

SICK AG

白皮书

HDDM⁺——SICK 的创新距离测量技术

2017-11

作者

Thorsten Theilig 博士
远程距离传感器产品单元主管
SICK AG, Waldkirch/德国

总结

本白皮书描述了光学测距技术 HDDM⁺ 在各种应用中的众多优势。HDDM⁺ (升级型高分辨率距离测量) 是一种用于非接触式距离测量的高分辨率光飞行时间测量法, 既可用于距离传感器, 也可用于 2D 或 3D LiDAR 区域扫描传感器。该技术适用于室内与室外区域, 用于测量距漫反射物体和逆向反射型反射器的距离。采用 HDDM⁺ 的距离传感器针对逆向反射型薄膜的扫描范围可达 1.5 km。不同于“单脉冲”(single pulse) 或相位相关等技术, HDDM⁺ 是一种统计式测量方法。也就是说, 传感器以统计学方式分析多个激光脉冲的回波, 以计算距离值。此外, 还可凭借 HDDM⁺ 实现具有多重回波功能的传感器。如有多个回波, 则可识别到相关有效回波并加以评估。借此, 即使在恶劣环境条件下亦可实现高测量可靠性的距离测量。

目录

技术基础	2
光学距离传感器与 LiDAR 区域扫描传感器	2
飞行时间测量	2
相位相关测量法	3
光学脉冲飞行时间测量	3
HDDM+ 测量法	4

技术基础

光学距离传感器与 LiDAR 区域扫描传感器

光学距离传感器及 2D 和 3D LiDAR 区域扫描传感器(在英语中 LiDAR 是 light detection and ranging 的缩写)应用于各种不同工业领域。应用范围包括微米级距离测量(例如在电子制造业的质量控制中)、在机械与设备制造领域利用 2D 和 3D LiDAR 区域扫描传感器的多维目标检测和位置确定以及工业起重机或安全相关车辆的定位。根据距离范围、对测量准确度和重复精度的要求及环境条件,采用最适合具体应用情况的不同测量原理。

飞行时间测量

飞行时间测量(英语:time-of-flight measurement; ToF, 英语:time-of-flight)是用于确定与被测物体距离的间接方法。在该方法中,传感器向被测物体发射一条光束。该光束通常为波长在可见光或近红外光范围内的激光。传感器接收被测物体反射的光线。由于光速已知,根据光的飞行时间可算出传感器与被测物体之间的距离。

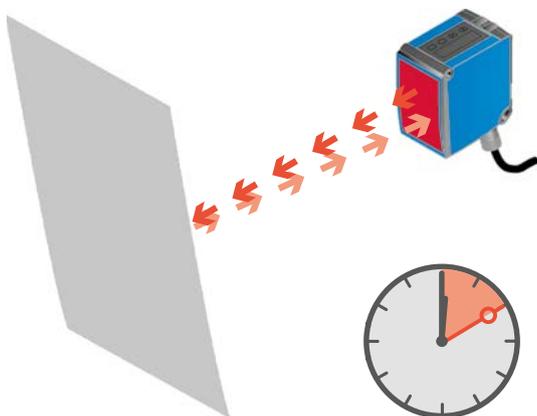


图 1: 飞行时间测量原理图。

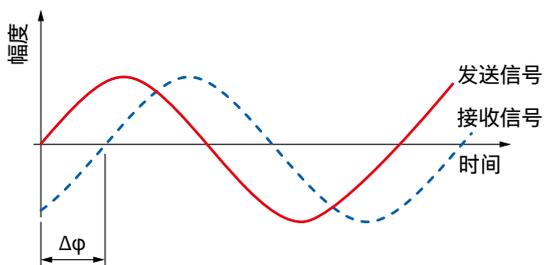
这种测距方法几乎不受被测物体的表面特性影响。因此,飞行时间测量不仅适用于一维测距,也适用于借助检测平面或立体角的 LiDAR 区域扫描传感器的多维测量。

目前,世界上用于工业应用的几乎所有 LiDAR 区域扫描传感器均根据以下原理工作:传感器的激光束检测其扫描范围内存在的目标;传感器的接收单元测量反射光。已知传感器发出和收到激光束的角度及飞行时间,得出检测范围的图像。

在飞行时间测量中经常使用的波长为 850 nm 和 905 nm 的红外线对人类不可见。这在很多应用中是一项巨大优势。例如,用于保护博物馆内艺术品的 2D LiDAR 区域扫描传感器便是采用红外线工作。在工作环境下,这种不可见的激光也不会造成干扰。为了将红外线距离传感器对准被测物体,通常会开启可见的校准激光。基于红外线的 LiDAR 区域扫描传感器的扫描范围往往借助外接红外成像仪可视化。通过可见光测距时,测量激光可直接用于传感器的机械校准。

相位相关测量法

在相位相关测量法中,传感器发出连续的幅度调制光束。传感器与被测物体之间的距离根据出射与入射光线之间的相位偏移调制确定。



$$s = \frac{a \cdot \lambda + R \cdot \lambda}{2}$$

a = 波长周期数

λ = 波长: $\lambda = c_v / f$

(c_v = 真空中的光速, f = 频率)

R = 单个波长的一小部分: $R = \Delta\phi / 2\pi$

($\Delta\phi$ = 相移)

s = 距离测量值

图 2: 相位相关测量法的工作原理。

相位相关测量法特别适合高精度快速测量与沿激光轴线连续移动的目标的距离。这种轴向目标跟踪法可用于例如全自动化高架仓库中存储和检索系统(堆垛机)的定位。距离传感器通常与存储和检索系统一起移动,并测量与通道末端位置固定的反射器的距离。

光学脉冲飞行时间测量

在脉冲飞行时间测量中,传感器发出短光脉冲,被测物体将其部分反射。传感器确定发射与接收脉冲之间的时间差并由此算出传感器与目标之间的距离。脉冲飞行时间测量分为确定性方法和统计方法。在确定性脉冲飞行时间系统(“单脉冲”)中,传感器发出单一激光脉冲并根据每个脉冲的飞行时间确定距离值。而统计脉冲飞行时间系统是在最短时间内发出一串脉冲。根据收到的一串回波用统计法算出距离值。因此,即使由于测量路径上的干扰丢失一串中的一个或多个回波,也能以较高的测量可靠性确定有效距离值。

与采用连续光束的相位相关测量法不同,脉冲飞行时间系统的单脉冲含有高出几个数量级的峰值功率。因此,脉冲飞行时间系统由于其工作原理对环境光(例如通常会在室外应用中出现)的鲁棒性可以更强。

HDDM+ 测量法

HDDM+ (升级型高分辨率距离测量) 是一种用于非接触式距离测量的高分辨率光飞行时间测量法, 既可用于距离传感器, 也可用于 2D 或 3D LiDAR 区域扫描传感器。作为成熟的 HDDM 技术的进一步发展, HDDM+ 适用于室内与室外区域, 用于测量与漫反射物体和逆向反射型反射器的距离。采用 HDDM+ 的距离传感器针对逆向反射型薄膜的扫描范围可达 1.5 km。不同于“单脉冲”或相位相关等技术, HDDM+ 是一种统计式测量方法。也就是说, 传感器以统计学方式分析多个激光脉冲的回波, 以计算距离值。

此外, 还可凭借 HDDM+ 实现具有多重回波功能的传感器。在有些应用中, 传感器由于光束的多次反射收到多个回波。产生此类(干扰)回波的可能原因有例如穿过其测量的防护玻璃、雨、雪、雾或灰尘。

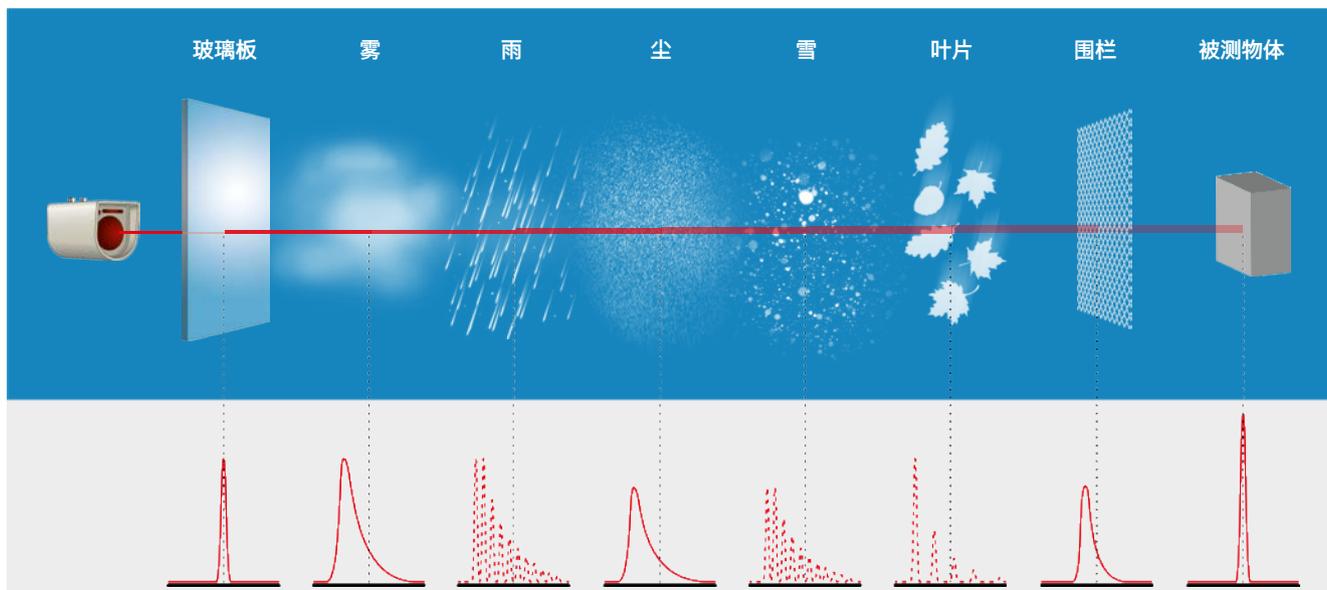


图 3: 图中所示为 SICK 距离传感器 Dx1000 的多重回波功能, 其在每次测量中可区分因测量路径沿线的反射而产生的最多 8 个回波。

在收到的回波中, 通常只有一个代表传感器与被测物体之间的真实距离。其余回波可能导致错误测量。对于 Dx1000 距离传感器和 MRS1000 3D LiDAR 区域扫描传感器, 当存在多个回波时, HDDM+ 技术的多重回波功能允许识别相关有效回波并仅对此进行评估再传送至相连控制系统。不需要的回波可以被消除。

以 Dx1000 距离传感器为例, SOPAS ET 用户界面允许将检测到的回波作为目标距离函数在 PC 上以图形方式直观显示并选择有效回波。为此可定义一个“兴趣区”(ROI)。评估 ROI 里面的回波; 放弃外面的回波。这样便可实现穿过栅栏测量与远处被测物体的距离, 方法是设置被测物体的有效回波位于其内、围栏的回波位于其外的 ROI。另外, 还可选择存在于所选 ROI 之内的第一个或最后一个回波进行评估。

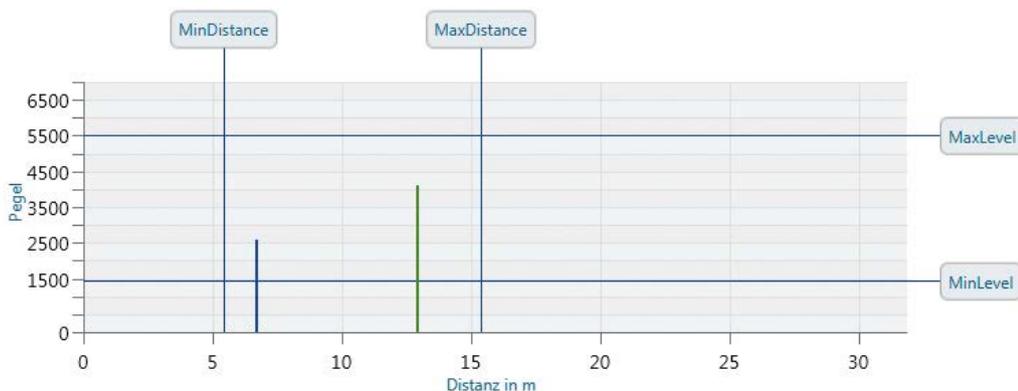


图 4: SICK 距离传感器 Dx1000 兴趣区的图示和设置。

因此, 即使面对反光表面也能实现距离测量。铝水液位测量就是一个例证。当铝水缺少氧化膜时, 距离传感器的激光将被镜子般的表面定向反射。对于传统的激光测距传感器, 光束直接反射进光学接收元件通常将导致错误测量和故障。为了避免这种情况, 通常将距离传感器偏离表面法线几度对准。传感器仍可收到被测物体的一个回波。但因为相当一部分光束被反光表面从传感器的光学接收元件旁反射到背景中, 所以传感器收到的通常是由背景反射(例如车间顶棚)产生的第二个回波。对于采用飞行时间技术的传统距离传感器, 同时检测两个回波在大多数情况下都将导致错误测量乃至故障。而凭借 HDDM+ 的多回波技术可识别并通过适当设置 ROI 消隐干扰回波, 从而实现以较高的测量可靠性测量到反光表面的距离。

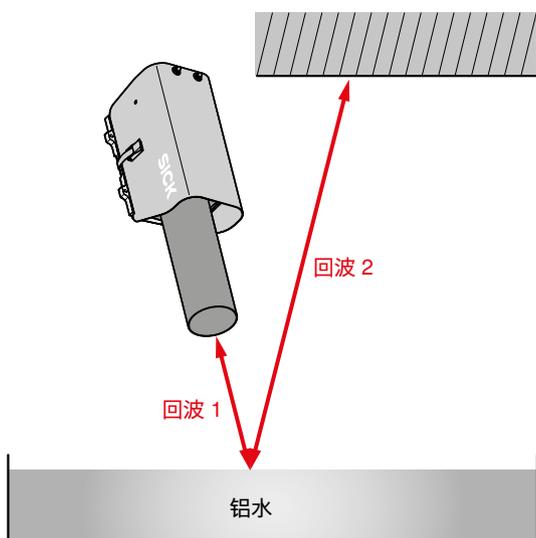


图 5: 测量到铝水表面的距离时的多回波情形。

在 LMS1000、MRS1000 和 TiM100 等 LiDAR 区域扫描传感器中, HDDM+ 技术的多重回波功能允许极其精确地显示物体边缘。若测量激光以其有限大的光点蹭到物体边缘, 位于其后的物体通常将产生第二个回波。HDDM+ 的多重回波功能可靠防止混淆这两个回波并提供物体边缘的精确图像。

配有 HDDM+ 的距离传感器和 LiDAR 区域扫描传感器特别适合在室外区域使用。其对环境光和测量路径上的降水、雾气或灰尘有较高的鲁棒性。对环境光的不敏感性源于对回波的统计评价。由于环境光在光电二极管中产生的高感应电流而引起的错误回波在单脉冲测量方法中可能导致错误测量,在此则被有效滤出。为了在下雨或下雪的情况下不受干扰地测量,凭借多重回波功能还可有效滤出测量激光的短时反射。此外,HDDM+ 技术允许有效抑制测量范围内的雾气或灰尘带来的不必要反射。

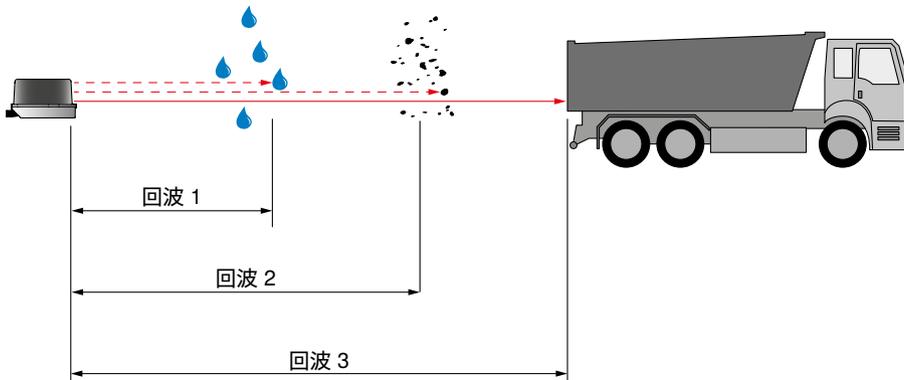


图 6: SICK LiDAR 区域扫描传感器 LMS1000 和 MRS1000 的多重回波功能在测量路段沿线有灰尘、雨雪或雾气时的原理图。

在港口,通过使用 3D LiDAR 区域扫描传感器 MRS1000 持续监控行驶区域可避免例如轮胎龙门吊 (rubber tired gantry, RTG) 发生碰撞。多重回波技术允许可靠区分雨水或雾气的干扰回波与集装箱和行驶区域内其他障碍物的回波。从而在可靠避免碰撞的同时实现高可用性。

HDDM+ 还允许通过适当选择测量循环时间使距离传感器的扫描范围与个性化应用相适应。在现有技术下,适用于高动态应用的最短测量循环时间为 1 ms。若测量的焦点在于大扫描范围和尽可能高的重复精度,则可通过延长测量循环时间予以实现。借此可在测量到自然物体的距离时根据被测物体的反射比实现数百米的扫描范围。DL1000 距离传感器在一千五百米的距离下也能可靠识别“钻石级”反光膜等反射器。同时,该传感器还能在 20 cm 的最短距离下进行测距。凭借 HDDM+ 技术,在信号电平迥异的情况下也能可靠确定低噪声的距离信号。

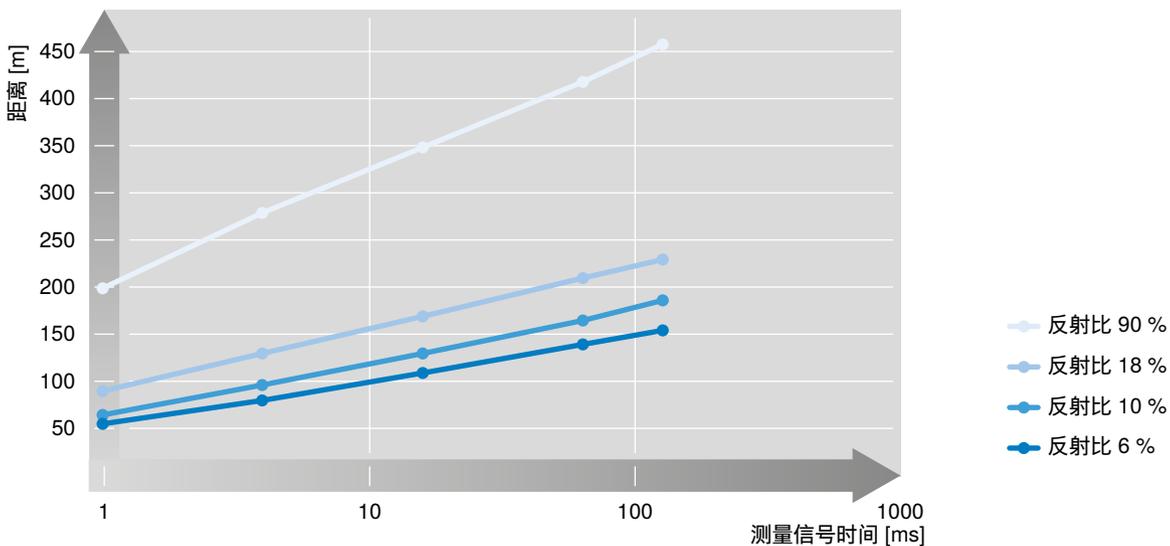


图 7: SICK 距离传感器 DT1000 可通过设置测量循环时间在测量到自然物体(即非逆向反射型物体)的距离时使扫描范围与具体应用相适应。反射比表示测量激光在被测物体上的反射程度(视物体而定)。

HDDM+ 也特别适合到高温表面的测量,例如用于钢水的液位测量或连铸时的钢锭定位。当物体温度超过约 700 °C 时,将根据发射率不同以红外线的形式发出一大部分热辐射。在传统的基于红外光的飞行时间法中,这可能导致错误测量乃至传感器失灵。

相位相关测量法主要适用于轴向目标跟踪,而借助 HDDM+ 不仅能检测不断改变的距离,还可记录突然的距离变化。例如当目标从侧面进入距离传感器的测量激光或使用 LiDAR 区域扫描传感器检测目标时,便会突然出现距离变化;在后一种情况下测量激光将覆盖存在于检测范围内的目标。基于确定性脉冲飞行时间法的 LiDAR 区域扫描传感器给每一个激光脉冲分配一个距离值。与此相比,采用 HDDM+ 技术的 LiDAR 区域扫描传感器将每段角度的大量激光脉冲与激光光点重叠,进而无间隙采样扫描区域。

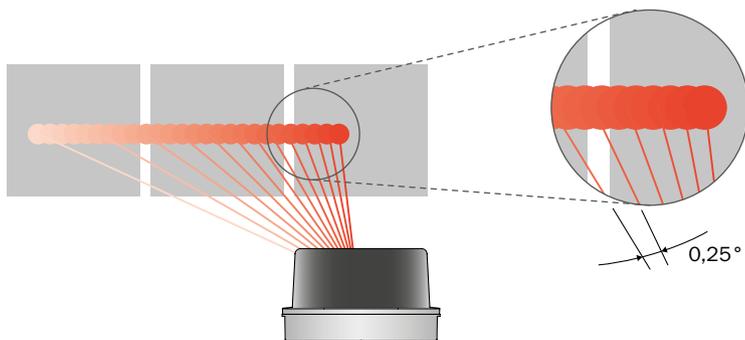


图 8: 以 SICK LiDAR 区域扫描传感器 MRS1000 为例的无间隙采样扫描区域。

参考

→ www.sick.com/micron-to-mile