

# 使用德州仪器 (TI) DLP® 结构光技术进行高精度 3D 扫描



Gina Park  
DLP® 产品工业经理

Michael Wang  
DLP Pico™ 产品营销

Carey Ritchey  
DLP 产品工业业务发展经理  
德州仪器 (TI)

## 简介

三维 (3D) 扫描是一种功能强大的工具, 可以获取各种用于计量设备、检测设备、探测设备和 3D 成像设备的体积数据。当设计人员需要进行毫米到微米分辨率的快速高精度扫描时, 经常选择基于 TI DLP® 技术的结构光系统。

### 3D 扫描系统的兴起

简单的二维 (2D) 检测系统已经问世多年了, 其工作机制通常是照亮物体并拍照, 然后将拍摄图像与已知的标准 2D 参考件进行比较。3D 扫描则增加了获取体积信息的能力。引入 z 维数据可以测量物体的体积、平整度或粗糙度。对于印刷电路板 (PCB)、焊膏和机加工零件检测等行业而言, 测量上述附加几何结构特征至关重要, 而这是 2D 检测系统无法达到的。此外, 3D 扫描还可用于医疗、牙科和助听器制造等行业。

坐标测量机 (CMM) 是收集 3D 信息的首批工业解决方案之一。

探针物理接触物体表面, 并结合每个点的位置数据来创建 3D 表面模型 (图 1)。后来出现了用于 3D 扫描的光学方法, 如: 结构光 (图 2)。结构光是将一组图案投射到物体上并用相机或传感器捕捉图案失真的过程。然后利用三角计算方法计算数据并输出 3D 点云, 从而生成用于测量、检查、检测、建模或机器视觉系统中



图 1. 坐标测量机探头示例



图 2. 利用结构光进行光学 3D 扫描

各种计算的数据。光学 3D 扫描受到青睐的原因在于不接触被测物体, 并且可以非常快速甚至实时地获取数据。

### 借助 DLP 技术实现快速、智能的光图形生成

对于光学 3D 扫描设备, DLP 技术通常在系统中用于产生结构光。DLP 芯片是一种高反射铝微镜阵列, 称为数字微镜器件 (DMD)。

当 DMD 与照明光源和光学器件相结合时, 这种精密复杂的微机电系统 (MEMS) 就可以为各种投影系统和空间光调制系统提供助力。

由于 DMD 可灵活、快速、高度可编程的产生各种结构光图案, 设计人员经常将 DLP 技术用于结构光应用。与具有固定图案集的激光线扫描仪或衍射光学元件 (DOE) 不同, 它可以将不同位深的多种图案编程至一个 DMD。基于 DLP 技术的结构光解决方案非常适合于需要达到毫米甚至微米精度的详细测量。

## 利用3D扫描系统的应用

### 3D AOI

3D 自动光学检测 (AOI) 是一种用于生产制造环境的强大技术, 可提供与零件质量相关的实时、在线、决定性的测量数据。例如, 3D 测量就非常适合用于 PCB 焊膏检测 (SPI), 因为它会测量出在元件放置之前沉积的焊膏的实际体积, 有助于防止出现劣质焊点 (图 3)。在 PCB 的生产制造中, 也会在元件放置、回流焊、最终检查和返工操作后进行在线 3D AOI, 最大限度地提高质



图 3. PCB 3D SPI 示例

量和可靠性。随着 3D 检测功能的日益普及, 越来越多的在线工厂检测点选择采用 3D AOI 系统。

### 医疗

3D 扫描技术在医疗行业中的应用飞速增长。例如, 牙科中采用口腔内扫描仪 (IOS) 直接采集光学印模 (图 4)。在制作假体修复体时, 如镶嵌物、高嵌体、顶盖和牙冠, 需要达到微米级 3D 图像精度。IOS 简化了牙医的临床操作程序, 省却了对石膏模型的需求并减轻了患者的不适。



图 4. 牙科口内扫描仪

另一个快速增长的应用行业是 3D 耳扫描。光学成像系统能够精确采集耳朵的 3D 模型, 而无需使用硅胶耳印模。3D 耳扫描未来还可用于为消费者定制耳塞、助听器及听力保护设备。

### 工业计量和检验

许多不同的工业计量和检测系统已经开始转向采用 3D 光学扫描技术。

光学 3D 表面检测显微镜是离线 CMM 系统的一种替代方案。此类显微镜可以测量更多关于高度、粗糙度以及计算机辅助设计 (CAD) 数据比较的特征。此外, 生产机加工、铸造或冲压制品的工厂也是光学检测的另一大应用领域。



图 5. 带有 3D 扫描仪的机器人手臂

它们可以更轻松和准确地进行 X、Y、Z 三轴方向的测量, 从而提高质量保障。市场上也出现了在线 3D 视觉系统与机器人手臂相结合的解决方案 (图 5)。利用这些机器人解决方案可以极大地提高汽车 (图 6) 和其他生产线工厂的速度和质量。在装配和生产过程中的特定阶段增设 3D 检测有助于及早发现质量问题, 从而减少浪费和返工。3D 扫描系统甚至可以在计算机数控 (CNC) 设备和 3D 打印机内运用, 能够在生产制造过程中进行实时测量。



图 6. 3D 结构光扫描在汽车定位检测中的应用

### 专业消费类 3D 扫描仪

专业级 3D 手持扫描仪是为专业人士和业余爱好者提供的以 3D 数据格式采集实物完整细节特征的便携式工具(图 7)。

所采集的数据可以用于产品设计、零件工程、3D 内容创建或作为 3D 打印机的输入信息。例如,在线零售商可以通过对其产品进行 3D 扫描,以真实、高质量的 3D 模型(而非 2D 图片)在线呈现产品。游戏玩家可以对自己进行 3D 扫描并在游戏中创建自己的角色。



图 7. 台式专业级 3D 扫描仪

### 3D 生物识别和身份验证

3D 扫描在生物识别和身份验证的应用方面不断发展,通常用于安全锁定或解锁设备、安检和金融交易。利用光学 3D 扫描技术来采集面部、指纹或虹膜特征是一



图 8. 基于 3D 扫描的指纹绘制

种更安全可靠生物识别方法,并会给黑客攻击和其他攻击带来更大的难度(图 8)。

### 集成 DLP 技术带来的系统设计优势

无论是检查 PCB 质量还是制作精确的牙科配件,基于 DLP 技术的结构光 3D 扫描设备都具备许多显而易见的系统优势。DMD 微镜具有微秒级的快速切换性能以及每秒超过 1000 个图案的 8 位相移速率,从而能够达到高速数据采集率,以实现在线测量非常有用的实时 3D 扫描。高速 DLP 芯片还具有编程灵活性,在运行中也可以动态地对图案进行选择 and 重新排序。这有助于确保将最佳图像应用于特定对象位置或特定视野内,同时也有助于提取用于分析的最准确的 3D 信息。

可以控制图像的持续时间和亮度,确保物体反射的最佳光量,并使相机的动态范围最大化。

DLP 技术可与各种光源结合使用,并兼容紫外(UV),可见光和近红外(NIR)波长(图 9)。这为基于目标物体的反射率来定制 3D 扫描系统提供了额外的通用性。DLP 芯片可以与多种光源和相机相结合的灵活性使得可以轻松创建一个设备来测量多个物体。在设计下一代 3D 扫描设备时,汽车、工业和医疗公司寻求 DLP 芯片是有意义的。在使用 DLP 技术设计解决方案时,系统集成商能够通过灵活的图像控制和新的结构光算法进行创新。

他们还可以优化光学架构,以匹配检查扫描的关键分辨率和照明要求。令人振奋的是,开发者可以利用先进的可编程性将 3D 扫描提升到新的水平,从而优化在光谱域、空间域和时间域中的性能。

## DLP 产品系列注意事项

TI [先进光控制](#) 产品组合提供超越传统显示器的 DMD 和配套控制器成像功能。更值得一提的是,DMD 芯片支持的波长范围在 363 nm 至 2500 nm 之间,二进制图形速率高达 32 kHz,并且可提供更精确的像素精度控制。以下是具有先进光控制的 DLP 芯片组如何优化结构光系统的说明。

### DMD 特征

- **分辨率**—在撰写这本刊物时,DMD 的分辨率范围就达到了 0.2 至 410 万像素(MP)。在需要较大扫描区域或者光照强度较强的环境中时,倾向于使用较大的 1-MP、2-MP 或 4-MP DMD。例如,汽车 3D 检测在组装和对准处理步骤时需要在明亮的工厂地板上的进行大区域扫描。小于 1-MP 的

DMD 倾向于放置在比较便携和低功耗的小型手持或台式设备中。

- **功率**—最小的芯片组功耗低于 200mW,非常适合便携式或电池供电系统。例如,口腔内扫描仪就是充分利用小型 DMD 的外形因素以及它具有适用于电池供电的低功耗特性的优势。
- **波长**—用户可以根据物体的反射特性在基于 DLP 技术的系统中调整颜色和照明强度。因为 DMD 可以与各种光源组合,包括灯,发光二极管(LED)和激光器。DMD 针对[紫外](#) (363-420nm),[可见光](#) (400-700nm)和[近红外](#) (700-2,500nm)进行了优化。对于生物识别 3D 扫描解决方案,近红外波长因其不具有侵入性的特征而广受青睐。紫外线有时是优化金属反射特性的最佳选择。LED 光学激光器是针对白光图像的节能单色解决方案。

### 控制器特性

- **预存储图形**—DLP 控制器为可靠、高速的 DMD 控制提供了方便的接口。它们支持预存储的结构光图像,而无需外部视频处理器来传输图像。一些 DLP 控制器可以使用一维(1D)编码预先存储 1000 多个结构光行列图像(如,参见图 10)。1D 图像的特点是其信息可由单行或单列信息来表述。专业级 3D 手持扫描仪产品通常使用 1D 图像来降低成本并提高扫描速度。更先进的控制器支持多达 400 个预存储的 2D 全帧模式(例如,参见



图 10 1D 图像示例

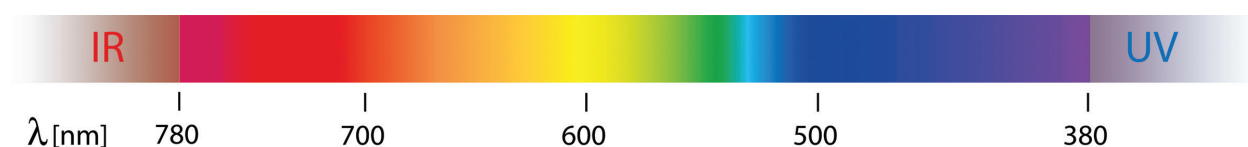


图 9. 光谱

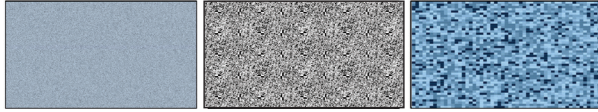


图 11. 2D 图像示例

图 11), 根据应用程序的需要或被扫描的对象, 可以更适应于 X 和 Y。

- **图像准确度和速度**—DLP 控制器设计用于显示适合机器视觉或数字曝光的图案, 并支持可变高速图案显示速率, 每秒高达 32000 个图案, 且具有相机同步功能。这些图像速率对于高精度和高速 3D 扫描系统是至关重要的。

从简单到复杂的系统, DLP 技术在设计定制的结构

光系统硬件和算法时为客户提供了令人难以置信的图像灵活性。

## 用于 3D 扫描的 DLP 产品

TI 提供了一系列的 DLP 芯片组, 以适应不同的 3D 扫描要求, 如下表 1 所示。有关 DLP 芯片的最新和完整列表, 请参阅 [TI DLP 技术](#)。

DMD	微镜阵列	阵列 对角线	最佳波长	控制器	最大图像速率 (二进制/ 8 位)	高速预存图像显示 (2D 或 1D)
DLP2010	854 × 480	0.20"	420–700-nm	DLPC3470	2,880-Hz / 360-Hz	1D only
DLP2010NIR	854 × 480	0.20"	700–2,500-nm	DLPC3470	2,880-Hz / 360-Hz	1D only
DLP3010	1280 × 720	0.3"	420–700-nm	DLPC3478	2,880-Hz / 360-Hz	1D only
DLP4500	912 × 1140	0.45"	420–700-nm	DLPC350	4,225-Hz / 120-Hz	2D
DLP4500NIR	912 × 1140	0.45"	700–2,500-nm	DLPC350	4,225-Hz / 120-Hz	2D
DLP4710	1920 × 1080	0.47"	420–700-nm	DLPC3479	1,440-Hz / 120-Hz	1D only
DLP5500	1024 × 768	0.55"	420–700-nm	DLPC200	5,000-Hz / 500-Hz	2D
DLP6500	1920 × 1080	0.65"	420–700-nm	DLPC900	9,523-Hz / 1,031-Hz	2D
DLP6500	1920 × 1080	0.65"	420–700-nm	DLPC910	11,574-Hz / 1,446-Hz	—
DLP7000	1024 × 768	0.7"	400–700-nm	DLPC410	32,552-Hz / 4,069-Hz	—
DLP7000UV	1024 × 768	0.7"	400–700-nm	DLPC410	32,552-Hz / 4,069-Hz	—
DLP9000	2560 × 1600	0.9"	400–700-nm	DLPC900	9,523-Hz / 1,031-Hz	2D
DLP9000X	2560 × 1600	0.9"	400–700-nm	DLPC910	14,989-Hz / 1,873-Hz	—
DLP9500	1920 × 1080	0.95"	400–700-nm	DLPC410	23,148-Hz / 2,893-Hz	—
DLP9500UV	1920 × 1080	0.95"	400–700-nm	DLPC410	23,148-Hz / 2,893-Hz	—

表 1. 可以显示有用的 3D 扫描规范的 DLP 芯片组组合

## 总结

使用结构光的 3D 扫描是用于需要 3D 光学测量技术的扩展市场和用例的理想技术。TI 提供多样化的 DLP 芯片组合,可在个人电子产品中使用的小型、集成扫描引擎,以及工业检测系统中使用的大型高分辨率图案发生器。

DLP 技术是 3D 扫描和机器视觉解决方案选择的主要技术,因为它具有极高的多功能性,能够以极高的速度定制图案,并能够与多个光源和波长配对。这种多功能性还可以推动客户创新,并将 3D 扫描系统功能推向新的高度。

## 相关网站

- 了解更多关于 [DLP 技术](#) 的信息。
- 利用评估模块 (EVM) 来评估 DLP 技术在 3D 扫描中的应用:
  - [DLP LightCrafter 4500 评估模块](#).
  - [DLP LightCrafter 6500 评估模块](#).
  - [DLP LightCrafter 9000 评估模块](#).
  - [DLP Discovery 4100 开发套件](#).
- 从 TI Designs 参考设计库下载这些参考设计,并且可以通过使用 DLP 技术原理图、布局文件、材料清单和测试报告加快产品开发的速度:
  - DLP4500: [面向 3D 机器视觉应用并采用 DLP 技术的精确点云生成](#).
  - DLP6500: [采用 DLP 技术的工厂自动化用高分辨率 3D 扫描仪](#).
- 联系光学设计制造商 (ODM) 以获得可用于生产的光学模块:
  - Pico 芯片组 – [购买光学引擎](#).
  - 先进光控制 – [光学和电子](#).
- 联系设计公司获取专属解决方案:
  - [Pico 芯片组](#).
  - [设计服务提供商](#).
- [请联系](#) 当地 TI 销售人员或 TI 经销商代表。
- 请访问 [德州仪器中文技术支持社区的 DLP 产品和 MEMS 论坛](#), 寻找解决方案, 获得帮助, 并与同行工程师和 TI 专家分享知识和解决难题。

**重要声明：** 本文所提及德州仪器 (TI) 及其子公司的产品和服务均依照 TI 标准销售条款和条件进行销售。TI 建议用户在下订单前查阅全面的全新产品与服务信息。TI 对应用帮助、客户应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不承担任何责任。有关任何其他公司产品或服务的发布信息均不构成 TI 因此对其的批准、担保或认可。

平台标识是德州仪器 (TI) 的商标。所有其他商标均为其各自所有者的财产。



## 有关 TI 设计信息和资源的重要通知

德州仪器 (TI) 公司提供的技术、应用或其他设计建议、服务或信息，包括但不限于与评估模块有关的参考设计和材料（总称“TI 资源”），旨在帮助设计人员开发整合了 TI 产品的应用；如果您（个人，或如果是代表贵公司，则为贵公司）以任何方式下载、访问或使用了任何特定的 TI 资源，即表示贵方同意仅为该等目标，按照本通知的条款进行使用。

TI 所提供的 TI 资源，并未扩大或以其他方式修改 TI 对 TI 产品的公开适用的质保及质保免责声明；也未导致 TI 承担任何额外的义务或责任。TI 有权对其 TI 资源进行纠正、增强、改进和其他修改。

您理解并同意，在设计应用时应自行实施独立的分析、评价和判断，且应全权负责并确保应用的安全性，以及您的应用（包括应用中使用的 TI 产品）应符合所有适用的法律法规及其他相关要求。就您的应用声明，您具备制订和实施下列保障措施所需的一切必要专业知识，能够 (1) 预见故障的危险后果，(2) 监视故障及其后果，以及 (3) 降低可能导致危险的故障几率并采取适当措施。您同意，在使用或分发包含 TI 产品的任何应用前，您将彻底测试该等应用和该等应用所用 TI 产品的功能而设计。除特定 TI 资源的公开文档中明确列出的测试外，TI 未进行任何其他测试。

您只有在为开发包含该等 TI 资源所列 TI 产品的应用时，才被授权使用、复制和修改任何相关单项 TI 资源。但并未依据禁止反言原则或其他法律授予您任何 TI 知识产权的任何其他明示或默示的许可，也未授予您 TI 或第三方的任何技术或知识产权的许可，该等许可包括但不限于任何专利权、版权、屏蔽作品权或与使用 TI 产品或服务的任何整合、机器制作、流程相关的其他知识产权。涉及或参考了第三方产品或服务的信息不构成使用此类产品或服务的许可或与其相关的保证或认可。使用 TI 资源可能需要您向第三方获得对该等第三方专利或其他知识产权的许可。

TI 资源系“按原样”提供。TI 兹免除对 TI 资源及其使用作出所有其他明确或默示的保证或陈述，包括但不限于对准确性或完整性、产权保证、无复发故障保证，以及适销性、适合特定用途和不侵犯任何第三方知识产权的任何默认保证。

TI 不负责任何申索，包括但不限于因组合产品所致或与之有关的申索，也不为您辩护或赔偿，即使该等产品组合已列于 TI 资源或其他地方。对因 TI 资源或其使用引起或与之有关的任何实际的、直接的、特殊的、附带的、间接的、惩罚性的、偶发的、从属或惩戒性损害赔偿，不管 TI 是否获悉可能会产生上述损害赔偿，TI 概不负责。

您同意向 TI 及其代表全额赔偿因您不遵守本通知条款和条件而引起的任何损害、费用、损失和/或责任。

本通知适用于 TI 资源。另有其他条款适用于某些类型的材料、TI 产品和服务的使用和采购。这些条款包括但不限于适用于 TI 的半导体产品 (<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、[评估模块](http://www.ti.com/sc/docs/sampters.htm)和样品 (<http://www.ti.com/sc/docs/sampters.htm>) 的标准条款。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122  
Copyright © 2018 德州仪器半导体技术（上海）有限公司