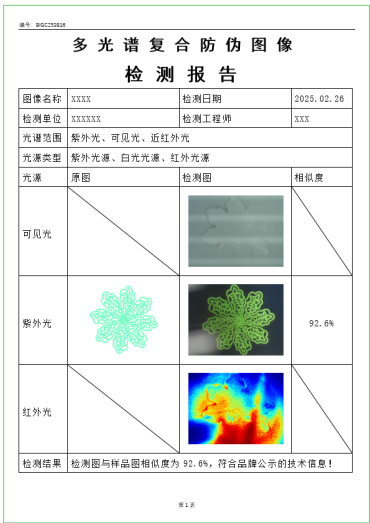


Figure 5. Test report
图 5. 检测报告

4. 实验结果

4.1. 用户评分分布与相关性分析

如图 6 分析了十名用户在使用该技术时, 技术运行时间与用户的满意度评分情况, 得分范围为 0 到 10, 按照技术的运行时间来对应用户的评分, 意在了解用户在各个运行时间上对技术的满意度, 清晰地呈现了用户评分的分布以及所对应的运行时间, 便于了解运行时间对用户满意度的影响。

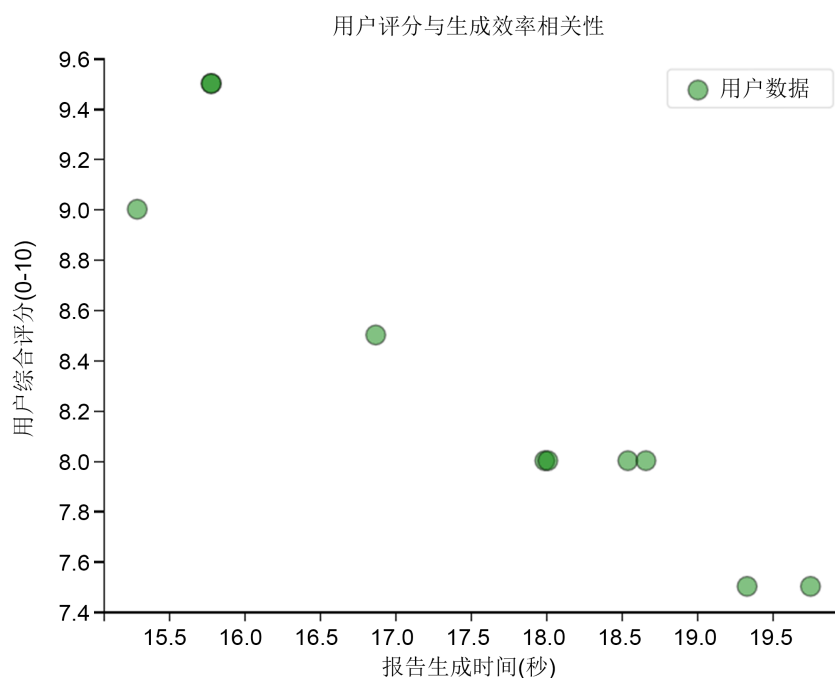


Figure 6. The correlation between user ratings and generation efficiency

图 6. 用户评分与生成效率相关性

对图 6 的初步观察显示, 用户在对于生成检测报告时间越短的情况下, 满意度越高, 当生成时间接近 20 s 时, 用户对其满意度只有 7.5, 说明用户对这个运行时间并不是特别满意, 在靠近 15 s 附近时, 可以看到评分基本在 9.0 或以上, 标记的颜色更深一点, 代表有多个用户对该运行时间的评分相同。从图中可以看到评分的趋势在随生成时长的增加逐渐下降, 表明将生成时长压缩至 15 秒内可最大化用户体验收益, 而突破 20 秒将导致用户留存风险指数级上升。

4.2. 实验结果

为了验证多光谱复合防伪图像检测报告生成技术的有效性, 在普通笔记本电脑(8GB RAM, Intel i5 处理器)测试环境下, 对系统进行全面测试。文档生成功能表现突出, 从用户确认到生成 Word 文档平均耗时接近 15 秒, 满足高效性要求。多光谱图像插入效果良好, 能自动缩放适配文档, 渲染质量高, 清晰呈现图像细节。用户反馈积极, 界面设计直观性获认可, 平均评分达 8.0, 自动化文档生成功能有效减少人工操作, 显著提高工作效率, 充分验证系统在实际应用中的可靠性与实用性, 能够有效满足多光谱图像检测报告生成需求, 为防伪检测工作提供有力技术支撑。

为了多光谱复合防伪图像检测系统(检测报告模块)的功能性和适用性, 见表 3, 本研究对文档生成效率、图像插入效果以及用户操作体验进行了全面测试, 确保系统在实际应用中的可靠性与高效性。实验

结果表明该系统能够满足多光谱图像检测报告生成的核心需求, 具备良好的性能与用户体验。

Table 3. Multi spectral composite anti-counterfeiting image detection system (detection report module) experiment and results
表 3. 多光谱复合防伪图像检测系统(检测报告模块)实验与结果

实验环境	开发平台	Windows 10 + Qt Creator 6.4
	测试设备	普通笔记本电脑(8GB RAM, Intel i5 处理器)
测试功能	文档生成	从用户确认到 Word 文档生成耗时平均 15 秒
	图像插入	支持多光谱图像(可见光、紫外光、近红外光)插入, 自动缩放适配, 渲染效果良好
用户反馈	界面设计直观, 用户评分平均为 8.0。反馈自动化文档生成功能有效减少了人工操作, 提高了报告生成效率。	

4.3. 性能测试

为了测试本系统的稳定性, 在开机后, 使用循环的方式对各功能进行测试, 连续 24 小时测试各功能, 测试结果见表 4。测试结果表明, 本系统(检测报告生成部分)具有良好稳定的性能。

Table 4. Performance test results
表 4. 性能测试结果

功能	稳定运行时长
开机	>24
切换页面	>24
输入参数	>24
生成检测报告	>24

5. 结论

多光谱复合防伪图像检测报告生成系统在技术创新与功能实现上成效显著, 通过图像采集、图像识别比对、图文混排及智能内容生成等关键技术的创新应用, 以及高效的模块协作, 有效解决传统问题, 实现自动化、标准化报告生成。实验结果有力证明系统性能可靠、用户体验佳, 在防伪检测领域极具应用价值, 为相关技术发展提供有益参考与借鉴。未来可进一步拓展功能与应用场景, 持续提升系统性能与适用性, 如探索在更多类型防伪产品检测中的应用, 以及与新兴技术融合提升检测精度与报告质量, 推动多光谱防伪检测技术不断迈向新高度。

基金项目

北京印刷学院信息与通信工程一级学科博士点培育项目(21090525004)。

参考文献

[1] Chaudhuri, D. and Samal, A. (2008) An Automatic Bridge Detection Technique for Multispectral Images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **46**, 2720-2727. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2008.923631>

[2] Su, W.H. and Sun, D.W. (2018) Multispectral Imaging for Plant Food Quality Analysis and Visualization. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, **17**, 220-239. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12317>

[3] 付祥旭. 基于多光谱图像的美元识别与鉴伪技术研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2015.

[4] 李鸿岩, 戴杰, 周洁, 等. 基于多光谱图像的小麦种子形态和成分性状的自动化检测算法开发[J]. 植物生理学报,

- 2024, 60(4): 739-752.
- [5] 马丽霞. 产品外包装隐形激光全息防伪识别方法[J]. 激光杂志, 2024, 45(7): 249-254.
 - [6] 张文博, 石建丽, 马建中, 等. 荧光碳量子点及其在防伪中的应用[J]. 材料导报, 2022, 36(7): 145-155.
 - [7] 赵剑波, 陆丹丹, 姜霞, 等. 基于二维码防伪的农产品溯源优化对策 以金华市特色农产品为例[J]. 农业工程, 2024, 14(5): 48-53.
 - [8] 中国防伪行业协会. 陈汝钧; 理论结合实践 2016 年防伪行业 “十三五”发展规划[EB/OL]. <http://www.ctaac.org.cn/article/content/view?id=1166>, 2016-09-30.
 - [9] Pu, H., Yang, X., Shi, Z., *et al.* (2024) Automated Inspection Report Generation Using Multimodal Large Language Models and Set-of-Mark Prompting. *ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, Lille, 3-5 June 2024, 1003-1009. <https://doi.org/10.22260/ISARC2024/0130>
 - [10] 葛悦凯, 郑义, 张建新. LIMS 系统检验报告自动化生成方案研究[J]. 小型内燃机与车辆技术, 2024, 53(5): 32-36, 68.
 - [11] 魏泰, 马宗文, 李琳. 基于易语言的检测报告自动生成和打印系统设计[J]. 兰州工业学院学报, 2020, 27(1): 80-84.
 - [12] 张少伟, 蒋艳凰. 基因解读系统中遗传检测报告自动生成技术[J]. 计算机应用与软件, 2021, 38(2): 37-42, 92.
 - [13] 王元喆, 梁腾飞, 曾宇乔, 等. 多光谱目标检测综述[J]. 信息与控制, 2024, 53(3): 287-301.
 - [14] Kargel, J.S., Abrams, M.J., Bishop, M.P., *et al.* (2005) Multispectral Imaging Contributions to Global Land Ice Measurements from Space. *Remote Sensing of Environment*, **99**, 187-219. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.07.004>