

# 基于光度立体视觉的一体化智能读码器

王勇

(成都微光集电科技有限公司, 四川 610041)

**摘要:** 开发一款基于光度立体视觉和深度学习的智能读码器, 立足于光机电和人工智能算法一体化应用解决方案, 有光度立体视觉技术、高分辨率高速视觉采集和处理系统、人工智能处理器模块和人工智能算法等技术。智能读码器可应用于半导体加工过程中的晶圆ID识别, 通过其极高的可靠性自动识别晶圆, 最大限度降低了半导体加工工序中人工干预的需求并避免工序停机, 从而提升工厂产能。

**关键词:** 智能读码器, 光度立体视觉, 深度学习, 晶圆ID识别。

中图分类号: TP391.41 文章编号: 1674-2583(2020)10-0192-03

DOI: 10.19339/j.issn.1674-2583.2020.10.092

中文引用格式: 王勇. 基于光度立体视觉的一体化智能读码器[J]. 集成电路应用, 2020, 37(10): 192-194.

## Integrated Intelligent Code Reader Based on Photometric Stereo Vision

WANG Yong

(Chengdu Image Design Technology Co., Ltd, Sichuan 610041, China.)

**Abstract** — This paper develops an intelligent code reader based on photometric stereo vision and deep learning, based on the integrated application solution of opto-mechanical and artificial intelligence algorithms, mainly including photometric stereo vision technology, high-resolution high-speed visual acquisition and processing system, Technologies such as artificial intelligence processor modules and artificial intelligence algorithms. Intelligent code reader can be used for wafer ID identification during semiconductor processing. It can automatically identify wafers through its extremely high reliability, minimizing the need for manual intervention in semiconductor processing and avoiding process downtime, thereby improving the factory Capacity.

**Index Terms** — smart code reader, photometric stereo vision, deep learning, wafer ID recognition.

### 0 引言

一维码、二维码和字符码是按照一定的编码规则排列, 以表达一组信息的图形标识符, 主要用于产品的追踪追溯、生产控制、自动识别, 与目前新兴的RFID技术一起构成“物联网”的硬件系统。条码/字符信息的读取主要通过识读设备中的光学系统对条码进行扫描, 再通过译码软件将图形标识信息翻译成相应的数据, 从而实现对条码所包含信息的读取。

由于条码/字符识别技术涉及光学技术、芯片技术、软件开发、通信技术、工业视觉等多个技术领域的交叉, 具有较高的技术门槛, 目前核心技术被国外几大巨头公司所掌握, 如康耐视、基恩士等, 尤其是面向工业领域的高端应用, 具有智能识别能力的读码设备与国外企业具有较大的差距, 已经成为该领域的卡脖子技术之一。

开发智能读码器不但能够大幅提升国产读码设备的技术水平, 与国际巨头公司竞争巨大的市场份额, 而且可以进一步实现生产线智能化升级改造的国产化进程, 打破国际技术壁垒, 加速完成中国制造的目标。

本文开发面向工业领域的智能读码器, 集成了光度立体视觉模块、高分辨率高速视觉采集和处理系统、人工智能处理器模块和人工智能算法等技术, 为市场应用提供一款基于光度立体视觉的人工智能读码器, 具备高度集成化、小型化、智能化、国产化等特性。

### 1 光度立体视觉技术研究

光度立体视觉利用不同光照条件下从同一方向拍摄的多幅图像求解物体的表面方向<sup>[1]</sup>。在全局坐标系中物体表面可通过函数 $Z=f(x, y)$ 表示, 描述物体表面距离透镜平面的距离随坐标变化。其表面法向量表示为式(1)。

$$N=(p, q, -1), p=\partial z/\partial x, q=\partial z/\partial y \quad (1)$$

假设光源方向为 $(p_s, q_s)$ , 场景辐射度 $R$ 、表面法向量和光源入射方向之间的关系可以表示为 $R=G(p, q, p_s, q_s, c)$ , 其中 $c$ 为光源辐照度常数, 在遵从朗伯反射定律的前提下, 考虑出射角度影响, 在正交投影下可以简化物体表面反射模型, 其中 $\rho$ 是仅与物体材料有关的反射系数如式(2)。

$$R(p(x, y), q(x, y)) = E_0 \rho(x, y) \frac{1+p_x p(x, y)+q_x q(x, y)}{\sqrt{1+p_x^2+q_x^2}} \quad (2)$$

**基金项目:** 四川省省级工业发展资金项目。

**作者简介:** 王勇, 成都微光集电科技有限公司, 研究方向: 集成电路设计, 数字图像处理。

收稿日期: 2020-07-30, 修回日期: 2020-09-07。

在保持相机和物体位置不变的前提下,获取不同光照和视角条件下的4幅图像(图1),光源分别为 $n_i=[n_{i1}, n_{i2}, n_{i3}, n_{i4}]$ ,  $n_{ij}$ 为光源与坐标轴角度参数,  $N=[n_1, n_2, n_3]$ 构成 $3 \times 3$ 的矩阵,图像中同一点的灰度组成向量为 $I=[I_1, I_2, I_3]$ ,可通过式(3)计算得出该点归一化表面法向量 $M=[m_1, m_2, m_3]$ 。

$$M=(N^{-1} \times I)/\alpha, \quad \alpha \text{ 为该点的反射率} \quad (3)$$

若物体表面满足下式条件,则可在计算得出表面法向量后通过简单的表面积分方法得到两点间高度差为式(4)。

$$\begin{aligned} \partial p / \partial y &= (\partial^2 z) / (\partial x \partial y) = (\partial^2 z) / (\partial y \partial x) \\ &= \partial q / \partial x \end{aligned} \quad (4)$$

但此种方法受不同路径的噪声影响较大,积分效果不理想。本文在基于高度空间的全局优化和局部特征保持的基础上,通过金字塔式多尺度逼近,由表面法向量恢复三维表面信息。

全局优化方法原理如式(5)。

$$F(\hat{p}, \hat{q}) = \iint |p(x, y) - \hat{p}(x, y)|^2 + |q(x, y) - \hat{q}(x, y)|^2 dx dy \quad (5)$$

在此基础上结合局部梯度迭代方法和机遇高度空间的优化策略,式(5)进行优化得到式(6)。

$$F(x, y) = \sum_{x=0}^W \sum_{y=0}^H |z(x, y) - \hat{z}(x, y)|^2, \quad (6)$$

$W$  和  $H$  为宽和高

再利用金字塔三维重建方法,采样物体表面分散的点建立子表面点集,通过对交错的子表面进行数次迭代计算,采样距离迭代至1时就可以在保持原有结构的条件下重建主体表面,效果如图2所示。

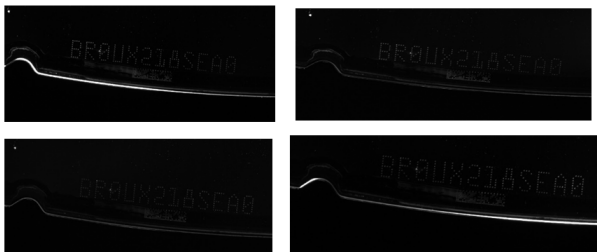


图1 不同光照角度下的图像



图2 合成后的立体图像

光源模块集成了角度光源和同轴光源,角度光源与同轴光源可以选择同时开启或者择一开启。形成几种特定的照明方式,如图3所示(本文研究的系统最多为23种照明方式)。

每种照明方式得一幅图像,通过上述算法可以得到物体三维结构。如图4所示,采用此方法,可以把字符信息从复杂的表面剥离出来,形成三维信息,便于后端的图像处理。

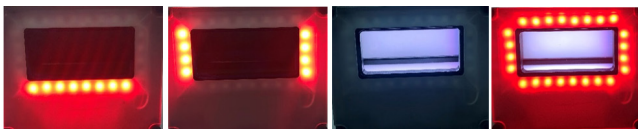


图3 多角度照明控制

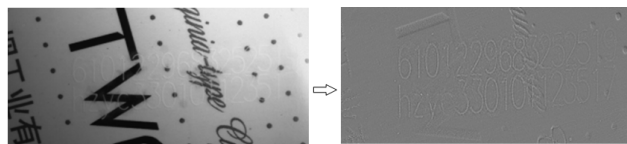


图4 压痕OCR成像

## 2 基于深度学习的多模态融合建模与关联分析方法

深度学习源于神经网络的研究,含多隐层的多层感知器是一种深度学习结构,通过组合低层特征形成更加抽象的高层表示属性类别或特征,以发现数据的分布式特征表示,其特点在于处是用非监督式或半监督式的特征学习和分层特征提取高效算法来替代手工获取特征。

在工业领域的数应用,多模态融合建模与关联分析的核心在于建立工业领域数据多模态语义关联信息的有效推理与判别模式,融合工业领域数据的多模态信息源,以形成决策需求的有效语义关联信息分析与优选机制<sup>[2,3]</sup>。为此,需要定义一种多模态语义关联推理与判别准则,对多模态融合建模与关联分析结果进行评估。融合基于神经网络的深度学习方法,建立面向多模态工业领域数据的特有多模态深度融合建模与关联分析机制,形成与工业决策实际的有效应用融合

本文研究的智能读码器所涉及的深度学习算法,最终体现形式为可在图像中查找和定位单个或者多个特征的工具。可通过改变自身特性适应嘈杂环境或复杂对象。通过对标注图像的学习,定位和辨识复杂的特征。用户并不需要了解底层算法,只需要利用工具操作,就可以获得新条码/字符识别的工程文件。

## 3 系统设计方案及示范应用

本文开发面向工业领域的一体化智能读码设备包含了光源模块、图像采集模块、图像处理模块、输出模块及电源模块,系统框架如图5所示。

图5中,(1)光源模块,即光度立体视觉模块,包括LED光源及控制电路。(2)图像采集模块:包括镜头和感光芯片,以及感光芯片外延的图像数据采集电路。(3)图像处理模块:图像信号采集后,经过基本图像预处理,例如二值化、图像增强、图像滤波等,数据加载到TX2智能模块通过深度学习算法处理,得到最终目标检测或者识别结果。(4)输出模块:将经过图像处理模块的图像和结果以指定格式和协议输出。(5)电源:给光源、图像采集和处理及输出模块。流程关系由图6所示。

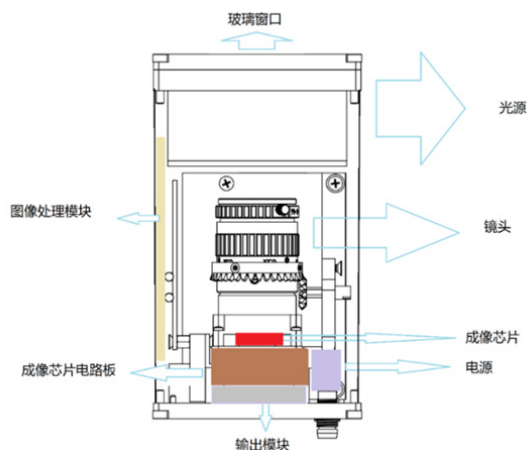


图5 一体化智能读码装置系统框架图

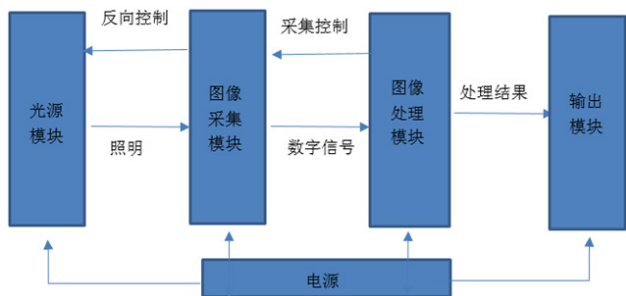


图6 智能读码器各模块关系

智能读码器的工作过程和原理如下：电源模块给读码器各个模块供电，通过光源控制电路把光源打开，光线照射到目标物上，部分反射光线被镜头收集，并在感光芯片上成像，感光芯片则把在自身成像的光信号转化电信号，图像数据采集电路把电信号做A/D转换，以数字信号格式输出给后端的图像处理单元进行简单的图像预处理，然后加载到智能图像处理模块上，结合深度学习算法，把预处理过的图像信号进行运算处理，得到最终目标物的读码结果。

在工程示范应用方面，基于半导体装备企业核心零部件国产化替代需求，如晶圆传片机，组织开

发一体化智能读码器，即晶圆追踪智能识别系统，并在半导体产线上进行现场验证和评测。本文开发的晶圆追踪智能识别速度约为300ms，当学习样本数达3000张以上，系统识别正确率达99.9%以上。识别效果如图7，利用光度立体视觉得到清晰图像后，运用AI算法，轻松识别晶圆ID的OCR识别。

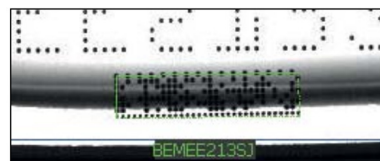


图7 晶圆ID的OCR识别

#### 4 结语

本文面向工业领域开发的一体化智能读码器，集成了光度立体视觉、图像采集与AI图像处理功能，具备强大的计算能力的同时，却只是常规读码器的尺寸，真正实现了高度集成化。该款智能读码器的识别速度约为300ms，当学习样本数达3 000张以上，系统识别正确率达99.9%以上，可有效用于半导体加工过程中的晶圆ID识别。

#### 参考文献

- [1] 徐庆相. 基于光度立体视觉的表面精细特征三维重建技术研究[D]. 湖北: 华中科技大学, 2011.
- [2] RAMACHANDRAM D, TAYLOR G W. Deep multimodal learning: A survey on recent advances and trends[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2017, 34(6): 96-108.
- [3] LEDERER C, ALTSTADT S, ANDRIAMONJE S, et al. A new approach to cross-modal multimedia retrieval[C]. 18th ACM International Conference on Multimedia. Firenze, Italy: ACM Multimedia. 2010: 251-260.

### 《集成电路应用》征稿简约

摘要：论文主题：电子学、电信技术、电力工程、计算机技术、自动化控制、仪器仪表、材料学、电光学、智能制造、智能建筑、智能汽车、电器与能源管理、工业经济、科学管理。栏目：市场分析、研究与设计、工艺与制造、创新应用。投稿邮箱：appic@189.cn，微信：17717632153。

《集成电路应用》杂志国内统一连续出版物号：CN31-1325/TN；国际标准连续出版物号：ISSN1674-2583。1984年创刊，国家级中文学术期刊。国家新闻出版广电总局第一批核定中国科学技术A类学术期刊，中国集成电路学科仅有的国家核定学术期刊，上海市集成电路行业协会SICA会刊。2017年中国科技期刊扩展影响因子0.611。2019年中国知网公布的本刊复合影响因子0.353。

数据库收录：国家工程技术数字图书数据库（中国科学技术信息研究所）刊源检索，中国学术期刊数据库CSPD刊源检索，万方数据系统科技期刊群数据库刊源检索，中国科学引文数据库CSCD来源期刊数据库刊源检索，中国核心期刊（遴选）数据库刊源检索，中国

知识资源总库CNKI中国知网数字图书数据库刊源检索，CNKI网络首发，中国学术期刊（光盘版）CAJ-CD刊源检索，中国期刊全文数据库CJFD刊源检索，中文科技期刊数据库（中国科技情报研究所）维普网Cvip刊源检索。

《集成电路应用》杂志编辑部收到读者用电子邮件发来的论文稿件后，一周内完成初审、给予录稿函，一月内完成外审修稿。已经在本刊发表的论文，如果作者不同意在国家数据库网上收录和数字出版，请特别说明。

投稿邮箱：appic@189.cn

投稿咨询微信：17717632153，app-ic

QQ：2438523020

编辑部地址：

上海宜山路 810 号 17 层

邮编 200233

电话：021-24261143

杂志网站 www.appic.com.cn

微信公众号 appic-cn



编辑部  
微信