

电商物流中的光学与机器视觉应用逻辑、现实约束与发展路径研究

罗 芬

上海理工大学智能科技学院, 上海

收稿日期: 2026年6月4日; 录用日期: 2026年6月18日; 发布日期: 2026年7月28日

摘 要

在履约提速、订单碎片化和逆向物流常态化背景下, 电商物流对识别效率、流程稳定性和过程留痕提出了更高要求。本文通过文献梳理、案例分析和场景归纳, 对光学与机器视觉在电商物流中的应用进行了分析。研究发现, 这类技术不仅能够分担部分人工识别工作, 还能提高物流环节的可视化和可追踪水平。当前, 其已在货物识别、测量定位、动态跟踪、库存盘点、导航建图和退货筛查等方面得到应用, 但实际落地仍面临场景复杂、系统对接困难、成本回收周期较长和人机边界不清等问题。未来应坚持问题导向, 结合具体场景推进相关技术应用。

关键词

电商物流, 光学与机器视觉, 货物识别, 动态跟踪, 逆向物流

Research on the Application Logic, Practical Constraints and Development Path of Optical and Machine Vision in E-Commerce Logistics

Fen Luo

School of Artificial Intelligence Science and Technology, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: June 4, 2026; accepted: June 18, 2026; published: July 28, 2026

Abstract

Against the background of faster fulfillment, fragmented orders, and the normalization of reverse

文章引用: 罗芬. 电商物流中的光学与机器视觉应用逻辑、现实约束与发展路径研究[J]. 电子商务评论, 2026, 15(7): 921-929. DOI: 10.12677/eci.2026.157835

logistics, e-commerce logistics has placed higher demands on recognition efficiency, process stability, and traceability. This paper analyzes the application of optical and machine vision technologies in e-commerce logistics through literature review, case analysis, and scenario-based induction. The study finds that these technologies not only reduce part of the manual identification workload, but also improve the visibility and traceability of logistics processes. At present, they have been applied in cargo identification, measurement and positioning, dynamic tracking, inventory counting, navigation and mapping, and return inspection. However, their large-scale adoption still faces practical constraints, including complex operating scenarios, difficulties in system integration, long payback periods, and unclear boundaries between human and machine tasks. In the future, the application of optical and machine vision in e-commerce logistics should remain problem-oriented and be advanced step by step in line with specific business scenarios.

Keywords

E-Commerce Logistics, Optical and Machine Vision, Cargo Identification, Dynamic Tracking, Reverse Logistics

Copyright © 2026 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

近年来, 电子商务竞争的重点已由流量获取和价格竞争, 逐步转向履约效率、配送确定性与售后服务能力的综合竞争。对于平台企业而言, 物流不再只是交易完成后的后台支持, 而是直接影响用户体验、平台声誉和复购意愿的重要环节[1][2]。在“次日达”“当日达”“小时达”等承诺日益常态化的背景下, 物流系统不仅要处理更高频、更碎片化的订单, 还要在更短时间内完成识别、分拣、搬运、复核、出库与售后处理等多项任务。由此, 物流系统的核心矛盾已经由“能否运转”转向“能否实现稳定、高效且可追溯的运转”。

智慧物流研究普遍认为, 物流智能化并非单一设备自动化, 而是建立在互联、数字化、自动识别、传感网络 and 智能决策协同基础上的综合能力[1][2]。在这一过程中, 光学与机器视觉受到持续关注的原因, 不仅在于其能够完成条码读取、OCR 识别和目标检测, 更在于光源、镜头、成像距离、景深控制与算法识别能够共同决定现场信息是否可以被稳定采集并有效转化为系统可用数据[3][4]。因此, 在电商物流语境下, 光学并不是机器视觉的背景条件, 而是影响识别质量、定位精度和场景适应性的关键基础。

但电商物流并非高度标准化的工业现场。与传统制造业相比, 其作业对象更多样, 订单结构更碎片化, 包装材质和形态差异更大, 且逆向物流比重更高。对于仓内管理而言, 真正制约流程稳定运行的, 往往并非某一项单点技术缺失, 而是大量细碎但高频的问题, 如异形件识别与分流、标签褶皱与包装反光处理、人员与货物混流监控以及退货件状态筛查与初步审核等。这些问题表明, 电商物流需要的不是抽象意义上的“更先进技术”, 而是一种能够持续获取现场状态、支撑后续控制并形成流程留痕的感知能力。

现有研究虽然已经形成一定积累, 但仍存在明显分化: 一类研究集中讨论算法、模型、识别率、鲁棒性与实时性, 侧重技术性能; 另一类研究关注平台履约、流程治理、售后体验与成本控制, 侧重业务问题和组织效果。前者更容易回答“技术可以做到什么”, 后者更关心“技术究竟解决了什么问题”。基于此, 本文尝试从电商物流的业务逻辑出发, 在保留典型技术案例的基础上, 围绕“业务问题-视觉能

力-流程价值-现实约束”展开分析，重点讨论光学与机器视觉为何被需要、如何进入具体流程、能够形成何种价值，以及现实中为何常常面临落地阻力。进一步地，文章结合不同企业类型与物流环节，对相关技术的部署优先级和实施路径进行讨论，以期为电商物流中的视觉应用提供更具场景性的分析框架。

2. 文献综述

2.1. 光学与机器视觉研究的两条基本路径

关于光学与机器视觉的研究，大体可以分为两条路径：第一条路径偏向技术实现，主要关注目标检测、图像分类、动态跟踪、三维视觉、同步定位与建图以及路径规划等问题；第二条路径偏向应用与管理，主要关注智慧物流、仓储自动化、物流可视化、逆向物流和售后治理等场景中的组织与流程问题[3][5]。前者强调系统性能，后者强调技术是否进入业务流程并转化为实际价值。

仓储自动化综述指出，视觉系统在物流场景中的任务边界正由单一识别向识别、测量、定位、跟踪和控制一体化方向发展[3]。这意味着，光学与机器视觉在物流中的功能已经不再局限于“看见”，而是逐步体现为“理解”和“支撑动作”。与此同时，围绕平台履约、逆向物流和供应链数字化的研究也表明，物流问题并不只是现场识别问题，而是与库存协同、履约效率、退货治理和成本结构紧密相关。

2.2. 现有研究的主要方向

第一类是仓储货物识别与分类研究。He 等以智能物流中的仓储货物为对象，构建并优化了基于 YOLOv3 的图像识别与分类模型[6]。研究指出，多类别、多形态、多颜色货物识别仍存在速度与精度兼顾不足的问题，而改进后的模型在总体平均精度和分类准确率上均优于对比方法。这类研究直接回应了仓储系统“快速知道货物是什么、属于哪一类”的基础需求。

第二类是动态跟踪与过程监控研究。Xie 等将 YOLOv5 与 DeepSORT 结合，用于物流仓库中的人货动态跟踪，并通过多目标跟踪评价指标对系统效果进行量化评估[7]。这类研究的重要意义在于，它将视觉系统从静态识别推进到过程监控和运行状态感知层面，使其能够服务于安全管理和人货协同。

第三类是测量、定位与轻量化落地研究。工业视觉实践表明，条码读取、轮廓检测、标签核验、透明或反光包装识别等任务，不仅依赖算法，也依赖光源设计、镜头选型与成像条件优化[4]。与此同时，Pepperl + Fuchs 在物流场景中的堆垛机定位与高位仓识别案例说明，基于 Data Matrix 码的相机定位方案能够为高位仓与输送系统提供更稳定的位置反馈[8]；Vukićević 等则以印刷企业为案例[9]，采用二维码、普通网络摄像头、物联网与开源工具构建托盘管理系统，重点解决先进先出执行不到位、托盘错放、库存状态不清和查找时间过长等问题。这些研究和案例共同说明，视觉技术的落地形式并不只有高投入工业相机系统，也可以表现为“低成本摄像头 + 适度算法 + 明确流程目标”的组合。

第四类是空间感知与逆向物流研究。相关研究表明，在室内或定位信号较弱的环境中，基于视觉的同步定位与建图技术可以帮助机器人实现导航与避障[10]。在逆向物流方面，已有研究开始关注退货处理中人机协同边界、消费者退货行为以及机器学习在逆向物流中的应用[11]。这说明，光学与机器视觉的应用已由正向履约逐步延伸到空间控制和售后治理[12]。

2.3. 现有研究的不足与本文切入点

尽管上述研究为理解光学与机器视觉在物流中的作用提供了重要基础，但仍存在三个不足[3][5]。其一，不少研究强调算法和模型性能，却较少说明其对应的是电商物流中的哪类业务问题；其二，技术论文多聚焦单项任务，较少讨论视觉结果如何与仓储管理系统、分拣控制系统和异常处理流程打通；其三，

对“光学”前端条件的讨论明显不足,在复杂现场中,光源、镜头、成像距离和抗反光设计往往决定了系统能否稳定上线[3][4][8]。因此,本文的切入点不是重复描述某一类算法或某一个系统,而是从电商物流的业务逻辑出发,建立“业务问题-视觉能力-流程价值-现实约束”的分析框架,并将其进一步落实到具体场景之中。

3. 研究设计与资料来源

3.1. 研究思路与分析框架

本文采用规范性分析与案例归纳相结合的研究思路,不以算法实验或企业问卷为中心,而是从业务场景出发,构建“业务问题-视觉能力-流程价值”的三层分析框架。具体而言,业务问题层关注电商物流中最耗人、最易错、最不透明、最需要留痕的节点;视觉能力层关注识别、测量、定位、跟踪、建图与图像留痕等能力如何形成;流程价值层关注这些能力能否进一步转化为履约效率提升、异常治理。

在此基础上,第四章对每一个典型场景统一采用“业务问题-视觉能力-流程价值-现实约束”的结构展开,以使前述框架真正落到具体业务模块中。强化、成本控制改善与用户体验优化。

3.2. 资料来源与案例选择

本文资料主要来自三类来源:一是国内外关于智慧物流、仓储自动化、机器视觉与逆向物流的期刊论文和综述文献[3][5]-[7][10][11];二是围绕仓储识别、动态跟踪、托盘管理、VSLAM 导航等代表性研究的公开案例[8][9];三是企业公开发布的物流视觉应用资料,用于补充技术在真实场景中的部署逻辑[4][8]。案例选择遵循三个标准:一是场景典型性,能够对应电商物流中的关键节点;二是技术代表性,能够体现光学与机器视觉在识别、定位、跟踪或管理中的不同能力;三是业务相关性,能够说明技术如何进入流程并形成价值。

3.3. 本文的分析贡献

相较于单纯从识别率、召回率或算法性能出发的技术讨论,本文尝试在三个方面推进现有研究。第一,将光学与机器视觉由“技术性能指标”转化为“业务问题解决机制”,突出其在电商履约流程中的组织意义。第二,在同一分析框架内同时纳入正向履约与逆向物流,避免将视觉应用理解为仅服务于仓内效率的单一工具。第三,强调系统集成与分层部署逻辑,尤其关注中小企业和区域仓场景中“能用、好接、可持续”的技术选择,而非一味追求高复杂度方案。

4. 应用逻辑与典型场景分析

4.1. 货物识别与分类:解决“是什么”的基础问题

4.1.1. 业务问题

在电商物流中,货物识别与分类首先面对的是“对象多、变化快、标准不一”的基础性问题。入库、分拣和出库环节不仅需要判断货物“是什么”,还需要快速完成类别、规格和订单关系的对应。其核心指标主要表现为识别准确率、分类正确率、异常件复核率和单件处理时长。

4.1.2. 视觉能力

这一场景所需的视觉能力主要包括条码/二维码识别、OCR 文字识别、外观分类和多目标检测等。He 等基于 YOLOv3 的识别与分类模型,为这一方向提供了较有代表性的技术支撑[6]。在电商物流场景中,识别效果不仅取决于模型本身,也取决于照度均匀性、镜头畸变、景深覆盖、快门速度和成像清晰度。对于异形件、软包和反光包装,则需要通过更合适的照明方式和镜头参数来提高边界提取与文字读取能

力[3][4]。

4.1.3. 流程价值

货物识别与分类的流程价值主要体现在减少人工初筛和重复核验，提高分拣节拍稳定性，并为后续库存更新、异常件拦截和责任追溯提供一致的数据入口。其意义不只是替代人工判断，而是把识别结果转化为后续流程的标准化起点。

4.1.4. 现实约束

该场景的主要挑战在于包装高度非标准化。面单污损、塑封反光、标签歪斜和多件重叠，都会显著降低识别效果。尤其在输送速度较快的情况下，运动模糊和局部遮挡会进一步放大误识别问题。

4.2. 测量、定位与分拣：解决“在哪里”和“如何处理”的问题

4.2.1. 业务问题

进入自动分拣和设备协同环节后，仓库管理的关键问题不再只是识别对象，而是判断对象“在哪里、以什么姿态存在、能否被稳定抓取或分流”。其核心指标主要包括定位精度、尺寸测量误差、分拣成功率和设备对位成功率。

4.2.2. 视觉能力

这一场景需要视觉系统具备尺寸测量、空间定位、姿态识别和设备反馈能力。Pepperl+Fuchs 关于高位仓堆垛机定位的案例表明[8]，基于 Data Matrix 码的相机定位方案能够为高位仓与输送系统提供较稳定的位置反馈。这说明，定位效果不仅依赖算法，也与码面质量、安装距离、镜头焦距、照明条件和设备接口密切相关。

4.2.3. 流程价值

测量、定位与分拣能力的价值在于把视觉结果进一步转化为设备可执行的控制依据。只有定位和测量足够稳定，自动分拣、机械抓取和堆垛搬运才可能真正减少人工干预。对大型分拣中心而言，这直接关系到设备节拍和堵线风险；对自动化仓而言，则关系到设备利用率和故障恢复效率。

4.2.4. 现实约束

这一场景最突出的挑战是场景波动对设备精度的放大效应。静态测试中能够工作的定位方案，进入高速输送、遮挡频发和包装混流的真实环境后，往往会出现误差累积和抓取失败率上升的问题。

4.3. 动态跟踪与异常监控：解决“过程是否失控”的问题

4.3.1. 业务问题

在真实仓储环境中，影响效率和安全的往往不是单次识别错误，而是作业过程中出现的拥堵、停滞、误入、异常停留和人员设备混行风险。其核心指标包括异常识别率、预警时滞、误报警率和安全事件响应速度。

4.3.2. 视觉能力

这一场景需要视觉系统具备多目标检测、连续跟踪、轨迹分析和异常状态识别能力。Xie 等提出的 YOLOv5 与 DeepSORT 结合方案，为物流仓库中的人货动态跟踪提供了较成熟的研究路径[7]。在现场部署中，视频帧率、快门控制、覆盖角度和遮挡恢复能力与算法同样重要。

4.3.3. 流程价值

动态跟踪的流程价值主要体现在过程管理和安全管理两方面。前者通过识别拥堵、停滞和路径异常，

帮助管理者更快定位瓶颈；后者则通过持续监控人、车、货和设备空间关系，为风险预警提供依据。

4.3.4. 现实约束

这一场景的挑战集中在误报警和遮挡问题上。只要仓内流动性较强，局部遮挡、光照突变和人员聚集就会增加轨迹断裂与误识别概率。一旦误报警过多，系统在现场的可信度就会迅速下降。

4.4. 库存盘点与托盘管理：将感知能力转化为管理能力

4.4.1. 业务问题

对许多区域仓和中小企业而言，库存管理中的核心问题并不复杂，但高度耗人，例如先进先出执行不到位、托盘错放、库存状态不清和查找时间过长等。对应指标主要包括盘点准确率、库存一致率、错位率和查找耗时。

4.4.2. 视觉能力

这一场景并不一定需要复杂的高端方案，更常见的是二维码识别、固定点位拍摄、货位状态识别和托盘流转记录等能力组合。Vukićević等以真实工业案例表明[9]，二维码、普通网络摄像头和物联网的组合也能够形成现实价值。这说明，该场景的关键不在于算法复杂度，而在于点位部署是否合理、识别规则是否稳定以及结果能否回写系统。

4.4.3. 流程价值

库存盘点与托盘管理的流程价值主要表现为减少人工巡查和重复清点，提高库存透明度和货位纪律性。对中小企业而言，这类场景更容易率先形成可见回报。

4.4.4. 现实约束

这类场景的主要约束并不在技术本身，而在基础管理。若企业本身货位编码混乱、托盘规则不清、信息回写不及时，那么即使视觉系统能够采集到数据，也难以形成高质量管理结果。

4.5. 导航、建图与路径规划：空间感知能力的进一步延伸

4.5.1. 业务问题

随着 AMR、AGV 和仓内移动机器人使用增加，电商物流开始面临“设备能否理解空间、能否在动态环境中稳定运行”的问题。该场景的核心指标主要包括定位精度、路径规划效率、任务完成率和人工接管频率。

4.5.2. 视觉能力

这一场景需要视觉系统具备环境建模、路径感知、障碍识别和动态更新能力。VSLAM 相关研究表明，视觉系统可以通过三维场景重建、点云处理和路径算法实现自主定位与导航[10]。与静态识别不同，这一场景更依赖连续成像质量和空间信息一致性。

4.5.3. 流程价值

导航建图的价值在于提高仓内自主设备的可运行性和布局柔性，使自动化不再完全依赖固定轨迹和静态路径。对仓库管理而言，这意味着设备利用率提高、人工接管减少以及路径优化空间增加。

4.5.4. 现实约束

导航建图的主要挑战在于动态遮挡、定位漂移和复杂环境下的实时稳定性。尤其在人员、设备和货物频繁交互的仓内环境中，仅依赖单一视觉方案往往难以长期保持稳定。

4.6. 逆向物流与售后治理：视觉应用边界的扩展

4.6.1. 业务问题

在退货常态化背景下，逆向物流中的核心问题不只是能否收回商品，而是能否快速分级、是否有证据留痕、如何降低争议成本[13]。其核心指标主要包括初筛准确率、复检比例、退货处理时长和售后争议率[11][14]。

4.6.2. 视觉能力

这一场景更需要外观筛查、状态判别、损伤识别和图像留痕能力。现有研究表明，退货处理中机器学习与规则系统的结合，已开始用于前端识别和分级支持[11]。视觉系统并不一定直接给出最终责任判断，但能够完成损伤初筛、包装状态记录和异常件分流。

4.6.3. 流程价值

逆向物流视觉应用的价值主要在于把原本高度依赖人工经验的前端审核，转化为更有依据、更易追溯的标准化作业。它不仅能够提高处理效率，也能够为争议处理提供更明确的图像证据。

4.6.4. 现实约束

这一场景的主要挑战在于责任判定本身具有较强情境性。视觉系统可以帮助形成前端证据，但短期内并不能替代人工完成争议解释、用户沟通和最终责任裁量。

4.7. 光学组件选择与优化：视觉系统稳定运行的前提

4.7.1. 业务问题

在电商物流复杂场景中，许多视觉问题并不是算法训练不足，而是前端成像条件先天不稳定。条码反光、面单褶皱、塑封高亮、透明包装轮廓不清和高速输送导致的运动模糊，本质上都与光源设计、镜头参数、成像距离和景深控制密切相关。

4.7.2. 视觉能力

在光源选择上，条码、文字和规则标记识别通常更依赖照度均匀、方向性可控的条形光或面光源；对反光包装，则需要引入偏振方案或低角度照明以抑制镜面反射。在镜头选择上，应根据工作距离、视场大小和目标精度匹配焦距与分辨率，而不是简单追求高像素。对于高度变化较大的包裹场景，还需要兼顾景深覆盖范围与快门速度[3][4][8]。

4.7.3. 流程价值

单独讨论光学组件的意义，在于它能够解释为什么同一算法在不同现场表现差异很大。稳定的前端成像系统可以降低图像噪声和样本波动，使后续模型面对的输入更加一致，从而减少误识别和重复调参。

4.7.4. 现实约束

光学优化的难点在于，它常常被企业误认为只是设备细节，而不是系统能力的一部分。结果是，项目部署中往往重算法、轻成像，系统上线后不得不依靠频繁调试和人工补救来维持效果。

5. 分类型企业与分环节场景的部署策略

5.1. 平台型巨头：优先推进全链路协同

对于平台型巨头而言，视觉技术部署的重点不应停留在单点识别，而应围绕分拣中心、中心仓、前置仓和退货处理中心建立统一的数据闭环。其优先级应依次放在：第一，分拣中心中的识别、定位与异

常监控；第二，自动化仓中的设备视觉对位与导航协同；第三，退货处理中心中的图像留痕与前端筛查。原因在于，这类企业具备较强的系统集成能力，最适合将视觉结果与 WMS、WCS、OMS 和售后治理系统联动起来[12] [13]。

5.2. 第三方物流服务商：优先形成可复制的标准能力包

第三方物流服务商面对的核心问题是客户多元、场景差异大，因此不宜一开始就追求高度定制化，而应优先部署最具通用性的视觉模块。具体而言，可优先从货物识别、条码/OCR、动态监控和高频异常预警入手，在分拣中心和中转场建立标准化视觉能力包[1] [2] [7]。

5.3. 品牌自有仓库：围绕 SKU 与退货结构做针对性部署

品牌自有仓库的优势在于品类更集中、包装标准相对稳定，因此更适合围绕自身商品特征部署定制化视觉系统。若品牌 SKU 结构规整，可优先发展货物识别、尺寸测量和分拣对位；若退货率较高，则应优先加强逆向物流中的外观筛查和图像留痕[11] [13] [14]。

5.4. 中小企业：优先轻量部署，不宜过早追求全自动化

对中小企业而言，最重要的不是系统先进性，而是投入回报的确定性。建议优先从库存盘点、托盘管理、条码识别和固定点位监控等轻量化场景切入。这类场景所需光学与算法方案相对简单，部署成本更低，也更容易形成直接可见的改善效果[9]。

5.5. 分拣中心、前置仓与退货处理中心的差异化优先级

分拣中心的部署重点应放在“识别 + 定位 + 动态预警”三类能力上，因为其核心问题是吞吐稳定性和异常控制[7] [8]。前置仓则更适合优先强化库存可视化、货位识别和快速复核，因为其管理重点是周转速度和库存准确性[12]。退货处理中心应把图像留痕、损伤初筛和辅助审核作为第一阶段重点，因为其本质目标不是追求设备节拍，而是降低争议成本、提升治理效率[11] [13] [14]。

6. 结论

本文围绕电商物流中的光学与机器视觉应用逻辑、现实约束与发展路径展开分析。研究表明，电商物流之所以需要光学与机器视觉，并不只是因为相关技术在识别率和自动化程度方面具有优势，更因为现代电商物流已经进入一个高度依赖持续感知和过程透明化的阶段。面对高频订单、复杂包装、动态作业和逆向物流并存的现实环境，传统依赖人工识别与经验判断的方式已难以稳定支撑系统运行。

本文进一步指出，光学与机器视觉在电商物流中的作用，正在由单一识别工具逐步转向更具系统性的感知基础设施。无论是货物识别、测量定位、动态监控，还是库存管理、导航建图与退货筛查，其核心价值都不只体现在替代部分人工操作，更体现在提升流程可视化、可追踪性和协同效率。

同时也应看到，光学与机器视觉的规模化落地仍受复杂场景适配、系统协同、投入回报周期和人机边界等因素制约。尤其在电商物流场景中，视觉系统能否稳定运行，不仅取决于算法性能，也取决于光源、镜头、成像距离和现场部署条件[3] [4] [8]。基于此，本文认为，相关技术应用应坚持问题导向和场景优先原则，从具体业务痛点出发推进分层部署。对于企业而言，真正值得优先回答的问题，不是是否采用更先进的视觉模型，而是哪些环节最耗人、最易错、最不透明、最需要被记录和优化。只有在这一前提下，光学与机器视觉才能由局部试点进一步转化为稳定的流程价值。

参考文献

- [1] Kalkha, H., Khiat, A., Bahnasse, A. and Ouajji, H. (2023) The Rising Trends of Smart E-Commerce Logistics. *IEEE*

- Access*, **11**, 33839-33857. <https://doi.org/10.1109/access.2023.3252566>
- [2] Woschank, M., Rauch, E. and Zsifkovits, H. (2020) A Review of Further Directions for Artificial Intelligence, Machine Learning, and Deep Learning in Smart Logistics. *Sustainability*, **12**, Article 3760. <https://doi.org/10.3390/su12093760>
 - [3] Tadjine, C., Ouafi, A., Benlamoudi, A. and Taleb-Ahmed, A. (2025) Computer Vision in Warehouse Management Automation: A Survey on Implemented Methods with Prototyping Hardware. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, **160**, Article 111886. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2025.111886>
 - [4] <https://www.pepperl-fuchs.com/en/landingpage/industrial-sensors/industrial-vision-gp29662>
 - [5] Charan, A., Chowdary, C.K. and Komal, P. (2022) The Future of Machine Vision in Industries—A Systematic Review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **1224**, Article 012027. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1224/1/012027>
 - [6] He, S., Wang, Y. and Liu, H. (2022) Image Information Recognition and Classification of Warehoused Goods in Intelligent Logistics Based on Machine Vision Technology. *Traitement du Signal*, **39**, 1275-1282. <https://doi.org/10.18280/ts.390420>
 - [7] Xie, T. and Yao, X. (2023) Smart Logistics Warehouse Moving-Object Tracking Based on YOLOv5 and DeepSORT. *Applied Sciences*, **13**, Article 9895. <https://doi.org/10.3390/app13179895>
 - [8] PEPPERL+FUCHS (2026) Reliable Positioning of Stacker Cranes in High-Bay Warehouses with the PXV. <https://www.pepperl-fuchs.com/zh-tw/industries-and-trends/applications/reliable-positioning-of-stacker-cranes-in-high-bay-warehouses-with-the-pxv-ga3162>
 - [9] Vukicevic, A., Mladineo, M., Banduka, N. and Macuzic, I. (2021) A Smart Warehouse 4.0 Approach for the Pallet Management Using Machine Vision and Internet of Things (IoT): A Real Industrial Case Study. *Advances in Production Engineering & Management*, **16**, 297-306. <https://doi.org/10.14743/apem2021.3.401>
 - [10] Xiong, L., Liao, G. and Xiong, S. (2020) Visual Module Based on VSLAM. *Journal of Physics: Conference Series*, **1629**, Article 012006. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1629/1/012006>
 - [11] Silva, A.F.S., Moris, V.A.S., Silva, J.E.A.R., Voltarelli, M.A. and Sigahi, T.F.A.C. (2025) Machine Learning in Reverse Logistics: A Systematic Literature Review. *Algorithms*, **18**, Article 650. <https://doi.org/10.3390/a18100650>
 - [12] 文悦, 王勇. 电商平台物流策略与零售商需求预测信息共享策略的博弈分析[J]. 系统工程理论与实践, 2023, 43(1): 151-168.
 - [13] 占济舟, 晋雅琪. 考虑退货运费险的竞争型电商平台定价策略研究[J]. 中国管理科学, 2024, 32(5): 325-334.
 - [14] 谢瑞真, 张尧. 全渠道零售下考虑退货的库存决策[J]. 中国管理科学, 2023, 31(12): 128-137.