

深度学习为纸杯制造行业带来的经济效益

戴道金 戴宏安

浙江新德宝机械有限公司, 中国·浙江 温州 325400

【摘要】伴随着国内外市场对纸杯需求的增加,产品制造过程中缺陷检测成为关乎经济效益和顾客安全的重要方面。本文研究了深度学习技术应用于纸杯缺陷检测方面的经济效益。深度学习技术有着精度高、泛化能力强、效率高等特点,是进行纸杯缺陷检测的有效的手段。采用基于卷积神经网络(CNN)的方法来进行纸杯缺陷检测,可以自动学习污渍、污点等一系列缺陷。文章阐述了深度学习检测系统总成本相比传统检测方法具有很大的经济优势。

【关键词】纸杯缺陷检测;深度学习;经济效益

引言:

近年来,全球纸杯市场呈现爆发式增长态势,数据显示,其年消费量从2018年的2500亿只激增至2024年的5000亿只,六年内实现翻倍式扩张。这一增长态势在食品饮料行业供应链中催生极具活力的经济生态——作为最主要的一次性包装耗材,纸杯不仅支撑着星巴克、瑞幸等咖啡连锁品牌的日均千万级杯量需求,更成为蜜雪冰城、喜茶等新茶饮品牌标准化运营的核心载体。据行业报告显示,2024年全球纸杯产业集群年产值已突破120亿美元,其中仅中国市场的规模就占比超40%,形成了从原木浆采购、纸杯成型设备制造到终端品牌定制的完整产业链。这种快速增长的市场需求潜藏着巨大的经济效益潜力,也对企业的生产效率与成本控制提出更高要求。

1 纸杯缺陷的潜在危害

1.1 对人的健康危害

纸杯是接触人体的食品包装用品,纸杯的缺陷直接关系到消费者的健康。纸杯开裂、穿孔等结构缺陷,导致装入热饮时会发生漏水情况,滚烫的水溅出来还会造成人体皮肤烫伤。特别是对于儿童、老人这些皮肤较为娇嫩的人群而言,危险系数更高。不平滑或者毛刺较多的杯口在使用的时候会割伤唇部和口腔黏膜,造成口腔黏膜屏障的破坏,容易滋生细菌从而导致口腔溃疡、口腔黏膜炎等病症。密封性差的纸杯会造成粉尘、异物落入饮品,引起微生物污染,消费者喝下去会导致腹痛、急性肠胃炎等食源性疾病,影响消费者的身体健康。

1.2 对环境的危害

缺陷的纸杯不能正常使用,从而被丢弃,导致固体废

物量大幅度上升。由于纸杯一般由纸浆和防水涂料组成,自然条件下很难将其迅速分解,若对其进行填埋,需要占用较多的土地面积,并且分解的过程中会产生多种有害物质的渗滤液,会造成土壤及地下水的污染;若对其进行焚烧,涂料在燃烧的时候会产生如二噁英的有害气体,会进一步造成大气污染。同时,大量残次纸杯垃圾进入自然界中,还会导致城市景观受到影响,自然景观遭到破坏,影响生态系统的稳定平衡。

1.3 资源的危害

纸杯产品的生产需要大量的木材资源、水资源、能源等自然资源。木材被砍伐成浆,再到后面的成型、印刷、加工,每一个环节都会消耗资源。而有缺陷纸杯的出现意味着之前已经消耗掉的资源没有转换成有效的产品,导致树木资源、水资源、能源都被浪费。并且,有缺陷的纸杯很难再进行二次利用,不能被纳入资源循环中,这也造成了资源的损耗。在全球资源紧缺的大环境下,因产品不合格造成资源浪费,不仅给企业生产带来损失,也给资源的合理利用和社会经济的绿色生态发展带来障碍。

2 纸杯检测现状与存在经济问题分析

2.1 传统人工检测

在传统人工检测方法中,经济成本问题体现在两方面。首先,人力成本高。随着国际劳动力市场的工资水平持续提高,企业聘请检测员工需要付出基本工资、社会保险和培训费等一系列成本。以纸杯生产企业为例,一个每日产量在50万只纸杯的生产线如果使用人工检测的方式,至少需要8-10个专门负责检测的工作人员,每月光人力成本就要5-8万元。而且企业还需要定时举办培训班来提升检测员

工的技术能力，这些都会导致成本的提升。其次，生产效率损失大，人工检测速度远远赶不上机器高速生产线。人工检测员平均一秒钟最多只能检测到0.33-0.5个纸杯，而生产线一秒钟的生产速度在3-5个，二者之间的巨大落差会导致大量的产品无法被及时检测，造成生产过程的严重滞后，产生的订单延迟、赔偿款等问题造成的间接损失更是不可预估。并且，人工检测会受到员工体力、情绪的影响，漏检率高达8%-15%，错检率也达到了5%-10%，企业需要投入更多资金用于再检测或召回产品，从而增加了企业的经济负担。

2.2 传统视觉检测

传统深度学习检测虽然检测速度以及准确率都得到大幅提高，但其高系统建设成本以及维护成本是制约其广泛使用的重要原因^[1]。在建设成本方面，传统的深度学习检测系统采用精密的光学成像仪器、复杂的机械传输装置、高性能电子控制器等硬件设备，还需要配备专门的图像处理软件、算法等。以一个简单的工业产品视觉检测系统为例，单购买硬件设备成本就达20-50万元，再加上软件许可费用等其他费用，系统建设总成本达到80万元甚至更多。在维护成本方面，光学镜头需要定时清理和校正，电子器件也会出现老化折损，软件算法也需要针对生产工艺进行不断改进优化，一年下来的维护费用达到系统成本的15%-20%。这对于中小企业来说，过高的初始投入和后续维护成本远超企业可承担范围，很多企业在更新设备和技术时面临着进退两难的境地，严重制约先进技术的大规模推广使用。

3 深度学习方法对纸杯缺陷检测

3.1 技术原理

深度学习通过构建多层神经网络如卷积神经网络（CNN），能够从大规模纸杯图像数据集当中自主学习并提取出纸杯的缺陷特征^[2]。把纸杯图像放入模型，数据依次通过卷积层，使用卷积核提取图像的基本特征，如边缘、纹理等；然后是池化层对数据降维，减小计算复杂度并保留核心信息；再经过多层卷积与池化的层层抽象之后来到全连接层；最后对卷积过程中所提取到的特征向量加以整合，并对纸杯是否存在瑕疵及瑕疵类别进行判断。不需要人工制定特征提取的规则，网络会根据数据自动学习出最佳的特征表达方式。

3.2 优势体现

深度学习应用于纸杯缺陷检测有明显优点。第一，检测准确率高，可以发现人眼很难观察到的一些细微缺陷，如细微裂纹、极其细微的小孔，以及杯口不平整的一些微小缺陷；第二，具有很好的泛化能力，通过海量不同生产批次、不同生产条件下纸杯的图像数据进行训练，深度学习可以适应各种生产条件，避免因环境变化和生产工艺差异带来的检测误差；第三，检测速度快，基于GPU等硬件支持可以实现对纸杯图像的实时处理，满足高速产线实时检测的需求，相比于人工目检，速度提升几十到上百倍^[3]。

3.3 应用流程

实际应用中，首先需要采集大量纸杯图片数据，包括合格纸杯以及具有多种类型缺陷的（如裂痕、孔洞、杯口歪斜、印刷不良等）纸杯图片，并进行标注，组成数据集；其次将数据集划分为训练集、验证集、测试集三部分，用训练集对深度学习模型进行训练，利用反向传播方法反复修改网络权重，改善模型性能；待训练结束后用验证集进行评估并微调模型；最后通过测试集考察模型的推广能力以及检测表现。当模型表现满足要求之后，就将其应用到生产线当中，实时在线检测纸杯，当检测到残次品时，系统可以即时发出报警或控制机器将其剔除。

4 深度学习方法的经济效益

4.1 成本的经济效益

深度学习成本的主要支出在服务器和开发运维团队上，购买专用GPU服务器的费用为3万至10万元。深度学习框架大多是开源的，但针对纸杯缺陷检测开发的个性化算法可能会选择外包或雇佣专门开发人员，开发成本为15万乃至20万元。深度学习检测纸杯缺陷的成本约为25万元，相较于传统检测方式的人工成本和传统视觉方式的成本投入要少很多。某纸杯生产企业的检测价格如表1所示。

表1 项目成本统计表

名称	数量	型号	价格
工控机	1台	研捷EB0X-2702H	1950元
工业相机	1个	大恒ME2C-137-90GM	998元
镜头	1个	大恒HN-0628C-6MP	369元

相机电源线	1条	西斯HRS6F0-3M-DC2.1	56元
相机网线	1条	西斯CCRJ45-3M	28元
环形无影光源	1个	西斯XS-HRS90-W	72元
DC数字光源控制器	1个	西斯XS-MDPS2496B-4TDP	58元
显示器	1台	智显达GC1416-C-2556	490元
GPU服务器	1台	华为 Taishan 2280	33000-85000元
开发算法团队	1	无	150000-200000元
总计			187021-289021元

4.2 竞争的经济效益

面对纸杯生产行业中激烈的企业竞争环境，深度学习检验算法以优异的图像处理和特征识别能力，精准地抓住裂缝、洞孔、杯口不平整等微小瑕疵，以高于常规检验方法成百上千倍的准确性从生产之初保证纸杯产品的质量。高标准的产品输出为消费者提供了良好的消费体验，使正面的舆论在市场中得以正向累积，有效强化企业品牌商誉，树立值得消费者信赖的良好品牌形象。而在市场的开拓上，高标准的产品为企业提供了极强的市场竞争力，吸引经销商以及餐饮等相关企业主动合作。对于经销商来说，产品高品质可以为其省去售后纠纷的麻烦，提升自身在市场上的口碑以及盈利水平；对于下游企业来说，使用高品质的纸杯能够增强品牌好感。由此，企业的合作企业日益增多，企业的市场份额逐渐提升。而市场份额的增加和良好品牌形象的确立，为企业带来了可观的经济效益。企业凭借自身品牌商誉提升售价，扩大销售规模，并利用规模优势摊薄生产成本，企业的利润由此得以飞速增长。企业在取得经济效益后，投入资金于技术革新、生产设备改善以及人才培养，进而持续提升深度学习检验算法，形成“技术改善—质量提升—口碑建立—市场拓展—效益增长—技术革新”的良性循环，为企业在市场上的可持续发展提供保障。

4.3 应用范围广的经济效益

深度学习纸杯检测系统基于卷积神经网络（CNN）

、Transformer 等前沿算法，对纸杯成型过程中的边缘轮廓、结构纹理等特征进行深度学习检测，形成了高准确率的缺陷识别模型。深度学习纸杯检测系统具备极高的算法泛化能力和模型迁移能力，其在纸杯检测应用场景下积累的检测技术和数据，可通过参数调优、特征迁移等方式快速迁移到纸碗、餐盒等包装容器检测的质检需求中。例如，通过增加少量纸碗、餐盒缺陷样本数据的重新标记，基于预训练好的纸杯检测模型进行迁移学习，就可以在较短的时间内构建检测模型，对比全新开发检测系统，可以节约研发周期60%以上。这种跨场景的应用，可以为企业带来极大的经济收益。从成本的角度出发，企业不再需要为不同的包装产品采购检测设备、开发不同产品的检测算法，实现了检测硬件设备、软件系统以及技术人员的复用，节省了研发以及维护运营的成本。从市场扩展的角度看，系统的可通用性使得企业可以满足客户对纸杯、纸碗、餐盒等不同包装产品的统一质检要求，提高客户粘性以及客户服务能力，从而开拓更大规模的市场，承接更多订单，创造更多收入。

总结：

深度学习技术的应用为纸杯制造业提供了高效且节约成本的方案，在节约成本、提升市场竞争力和拓展应用场景等多个方面创造巨大经济效益，促进纸杯制造业的技术革新和长远发展。

参考文献：

- [1] 吴宇帆. 基于深度学习的带钢表面缺陷检测系统研究[D]. 江苏科技大学, 2024. DOI: 10.27171/d.cnki.ghd-cc.2024.001298.
- [2] 凌嘉壕. 基于多智能体深度强化学习的大规模出租车车队管理优化研究[D]. 华东交通大学, 2024. DOI: 10.27147/d.cnki.ghdju.2024.000248.
- [3] 李昂, 刘竹丽, 宋伟, 等. 改进RT-DETR的液晶面板喷墨打印表面缺陷检测[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2024, 38(11): 147-154.

作者简介：

戴道金(1973.04-), 汉族, 籍贯: 温州, 学历: 专科, 职务: 董事长, 职称: 高级工程师, 主要研究方向: 机械电子工程。