

3D 传感技术参数的简单说明

Tomas Kovacovsky (Photoneo 的首席技术官 (CTO))

机器视觉是工业自动化的驱动力之一。在很长一段时间里，人们主要通过改进 2D 图像传感技术来推动自动化，并且对于一些应用来说，2D 传感仍然是解决问题的最佳工具。但如今机器视觉面临的大多数难题都具有 3D 特性。从完善的计量学到智能机器人的新应用，3D 传感器是数据的主要来源。在 3D 传感器的基础上，我们了解到一个传感器能够捕捉到检查面的 3D 特征。当我们谈到机器视觉时，我们将不考虑此范畴内的非光学系统因素。

如今，市场上提供有各种各样的 3D 感应解决方案，它们中



的大多数都声称比它们的竞争对手更具优越性。虽然很多这样的说法都是基于理性推理，但我们需要了解应用的差异和需求。对于读取二维码，2D 智能照相机可能是市场上最好的解决方案。但是它不能指导物流机器人从一个设施到另一个设施。在这一领域，其无法与当前主导市场基于激光雷达 (LIDAR) 的解决方案匹敌。

不考虑干涉测量和纳米范围的情况下，我们列出了目前工业内使用的最常见的典型技术：

- 激光三角测量 (或轮廓测定法)
- 摄影测量法
- 立体视觉 (被动式和主动式)
- 结构光法 (一帧, 多帧)
- 飞行时间 (区域扫描 或 LIDAR)

在本论文的最后可以找到基于我们所选择的参数，通过主要的使用案例和分类做出的更详细的说明。

重要的是明白创建一个满足所有需求的最佳解决方案是不可能的。我们来集中关注最重要的参数以及无法轻松扩展这些参数的原因，或对一些参数相对高一些的状况要做出哪些权衡取舍。我们将为每个类别确定 5 个级别，这将有助于我们对它们提供的独特技术和可能性进行比较。

参数

工作容积

用于计量应用的系统的典型工作容积大约为 100mm x 100mm x 20mm，而一个箱柜取放解决方案的标准需求大约为 1 m³。这看起来只是一个简单的参数变化，但实际上，不同的工作容积，有不同的技术擅长。

当 XY 方向的范围增加，则与该系统的视场角 (FOV) 的关系更为密切，并且可以通过使用广角角度更大的镜头进行扩展，那么延伸 Z 方向范围的问题将为如何保持聚焦该目标物体。这就是所谓的景深。需要景深越深，照相机 (或投影仪) 的光圈就必须越小。这将严重限制到达传感器的光子数量，从而导致限制某些技术在更高的景深范围内的使用。

我们根据其景深范围定义了五个类别：

1. 非常小：最高 50 mm
2. 较小：最高 500 mm
3. 中等：最高 1500 mm
4. 较大：最高 4 m
5. 非常大：最高 100 m

在通过缩小光圈对照相机的深度范围进行扩展的同时，将限制捕捉到的光的数量 (包括来自主动式系统中的光源和环境

照明的光源)。更复杂的问题在于扩展主动式投影系统的深度范围,在该系统中缩小光圈只限制信号,而不限制环境照明。此点是**基于激光的投影系统**(如在 Photoneo 的 3D 传感器中的使用)所擅长的,利用他们的能力获得几乎没有限制的景深。

数据采集和处理时间

光是 3D 扫描中最有价值的资源之一。为了获得良好的测量信噪比,尽可能多地使来自正确光源的光子进入像素至关重要。对于数据采集时间有限的应用来说,这可能是一个难题。另一个会造成时间上有所不同的参数是捕捉运动中(传送带上,运动的机器人的传感器等)的目标物体的技术能力。在考虑运动的应用时,只有“单次对焦”方法才具备竞争实力(在我们的数据采集时间参数中标记获得 5 分)。在确定您需要实现的循环时间时,最后需要考虑且同样重要的一点是,您的应用是反应性的且需要得到即时结果(例如,智能机器人技术、分类整理.....),还是稍后交付结果也不受影响(例如,线下计量、工厂平面图改造、犯罪现场数字化.....)。

	Static	In Motion
Delayed result / Reconstruction / Mapping	takes minutes eg Photogrammetry, LIDAR	"Recording" eg for Motion Tracking
Instant result / Reactive systems, low latency	takes seconds eg Structured Light	Time-of-Flight Structured Patterns

如果您的应用受时间限制,**结构光法**能够很好地平衡速度(采集和处理两个方面)和分辨率。

数据采集时间:

1. 非常长: 数分钟或以上
2. 较长: ~5s
3. 中等: ~2s
4. 较短: ~500 ms
5. 非常短: ~50 ms

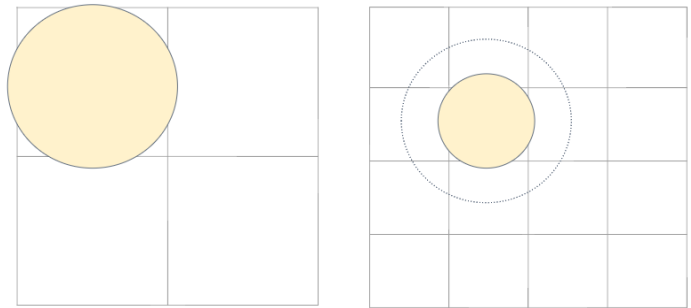
数据处理时间:

1. 非常长: 数小时或以上
2. 较长: ~5s
3. 中等: ~2s
4. 较短: ~500 ms
5. 非常短: ~50 ms

分辨率

分辨率是指系统捕捉细节的能力。对于在大工作容积中拥有小 3D 特征的应用来说,高分辨率是必需的。在所有基于成像的系统中增加分辨率的最大难题是到达单个像素光的数量的降低。

想象在传送带上分拣苹果的应用。开始时,分拣参数只有苹果的大小这一个参数。但是客户要求检查是否存在叶梗。该分析显示,为了必要的数,我们需要将目标物体的采样分辨率扩展两倍。



为了将目标物体的采样分辨率提高两倍,该图像传感器的分辨率必须增加四倍。这是众所周知的,也会四倍限制光的数量(同一束光流将分隔到四个像素)。但是,棘手的是我们需要确保原始系统的景深。要做到这一点,我们需要缩小光圈,这可以再次四倍限制光的数量。这意味着为了捕捉相同质量的目标物体,我们的曝光时间需延长至 16 倍,或者我们需要 16 倍强的光源。这会极大限制实时系统获得最大可能的分辨率。

一条重要原则是,为了能够快速捕捉扫描的目标物体,需要使用正确的分辨率。由于处理时间较短,您还可以节省一些时间。作为一种变通的方法,有些设备(例如 Photoneo 的 3D 扫描仪)可以在**中等和较高分辨率**之间进行切换以满足应用的需要。

为了对系统进行分类,我们将根据每次测量的平均 3D 点数或**XY 分辨率**确定这 5 个类别。

1. 非常低: ~100k 点
2. 较低: ~300k 点 (VGA)
3. 中等: ~1M 点
4. 较高: ~4M 点
5. 扩展: ~100M 点

分辨率的另一方面是检索深度信息的能力。虽然有些可伸缩的技术可以满足精确测量的需要(大多数的三角测量系统),但还有一些系统由于物理限制无法按比例缩小(如飞行时间系统)。我们将此称为**Z 分辨率**:

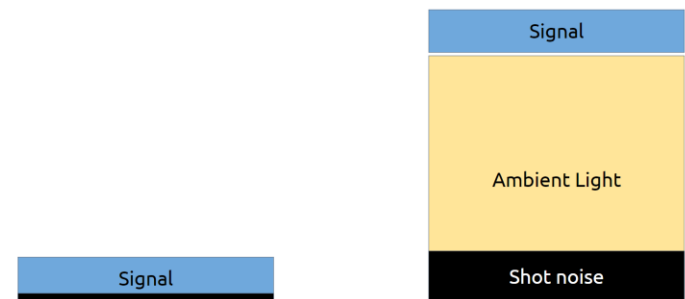
1. 非常低: >10 cm
2. 较低: ~2 cm
3. 中等: ~2 mm
4. 较高: ~250 um
5. 非常高: ~50 um

1. 漫射、纹理稳定的材料 (岩石等)
2. 漫射材料 (典型的白色墙面)
3. 半高光材料 (阳极电镀铝)
4. 高光材料 (表面抛光的钢材)
5. 镜面表面 (铬)

健壮性

虽然大多数系统可以提供合理使用寿命的组件, 并且在必要时采用具有足够保护等级或散热功能的外箱封装, 但是我们还是要提醒您注意一些不可避免的困难。例如, 一些系统依赖于外部光线 (如太阳光线或室内照明), 或者只能在有限的环境光线级别下运行 (光不属于系统运行的组成部分)。

环境光线会增加内部传感器报告的强度值, 以及增加测量的噪声。很多方法都试图使用数学 (如黑电平减法) 来达到更高的电阻率, 但这些技术效果相当有限。这些问题在于一种被称为“散粒噪声”或“量子噪声”的特定噪声。一般情况下, 据说如果平均有一万个光子到达像素, 那么这个数字的平方根一百就是不确定性的标准偏差。因此, 有时感知的光子数较多, 有时又会较少。



该问题在于环境照明的水平。如果由其引起的散粒噪声与来自系统主动式照明的信号电平相似, 则噪声电平上升。我们来确定一下设备可以运行的地方的**外部条件**:

1. 室内、暗房
2. 室内、屏蔽的工作容积
3. 室内、强烈的卤素灯光和打开的窗户
4. 户外、非直接照射的太阳光
5. 户外、直接照射的太阳光

当我们谈论**扫描不同材料**中的健壮性时, 决定性因素是在相互反射作用下工作的能力。

重量

设备的重量和大小会限制某些应用的使用。轻巧紧凑且功能强大的解决方案将允许您在任何地方进行安装。这就是为什么我们选择**碳纤维主体**的原因。除了其温度稳定性之外, 甚至可以为更长的基线系统提供照明。

1. 非常重: >20 kg
2. 较重: ~ 10kg
3. 中等: ~ 3kg
4. 较轻: ~ 1 kg
5. 非常轻: ~ 300 g

预算

到了最后, 您所研究的应用需要为客户带来价值。可以是解决一个关键问题 (可能是一个大预算问题), 也可以是使一个流程中的某个步骤更经济 (预算敏感)。价格的某些方面与特定的技术有关, 而另一些方面则是由典型的生产量、服务和所提供的支持确定。近年来, 消费市场已经有能力利用大规模生产引进价格低廉的 3D 传感技术。但在另一方面, 这些技术存在一些缺点: 缺乏定制和升级的可能性、健壮性欠缺、产品线实用性欠缺以及支持有限。

让我们根据以下的**价格**对 3D 视觉技术进行分类:

1. 非常高: ~100k 欧元
2. 较高: ~25k 欧元
3. 中等: ~10k 欧元
4. 较低: ~1000 欧元
5. 非常低: ~200 欧元

技术

我们已为市场上的每种主要技术制定类别。对于大多数类别，您会发现有多家公司有类似的产品。我们尽力选择了一个具有一般代表性的评价。每个类别的定位用雷达图表示。如果在某一特定类别中有更常见的技术变体，那么可以在同一个图表中对它们进行可视化以突出参数之间的相关性。我们提供的数据提供了丰富的信息，有助于对不同类别之间的差异获得原始的了解。

可形成两大组。三角测量作为计算 3D 数据最终技术的第一组，以及利用飞行时间原则主要由技术组成的第二组。

飞行时间 (TOF)

TOF 系统能够计算光线从光线发射器（通常在探测器附近）到被检查到的目标物体之间和返回探测器之间的旅行时间。使用 TOF 方法有两种独特的技术，LIDAR 或区域传感。

LIDAR

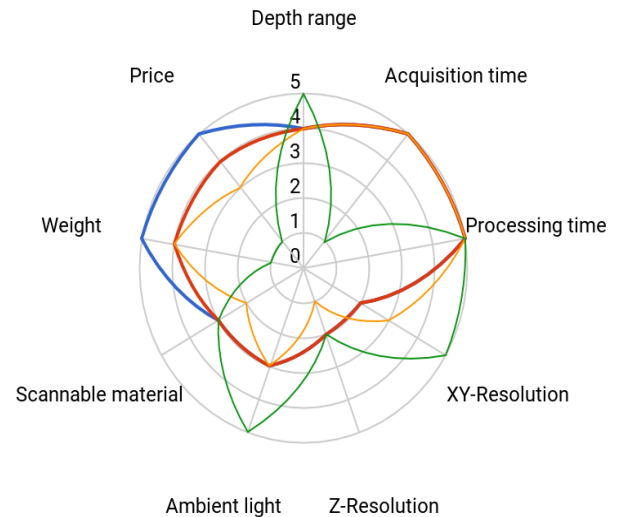
这些系统一次只取样一个（或几个）3D 点。在扫描过程中，它们改变传感器的位置或定向来扫描整个工作容积。

区域传感

另一方面，区域传感 TOF 系统使用一种特殊的图像传感器来测量 2D 快照中多次测量的时间。尽管它们不能提供像 LIDAR 这样的数据质量，但是非常适合只需要低分辨率的动态应用。区域传感 TOF 系统的另一个问题是场景各个部分之间的相互反射可能容易导致结果测量弯曲。近年来，通过使用主要针对人机交互而设计的基于消费者的价格低廉的系统，TOF 系统的受欢迎程度不断扩大。

TOF systems

- Consumer, Area sense
- Industrial, Area sense - option 1
- Industrial, Area sense - option 2
- LIDAR



基于三角测量

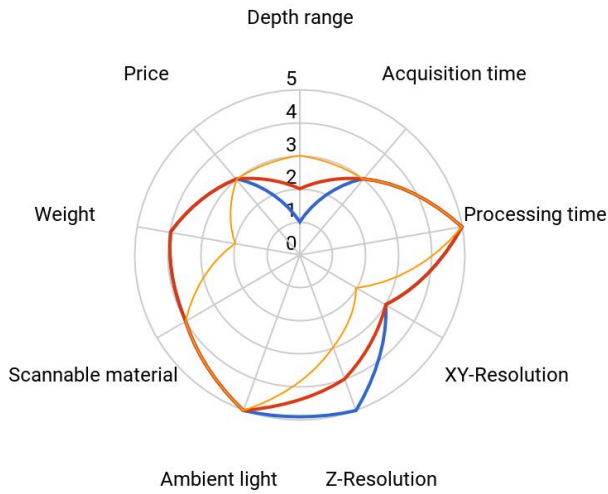
基于三角测量的系统从更多位置检查场景。这些位置形成了一条必须了解的基线。通过测量由基线和检查点形成的三角形的角度，我们可以计算出精确的 3D 坐标。基线的长度和检索角度的准确性严重影响系统的精密度。

激光三角测量（或轮廓测定法）

是最受欢迎的 3D 传感方法之一。将线轮廓（或点）投射到一个表面上。如果在不同的角度观察时，此轮廓变形。这种偏差会编码成深度信息。因为一次只能捕捉一个轮廓来构成整个快照，传感器或目标物体需要移动，或者激光轮廓需要扫描整个场景。

Profilometry

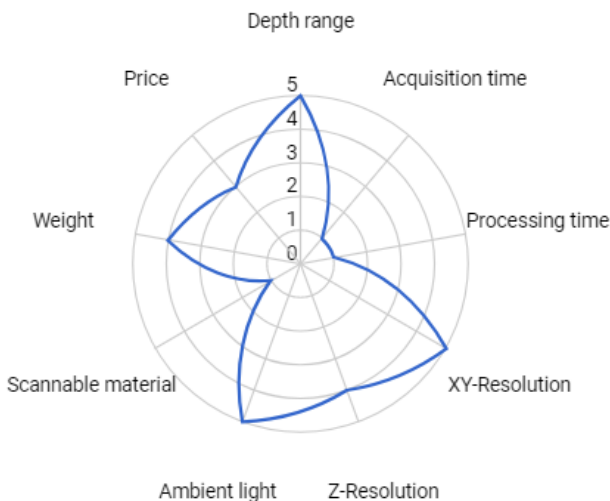
- With motion - option 1
- With motion - option 2
- Scanning laser



摄影测量法

是一种从大量未注册的 2D 图像中计算目标物体 3D 重建的技术。类似于立体视觉，尽管它在目标物体的自身纹理上传递，但可以从具有高基线的同一点的多个样本中获益。该技术可作为 LIDAR 系统的替代系统。

Photogrammetry

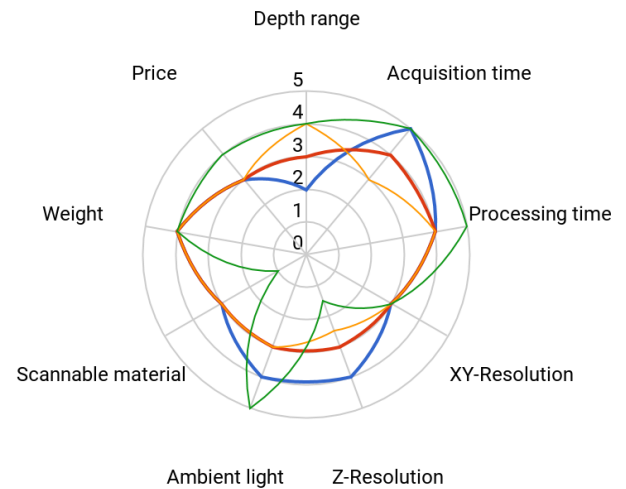


立体视觉

经典的立体视觉是基于两个模仿人类深度知觉的照相机。它通过匹配两个图像之间的纹理特征来检索深度信息。被动式 3D 立体视觉，由于其对目标物体材料的依赖性，可用于具有非测量特性的应用，如人数统计。

Stereo vision

- Active stereo - option 1
- Active stereo - option 2
- Active stereo - option 3
- Passive stereo



为了弥补这一缺点，开发了一个主动式立体视觉系统，该系统使用结构投影在表面创建一种人工纹理。

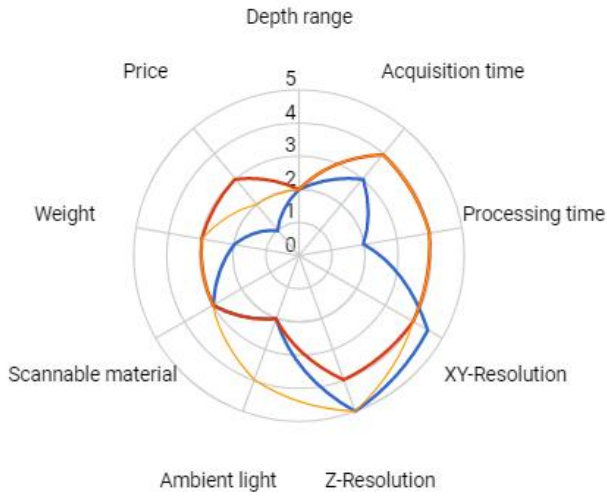
结构光法

由于能够捕捉场景的整个 3D 快照而无需移动部件，结构光法具备高水平的性能和灵活性。它使用一种复杂的投影技术创建一种编码的结构化模式，将 3D 信息直接编码到场景中。通过用相机和内部算法分析，该系统可在较短的采集时间内提供高水平的准确性和分辨率。

市场上可用的高分辨率结构光系统使用多帧，每帧投射不同的结构化模式。这可以保证每个像素的 3D 信息具有较高的准确性，但它要求场景在采集时是静态的。用于结构化模式投射的典型技术基于 DMD（数字微镜装置），最初用于消费者数字投影仪。这些系统通常使用白色或单色光线（如果对环境光电阻率有更高的要求，例如生产设施）。为大多数准确性驱动的应用设计的优化离线计量扫描仪主要适用于实验室条件。

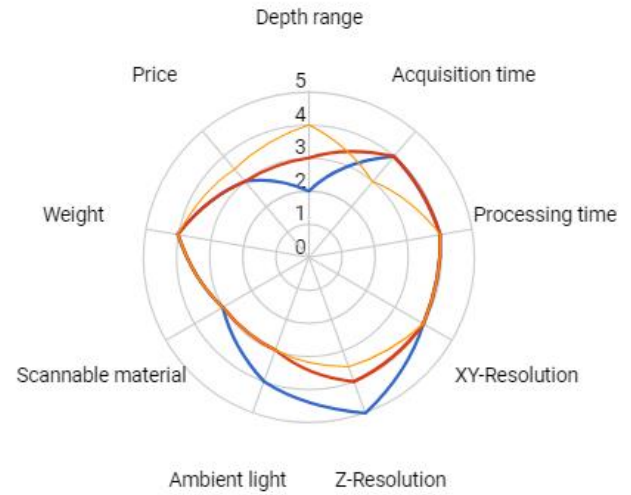
Structured light - Multiple frames with DMD projection

- White light DMD, offline inspection
- White light DMD, online inspection
- Monochrome DMD, online inspection



Structured light - Multiple frames with laser projection

- PhoXi 3D Scanner XS / S / M
- PhoXi 3D Scanner L
- PhoXi 3D Scanner XL

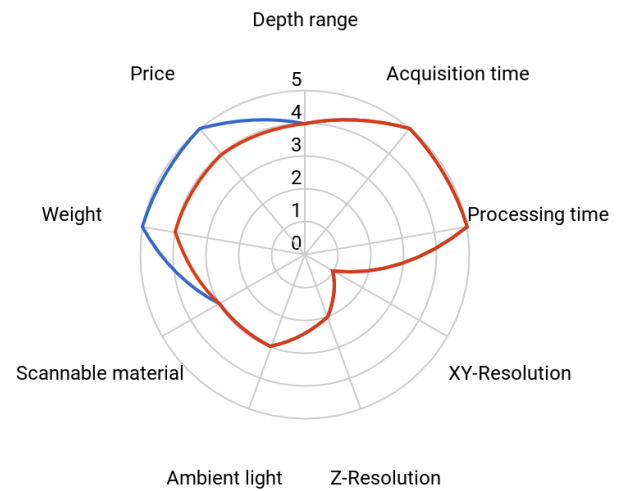


像 DMD 这样基于投射的方法其中一个最大的缺点是景深（深度范围）。为了保持投影仪的聚焦，系统需要较窄的光圈。这在光学上来说，并不高效，因为被阻挡的光线在投射系统中会产生额外的热量和内部反射。但事实上它确实限制了针对更高深度范围的技术的使用。在 Photoneo，我们已经使用激光创建结构化模式克服这问题。几乎无限的深度范围，还为使用窄带通滤波器屏蔽环境光线提供了可能性。

对于运动中的应用，必须使用一帧方法。传统技术是将多帧系统的区别性特征编码成一个结构化模式，对 XY 和 Z 分辨率有很大的影响。类似于 TOF 系统，本类别中有基于消费者的产品。

Structured light - One frame using structured pattern

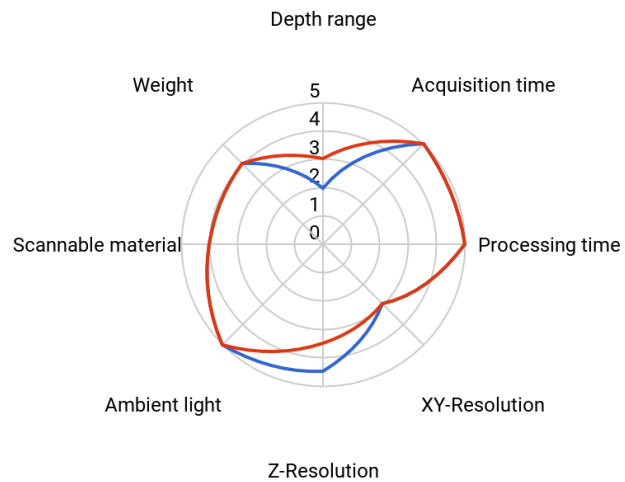
- Consumer
- Industrial



作为这一限制的解决方案，Photoneo 已经开发了一种新的一帧 3D 传感技术，利用快速的一帧采集 TOF 系统，为多帧结构化光系统提供常见的高分辨率。我们将其称为平行结构光，其运行要归功于我们独特的图像传感器。第一件作品将于 2018 年初面世，敬请期待。

Parallel structured light

- PhoXi 3D Camera S
- PhoXi 3D Camera L



如果您正在寻找一种可以为您的机器人应用提供快速、准确的高分辨率测量的万能技术，或者一个能够加速您的质量检验任务的 3D 传感器，请浏览我们的 3D 扫描仪系列，网址：www.photoneo.com。我们对于能使工业里最具挑战性的应用实现而激动不已。我们每天都在试图依循物理定律，充分利用每一个光子。这项工作的成果是我们新的 3D 照相机技术，该技术将把 3D 的边界推向一个前所未有的维度。