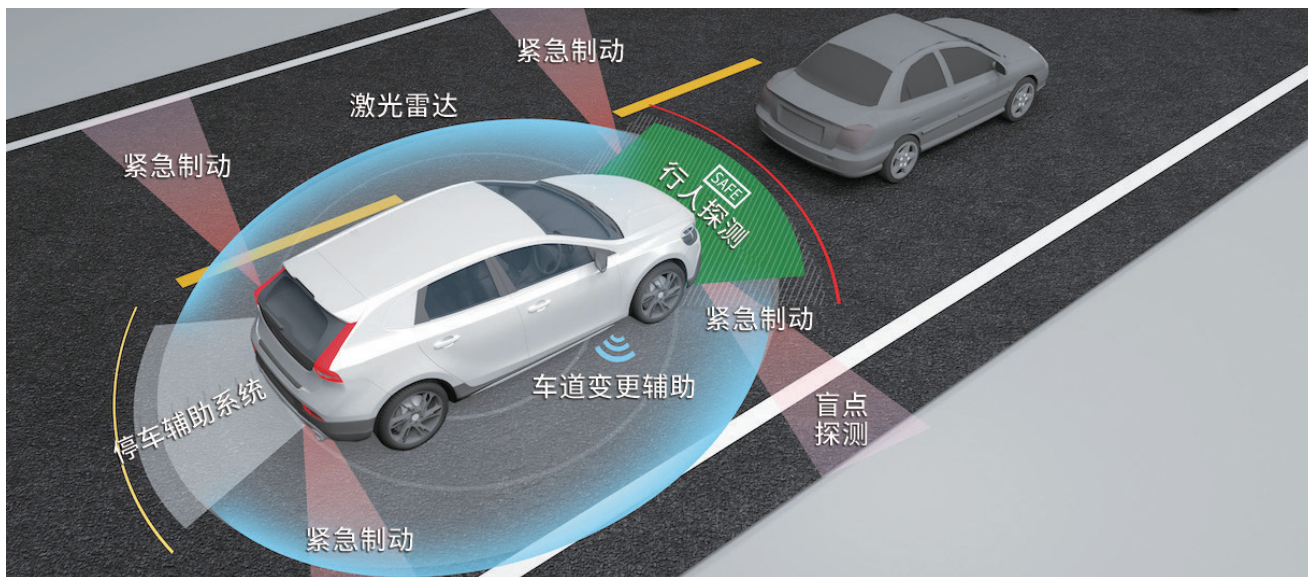


# LiDAR 如何在汽车应用中实现深度感测？

□ 作者：Joseph Notaro，安森美全球汽车战略和业务拓展副总裁



**L**iDAR 的全称是 Light Detection and Ranging（激光探测及测距），是一种利用激光感测距离的方法，它会测量激光从物体反射回来所用的时间而达到测距的目的。根据具体应用，可以使用不同的波长，但最常用的是红外线 (IR)。

大多数时候，人脑擅长推断物体的相对深度/距离和大小，这是人类的一种本能，尤其是在驾驶车辆时。但成像系统却很难做到这一点，尤其是标准图像传感器是用 2D 图像表示 3D 场景。在类似于人眼的立体布局中使用两个图像传感器，能够提取深度数据，但测距精度有限，并且会受到环境光线的影响。使用 LiDAR 获得深度数据就可以在不依赖光线条件的情况下实施测量，并消除图像的模糊问题，从而做到场景中区分及理解不同物体。将发射到物体后反射回来的光脉冲与精准定时测量相结合，可以计算出物体的距离。

LiDAR 在汽车领域的应用十分广泛，尤其是用于 SAE 级别为 L3~L5 的半自动驾驶车辆，例如感测车辆周围的物体、在高速公路上看到数百米外的前方。除了汽车行业，LiDAR 在其他需要自主感知的领域也有着非常广泛的应用。例如，应用于以高精度快速生成可处理的 3D 深度图的户外应用情景；农业领域使用 LiDAR 测量田地或土地，绘制地图、评估作物状况；智能工厂在自动引导车 (AGV) 上使用 LiDAR，运输原材料进行加工，并将成品运送到发货区。

## LiDAR 的类型

最常见的 LiDAR 类型是直接飞行时间 (dToF) 系统，其背后的原理非常简单：测量光脉冲到达目标并返回传感器所用

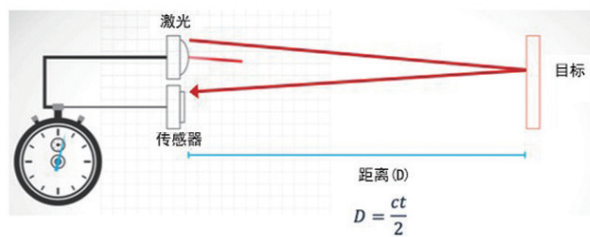
的时间。光速是一个已知的物理常数，因此计算发射器 / 探测器和反射目标之间的距离十分简单。

该技术通常使用由光源（最常见的是激光器）发射的单个非常短的脉冲，发射时会激活一个精确的计时器。当光脉冲击中中范围内的物体时，它将反射回到通常与激光器并置排列的高灵敏度光传感器。一旦探测到返回脉冲，计时器就停止计时，这时可读取到达物体并返回所用的时间。只要知道从发送脉冲到收到回波经过的时间 (t)，使用光速常数 (c) 计算到目标物体的距离 (D) 就很简单了。

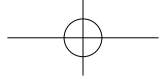
dToF 方法快速有效，可以测量多个回波，因此能够探测 LiDAR 视野内的多个物体。它能够用于远程和近程 (0.1m~300m) 应用，并且在整个范围内保持稳定的高精度。

另一种 LiDAR 方法称为间接飞行时间 (iToF)，同样使用来自激光的连续光波。这种方法不会直接测量经过的 ToF，而是根据已发射和已接收波形之间的相位差来确定 ToF。

iToF 技术更适合相对短的距离测量 (< 10m)，尤其是光线条件没有室外那么具有挑战性的室内应用，室外的对比度通



dToF 可测量光到达目标并返回所需的时间



常要高得多。该技术只能探测到最强的回波，因此只能探测单个物体。

第三种 LiDAR 是调频连续波（FMCW），适合近程和远程测距。该技术用可调谐激光器来产生连续光波，所产生的光波将在探测器处与反射光混合。这种混合可在本地波形和反射波形之间产生拍频，由此计算出物距和方向速度。

虽然 FMCW 既有出色的测距性能，还能捕获方向速度信息，但由于要使用带有偏振控制的可调谐激光器，并且依赖短波红外波长（要求激光器和探测器使用特殊半导体），这种 LiDAR 系统的总体成本大大增加。

### “波长大辩论”

围绕 LiDAR 最有争议的话题之一是使用哪种波长。IR 的使用优先于可见光，因为背景 IR 要少得多，所得信噪比（SNR）更好，从而使探测返回光变得更加容易。

IR 光谱范围内有多个合适的波长，包括近红外（NIR）光谱（850nm、905nm、940nm）和短波红外（SWIR）光谱（1350nm、1550nm）。决定具体使用哪种波长是“波长大辩论”的关键议题，有三个最重要的标准需要考虑，分别是系统的性能、是否有合适的组件和系统的总体成本。

探测器是任何 LiDAR 系统中最基本的组件之一。CMOS 硅基探测器可探测到波长在 400nm 至 1000nm 范围内的光，因此其对可见光和 NIR 光敏感，但不能感测 SWIR 光。为了探测 SWIR 光，就必须使用 InGaAs 合金等 III/V 族半导体，与硅相比，InGaAs 合金非常昂贵。

组件可用性是另一个考虑因素，尤其是就激光发射器而言。边缘发射激光器（EEL）正逐渐为垂直腔面发射激光器（VCSEL）所取代，后者更容易封装成阵列，并且在整个温度范围内波长稳定。虽然 VCSEL 目前的能效较低，价格也较高，但随着它们应用范围的不断拓展，这种情况有望得到改善。

尽管 SWIR EEL 有多家供应商，但目前 SWIR VCSEL 只有一家供应商，而 NIR VCSEL 也有多家供应商。因此，选择 NIR 更有可能提高供应链的安全性。

除此之外，探测范围很重要，因为这能够增加可用的反应时间，从而提高安全性。但激光过强会伤害眼睛，因此 IEC 60825 规定了 1ns 激光脉冲的最大容许照射量（MPE）。

虽然 NIR 必须具有较低的 MPE，但如果脉冲宽度缩短，则可以提高激光功率，而由于使用灵敏的探测器，可以达到最长 300m 的测距范围。在天气好的时候，SWIR 的测距范围将超过 NIR，但是 SWIR 更容易受到湿气（如雨或雾）的不利影响，因此基于 NIR 的系统性能下降速度将低于 SWIR 系统，从而可以在各种天气条件下提供更一致的性能。

基于以上所述，通常认为 NIR 是汽车 LiDAR 的首选波长。NIR 使得感测可以使用硅基器件，而不是 InGaAs 等更加昂贵的材料。可能更重要的是，相关组件可以从多个供应商处获得，有助于建立起更强大的供应链。虽然 NIR 和 SWIR 在工作时都能够确保人眼安全，但 NIR 在使用较低功率激光的同时，仍然能够满足汽车 LiDAR 的要求。

从商业角度来看，NIR 的成本要低得多，而成本一直是汽车应用方面的一个重要考虑因素。IHS Markit 的一项调查（Amsrud, 2019）显示，激光器和探测器的每通道成本约为 4 至 20 美元，而对于类似的 SWIR 系统，每通道成本约为 275 美元。即使有了进一步发展、容量增加，但预计 NIR 的成本仍将比 SWIR 低 10~100 倍。

### LiDAR 构成技术

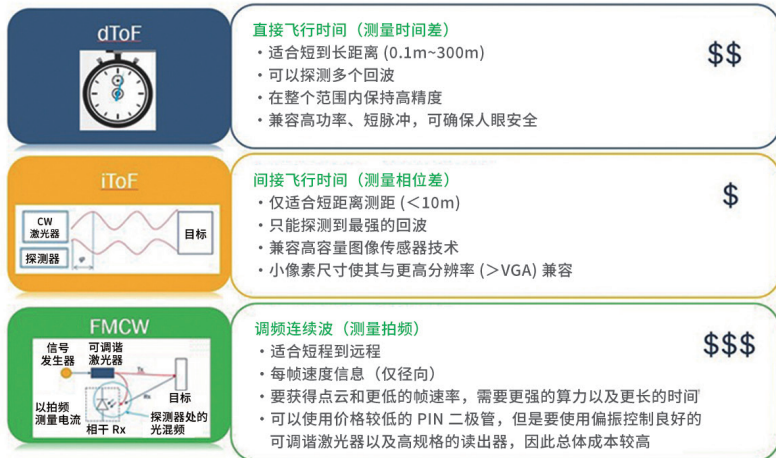
任何 LiDAR 系统最重要的元件之一是可捕获和量化反射激光的感测元件。虽然可以使用多种技术来实现这一点，但硅光电倍增器（SiPM）通常表现最好，这主要是因为它能够以近似 1,000,000 数量级的高增益来探测单个光子。

因此，近年来 SiPM 的应用越来越广泛，已然成为 LiDAR 深度感测应用的首选传感器。与雪崩光电二极管（APD）等传统探测器（不仅增益低得多，还需要对传入信号进行积分）相比，这些器件能够在高对比度条件下为长距离测距提供高 SNR 性能。其他优势包括电源偏置更低、均匀性更好，以及对温度变化的灵敏度降低等，使得 SiPM 成为使用 APD

的系统的理想升级选项。SiPM 灵敏度更高，可以使用小封装光模块，因此使 LiDAR 更容易集成到车辆中。由于 SiPM 采用高容量 CMOS 工艺生产，这些高性能器件的探测器成本最低，进一步推动了 LiDAR 的普及。

### 结语

LiDAR 是一项有着重要意义的技术，因为它的扫描系统能够快速准确地确定深度，既可以进行单点扫描，也可以绘制物体或大型场地的 3D 图。在规划 LiDAR 设计时，关键是要决定使用哪种 IR 光波长。综合考量性能、是否有合适的组件和商业因素，NIR 通常是首选。在大多数 LiDAR 实现过程中，激光光源可能相对简单，但探测器的选择对系统性能有很大影响。



基于 LiDAR 的深度感测方法比较