

摘要：工厂和物流仓库进入自动化年代，带动了高效无人操作工业系统的需求，特别是用于导向机器人和机器（用于物件辨识、导向、高速和精准度）的 3D 视觉技术。市场上存在多种 3D 技术，每种各有优缺点和配合技术，大部分取决于应用需求。所有的这些技术都需要具有精密功能的高效传感器。Teledyne e2v 包括 3D 视觉的解决方案系列，以服务诸如工厂自动化、物流和测量。其高性能 CMOS 影像传感器的技术结合超过 10 年在飞行时间系统方面的经验，可应对 3D 视觉方面的种种挑战。

关键词：3D 视觉；CMOS 传感器；飞行时间；感测；度量；检测；机器人；激光三角测量

中图分类号：TP391.4

文献标识码：B

文章编号：1006-883X(2021)01-0029-06

收稿日期：2020-12-15

高性能标准 CMOS 传感器应用于 3D 视觉、感测和度量

Ha Lan DO THU 易博（译）

Teledyne e2v

0 引言

3D 成像技术早在数十年前已经出现，但是民用化产品却是在 2000 年左右才推出市场，如主流电影企业发布利用高清摄影机拍摄的 3D 电影。从那时开始，这一应用不论在速度、精度和 3D 图像分辨率等方面都有飞跃进展，并且获得从消费性市场到机器视觉工业的广泛应用。随着工业 4.0 变革来临，面对诸如复杂的物件辨识和尺寸量度任务，以及人机交互所需的复杂互动，2D 视觉在精度和距离测量方面均出现技术限制，市场对 3D 视觉的需求因而与日俱增。

3D 视觉能提高机器人 / 机器系统在工业自动化应用的自主性和效率，提供 2D 视觉不能比拟的高精度质量检测、反向工程和物件度量等关键能力；另一方面，视觉系统导向机器人的应用正在增长中，这一技术需要 3D 视觉来实现更好的遥距导向、障碍物辨识和精确移动。

3D 视觉也能保护需要大量人机互动的工厂工人，在系统级别预防和排除危险状况，通过监控系统点算工厂工人数目，并把工人和机器人或物件分辨出来^[1]。

3D 视觉能够实现更安全、性能更好和更高效的终端用户辅助系统，正在对社会带来影响力，已成为无人驾驶车辆的先进自动驾驶者辅助系统和人机合作机器人等应用的关键技术。

1 主流 3D 视觉成像技术

3D 图像的生成有多种技术^[2]，主流技术有：

（1）立体视觉：使用两部相机从不同角度对准主体，并使用校准技术把相机和具体深度信息之间的像素信息对齐，类似于人类脑部及目测距离的工作；

（2）结构光线：把一个已知的光线图案投射到主体上，根据图案在主体上的扭曲状况计算深度信息；

（3）激光三角测量：通过将一部相机和一个激光光源配对，实现三维测量。系统根据激光光源和相机之间已知的角度偏距，以三角几何理论量度出激光线的几何抵销（数值与主体的高度成比例），这是一项基于扫描主体的技术；

（4）飞行时间：一个光源与一个图像传感器同步，根据发出脉冲光线和光线反射回馈到传感器的时间计

算出距离。

以上几种技术各有优缺点，所以技术的适用程度取决于应用类型，其中距离范围和精度要求是重点。表 1 列出了相对不同条件的技术比较。

3D 系统目前占工业自动化和仓库应用视觉系统的一小部分，越来越多基于 3D 立体视觉、结构光线或激光技术的 3D 系统正在引进中。这些系统有固定的工作距离，需要大量校准工作以实现特定的检测范围。而飞行距离系统则能解决这些问题，并从应用角度提供更高灵活性，不过图像分辨率仍然是大部分这类技术目前所面对的制肘。

Teledyne e2v 用于 3D 成像的专用平台将支持最新的工业应用，包括视觉导引机器人、物流应用自动化无人车辆、工厂监控和安全、手持式扫描仪以及户外应用。

2 3D 视觉实现高速准确检测提高产能

越来越多的工厂进入自动化时代，以在提高产能和产品查验、库存的方方面面节省时间和成本（如图 1 所示）。要优化这些因素，拥有视觉系统的机器需要更高效地工作。三角测量技术正在这些应用中获得大量使用，鉴于 3D 图像要求高分辨率，因而需要非



常高效的传感器^[3]。

2019 年，Teledyne e2v 发布了能配合高速尺寸测量和查验技术挑战的标准传感器，以满足高速生产线的要求。这一快闪 CMOS 传感器系列很好地组合了一个 4,096×1,024 像素和一个 2,048×1,024 像素传感器，二者的帧率分别为 1800 fps 和 1500 fps（8 位），兼容标准光学格式（APS 兼容和 C-Mount），读出速度分别为 61.4 Gbps 和 25.6 Gbps。

新型的传感器提供一系列片上功能：

- 高达 100 dB 高动态范围（HDR）模式，实现对同一影像里的高反光表面和阴暗范围进行测量和查验；
- 多重取景窗口模式，兼顾高测量速度和范围 / 分辨率；
- 个别参数提供帧间“热”配置模式，有助于实现灵活性和对环境条件的实时适配；
- 多种曝光触发模式能够完全配合生产线速度。

表 1 3D 成像技术比较

性能	立体视觉	结构光线	激光三角测量	飞行时间 (ToF)
范围	有限 (2 ~ 5 m) 可配合光源而获得改进	可扩展 (cm 到 3 ~ 5 m)	短而有限 (cm ~ 1 m)	可扩展 (<50 cm 到 20 ~ 50 m)
深度精度	低 (cm)，可配合光源而获得改进	高 (μm ~ cm)	非常高 (μm)	中等 (mm ~ cm)
响应时间	中等	慢	慢	快
软件复杂度	高	中等	高	低
低光性能	弱	取决于光源 (红外或可见光)	取决于光源 (红外或可见光)	好 (红外、激光、LED)
强光性能	好	中等	中等	好
光线转换条件	弱	中等	中等	好
紧凑度	低	低	中等	高
生产和校准投入	高	高	高	低
物料成本	低	高 / 中等	高 / 中等	中等
视场	有限 (固定或校准)	有限 (固定或校准)	有限 (固定或校准)	可扩展 (可实现大 FoV，取决于光源、传感器分辨率、距离)

优势:

- 以 2 K 或 4 K 分辨率实现高速率，提高产能；
- Flash 产品系列提供高性价比；
- 允许对实时环境条件和生产线速度作出适应，实现高灵活性应用。

3 3D 视觉提高工厂自主性和效率

随着工厂和仓库自动化程度越来越高，车间出现人机密集工作，因而防止事故和提高安全度成为至关重要的任务。在日益多变的工作环境里，因为拥有实时 3D 信息和决策能力，以及能够在快速移动的场景中侦测出物件或人员，飞行时间（time of flight, ToF）系统成为理想的解决方案。

飞行时间技术可分为两大类：直接飞行时间和间接飞行时间^[4]。直接飞行时间是指系统通过直接计算光线从物件反射的时间量度出距离；间接飞行时间则是系统通过计算光波发射到物件以及反射后返回光的相位差异而得出距离，从而建立 3D 图，其优缺点如图 2 所示。

Teledyne e2v 提供采用订制化传感器的直接飞行时间系统，以及使用完整标准产品的间接飞行时间系统。

飞行时间传感器特点：

- 高空间分辨率，实现大视场范围和高角度分辨率；
- 快速实时无运动模糊 3D 测定，在全分辨率下实现超过 30 fps 深度图；
- 提供近、中、远距离侦测和管理；
- 能在任何环境条件下实现高可靠测距，具有在环境光条件下的高精度和强大功能，以及多系统工作。

4 飞行时间技术处理复杂环境工作

相较其他 3D 技术，飞行时间技术具有快速、简单、低成本，以及在中远距离提供出色的 3D 成像性能的特点。再者，飞行时间技术具有高灵活性，由于它无需按设定校准（如工厂校准），因而可以固定在活动机器人上。系统也可以适应各种工作设定，使得飞行时间系统能够很好地配合复杂的环境和工作条件。

图 3 是飞行时间技术在工厂或仓库应用的范例：

- 量度箱子或包装的外形尺寸和体积：飞行时间成像系统能够量度箱子或包装的尺寸和体积，以便于有效装盘、集运（优化装箱和货车载荷）或提高生产线效率；
- 用于智能高效仓存管理的货件识别：相较于 2D 传统成像处理系统，飞行时间成像系统能够以更短的时间检测货件或包装尺寸；

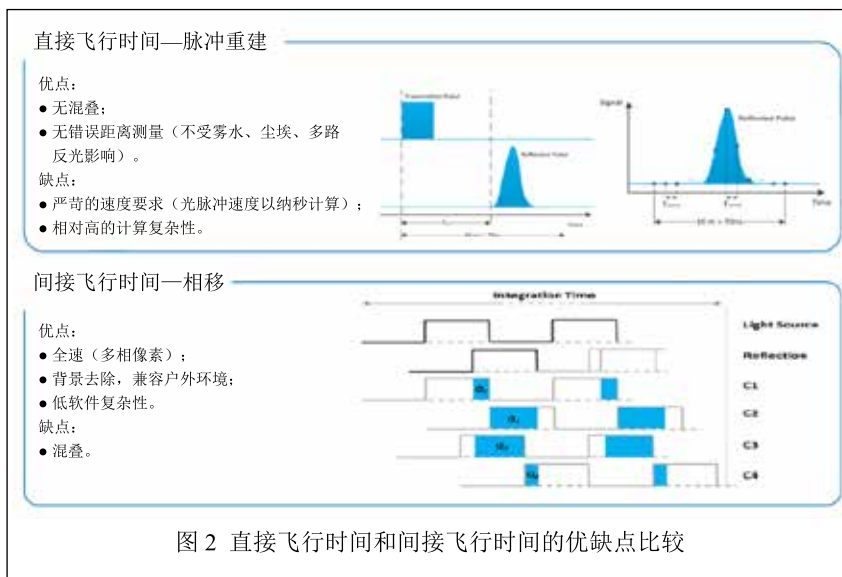


图 2 直接飞行时间和间接飞行时间的优缺点比较



图 3 飞行时间技术应用范例

● 抓取与放置：飞行时间系统检测和识别合适的物件进行抓取，并放置到合适的位置，相较使用 2D 传统成像处理系统，可实现更高准确性和更短时间。

与市场现有产品相比，Teledyne e2v 去年发布的 Bora™ 传感器在需要对固定物件进行分析的应用方面具有独特的优势。这款传感器具有 1.3 MP 高分辨率，能够以 2D 和 3D 摄取具有宽广视角的大面积现场，实现高性价比的优化系统。Teledyne e2v 所有飞行时间传感器均设计用于高灵活性应用，可适应不同的工作条件并提供具有深度图的实时 3D 影像摄取，并在全分辨率下以四相工作实现超过 30 fps 的高速度^[5]。

- Bora™ 传感器的特点：
- 创新 10 μm 像素设计；
 - 1,280×1,024 像素空间分辨率；
 - 高灵敏度和独有的片上门控全局快门模式，实现最快 42 ns 门控时间。

飞行时间系统助力机器人在工厂环境以及其他无人操控应用下的安全工作（如图 4 所示），比其他 3D 技术具有更多的优势。

目前，导向系统大多使用传统激光雷达（Lidar）扫描和侦测物件，但已有越来越多使用如间接飞行时间等其他技术的解决方案。相较于传统激光雷达



图 4 机器人导向应用范例

（Lidar）扫描仪，间接飞行时间系统能提供实时影像信息，并有快速响应时间和无运动模糊的特点，如表 2 所示。由于它们不含机械部件，因而性能强大、尺寸紧凑，并且具有更低功耗和更少计算的特点，从而实现低成本。

在上述的应用中，飞行时间系统能解决不少挑战。系统需要处理从 10 m 起的短、中、长距离测量，速度也要足够快，以避免产生瑕疵（目前大部分飞行时间解决方案均集中于最大 5 ~ 6 m 的短距离范围）。另外，系统有可能需要在不同光线变化的条件下工作，例如机器人在工厂或仓库到处移动工作，但不对区域内的其他机器人构成障碍。

2020 年 7 月，Teledyne e2v 发布了 Hydra 3D 传感器，

表 2 传统 Lidar 与间接飞行时间比较

参数	传统 Lidar	间接飞行时间
范围	最大 70~100 m	可变（短距离 30~50 cm 到 5~10 m；长距离：>10~100 m）
精度	激光扫描，mm	mm, cm
分辨率	低	中到高：最大 1.3 MP；1,280×1,024（最新）
速度	20 fps	>60 fps 3D 深度图
2D 和 3D 图像	无图像，使用计算重建坐标	2D 灰度图像（CMOS 传感器）+3D 深度图
运动模糊 / 运动物件移除	单点扫描物件，可能造成瑕疵或错失物件	实时摄取移动物件（单帧）
视场	大：水平（激光扫描最大 360°） 小：垂直	中：可实现大视场（>120°）， 取决于传感器分辨率、精度和光源抵销
响应时间：3D 图像	3D 重建前先扫描	在全视场实时摄取现场
系统紧凑度	中等	高：固态系统
系统性能	机械部件	固态系统
对户外环境的性能 （可变光线、太阳光…）	高	中等
价格	高	较低

Hydra 3D 具有 832×600 像素分辨率， $10\ \mu\text{m}$ 三内存节点像素，允许高 3D 性能水平，包括高深度分辨率、高速度和灵活工作条件，其功能及优势如图 5 所示。

Hydra 3D 的创新多内存节点像素能够提供重建 3D 图像所需的三个相位，有助于在快速移动场景中摄取无运动模糊的精准 3D 信息。三内存节点像素提供在单帧中建构 3D 图所需的多相位信息摄取和存储能力，

无需像其他间接飞行时间技术般使用多帧技术。这一技术在快速移动场景应用避免任何运动模糊是非常强大的功能。这类似于 2D 视觉技术中全局快门和卷帘快门的差异。三内存节点像素能够以单个光脉冲摄取所有相位，实现光能优化使用。在图 6 的应用实例中，帧率保持不变，使得平均功耗大大减小，不过光能取决于高帧率或高精度（配合多重捕获）。

Hydra 3D 传感器的其他优势包括配置灵活性和多重片上功能。例如强大的片上高动态范围（HDR）功能配合高帧率和灵活配置，允许用户对距离范围、物件反光度、帧率等进行权衡，以及面向环境光的强大

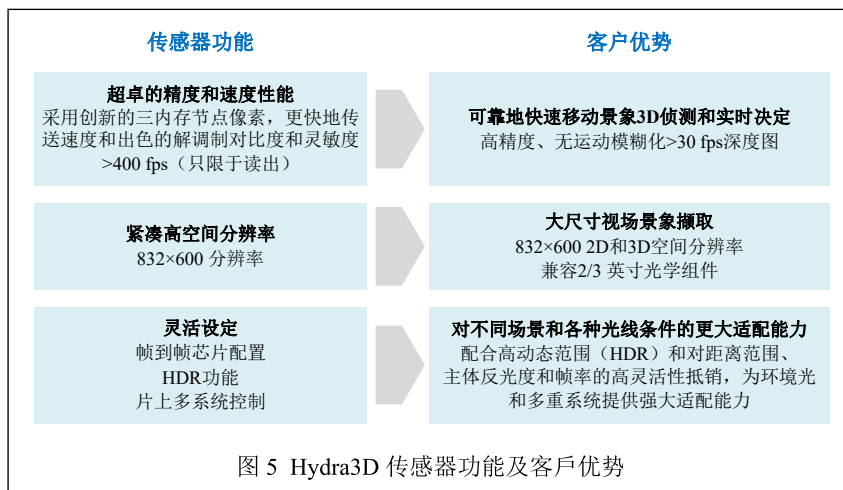


图 5 Hydra3D 传感器功能及客户优势

效能，而用于多重飞行时间系统工作的独特片上功能则让异步系统同步工作而不互相干扰。

5 CCD 年代的时间飞行

时间飞行的影像处理是相较传统 2D 视觉系统更复杂的技术。它涉及光学和照明系统，取决于多个参数（如传感器或视场、工厂校准、专有传感器配置）以便于完全配合应用需求。我们经常把时间飞行传感器和 CCD 传感器比较，因为复杂的设定需要在系统级投放大量力量以集成传感器，应用设定的控制因而成为关键因素。

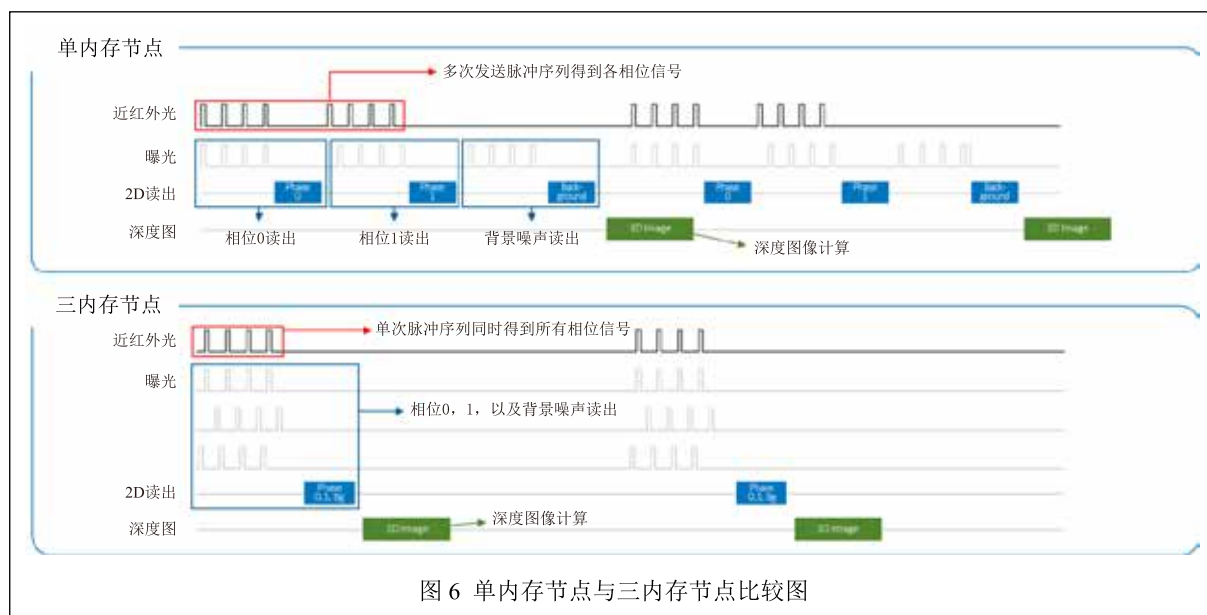


图 6 单内存节点与三内存节点比较图

Teledyne e2v 提供从 CMOS 影像传感器到订制相机模式等一系列技术解决方案，涵盖完整系统到系统集成支持。这包括了一个使用评估平台的参考设计、照明和光学评估、肉眼安全考虑、建模和仿真、算法和校准。

6 总结

随着工厂和物流仓库进入自动化年代，带动了高效无人操作工业系统的需求，特别是用于导向机器人和机器（用于物件辨识、导向、高速和精准度）的 3D 视觉技术。市场上存在多种 3D 技术，每种各有优缺点和配合技术，大部分取决于应用需求。所有的这些技术都需要具有精密功能的高效传感器。Teledyne e2v 包括 3D 视觉的解决方案系列，以服务诸如工厂自动化、物流和测量。

参考文献

- [1] WON BOUCHARD. Emerging trends in 3D imaging applications [J]. Quality Magazine, 2017.
- [2] ANDY WILSON. Multiple 3D methods ease industrial automation applications[J]. Vision Systems Design, 2018, 23(11): 15-18.
- [3] MATTIAS JOHANNESSON. Laser triangulation tackles Imaging[J]. Vision Spectra, 2019.
- [4] LARRY LI. Time of flight camera-an introduction, texas instruments technical white paper[R]. America: Texas Instruments, 2014.
- [5] JAMES CAROLL. Time of flight sensors target high-sepped 3D machine vision tasks. [J]. Vision Systems Design, 2020.

Use of High Performance Standard CMOS Sensors for 3D Vision, Detection and Measurement

Halan Dothu

Teledyne e2v

Abstract: As factories and distribution warehouse are increasingly automated, there is an increasing need for effective and autonomous industrial systems, particularly 3D vision for guided robots and machines (for object recognition, navigation, high speed and accuracy). Several 3D techniques exist, each with pros and cons, with

the preferred technology, very much depending on the requirements of the application. All of these techniques are demanding and require high performance sensors with complex features. Teledyne e2v has a successful track record with market leaders and offers a broad range of unique solutions, including 3D vision, to serve industrial markets such as factory automation, logistics and metrology applications. Our unique expertise in high performance CMOS image sensors (incorporating cutting-edge pixels and special features) coupled with over 10 years solid experience in ToF systems, enables us to help our customers to overcome the current challenges of 3D vision.

Key words: CMOS sensors; 3D vision; time of flight; detection; measurement; inspection; robotics; laser triangulation

作者简介

Ha Lan DO THU, Teledyne e2v 3D 产品和应用的市场经理。专业领域包括战略和产品营销，创新成像产品和技术，重点是了解市场需求，定义并推广产品。

邮箱: yuki.chan@teledyne.com