

自动驾驶系统设计中的LIDAR： 用于对象分类？ 还是对象检测？

Sarven Ipek, 现场应用工程师
Ron Kapusta, 现场应用工程师

感知我们周围的世界是非常具有挑战性的。了解对象检测和分类的设计要求可以帮助我们实现安全且经济高效的解决方案。

全自动驾驶的未来已不再遥不可及。如今，与自动驾驶相关的问题主要围绕让自动驾驶成为现实所需的底层技术和技术进步来展开。在支持向自动驾驶应用过渡方面，光探测和测距(LIDAR)技术是讨论最多的技术之一，但仍存在诸多问题。测距范围大于100米，角分辨率达到0.1°的LIDAR系统仍然是自动驾驶技术新闻的主要关注点。但是，并非所有自动驾驶应用都需要这种级别的性能。泊车助手和街道清扫就是其中两个。目前有大量景深测量技术可以实现这些应用，例如无线电探测和测距（雷达）、立体视觉、超声波探测和测距，以及LIDAR。但是，这些传感器每种都在性能、大小和成本之间做了特殊的取舍。超声波器件最为经济高效，但其范围、分辨率和可靠性都有限。雷达的检测范围和可靠性得到大幅提升，但它的角分辨率存在限制；此外，立体视觉的计算成本非常高，而且如果不能妥善校准，则精度非常有限。而精心设计的LIDAR系统具有精准的景深测量、出色的角分辨率和复杂度较低的工艺，即使在长距离下也是如此，所以能够

帮助弥补这些不足。但是，LIDAR系统一般体积大，成本高，这些缺点需要改进。

LIDAR系统设计首先要确定系统需要探测的最小目标、该目标的反射率，以及该目标的距离。上述这些因素会定义系统的角分辨率。由此可以计算得出可达到的最小信噪比(SNR)，即检测对象所需的真/假阳性或阴性检测标准。

了解感知环境和必要的信息量，作出适当的设计权衡，从而开发出成本和性能最佳的解决方案。例如，一辆自动驾驶汽车以100km/h (~62 mph)的速度在道路上行驶，而自动机器人则以6 km/h的速度在步行区或仓库中移动。在高速情况下，我们可能不但需要考虑以100 km/h的速度行驶的车辆，还需要考虑以相同速度对向行驶的另一车辆。对于感测系统来说，这相当于一个物体以200 km/h的相对速度接近。对于LIDAR传感器来说，检测对象之间的最大距离为200 m时，两车之间的距离在一秒内便会缩短25%。应该注意的是，在进行规避时，汽车的速度（或与对象之间的非直线逼近速度）、刹停距离和动力学这些复杂因素会因具体情况而异。一般来说，高速应用需要采用检测距离更长的LIDAR系统。

分辨率是LIDAR系统设计中的另一个重要系统特性。精细的角度分辨率使LIDAR系统能够从单一对象接收多个像素的返回信号。如图1所示，在200米范围内，1°角分辨率会转换成每侧3.5米像素。这种像素尺寸比需要检测的许多对象的像素大，会带来多重挑战。首先，我们通常使用空间平均法来改善SNR和检测能力，但是如果对象只有一个项目，这种方法并不适用。此外，即使能检测到，我们也无法预测对象的体积大小。道路碎片、动物、交通标志和摩托车，这些通常都小于3.5米。与之相比，角分辨率为0.1°的系统的像素要小10倍，在距离为200米时，可以在平均宽度的汽车上测量到大约5个相邻的返回信号。大多数汽车都是宽度大于高度；所以，这个系统很可能能够区分汽车和摩托车。

要检测对象能否安全行驶，除了方位角之外，需要采用更细微的仰角分辨率。现在想象一下，自主真空机器人的要求会有多么不同，因为它移动缓慢，需要检测细高的物体，比如桌子腿。

在定义行驶距离和速度，且确定对象和后续的性能要求之后，即可确定LIDAR系统设计的架构。您可以做出多种选择，例如扫描与闪光、直接飞行时间(ToF)与波形数字化，但本文暂不讨论它们各自的取舍。无论选择哪一种架构，ADI丰富的高性能信号链和电源管理组件产品系列（用蓝色突出显示，参见图2）会提供所需的构建块，帮助设计存在不同限制（例如外形大小和成本）的系统。

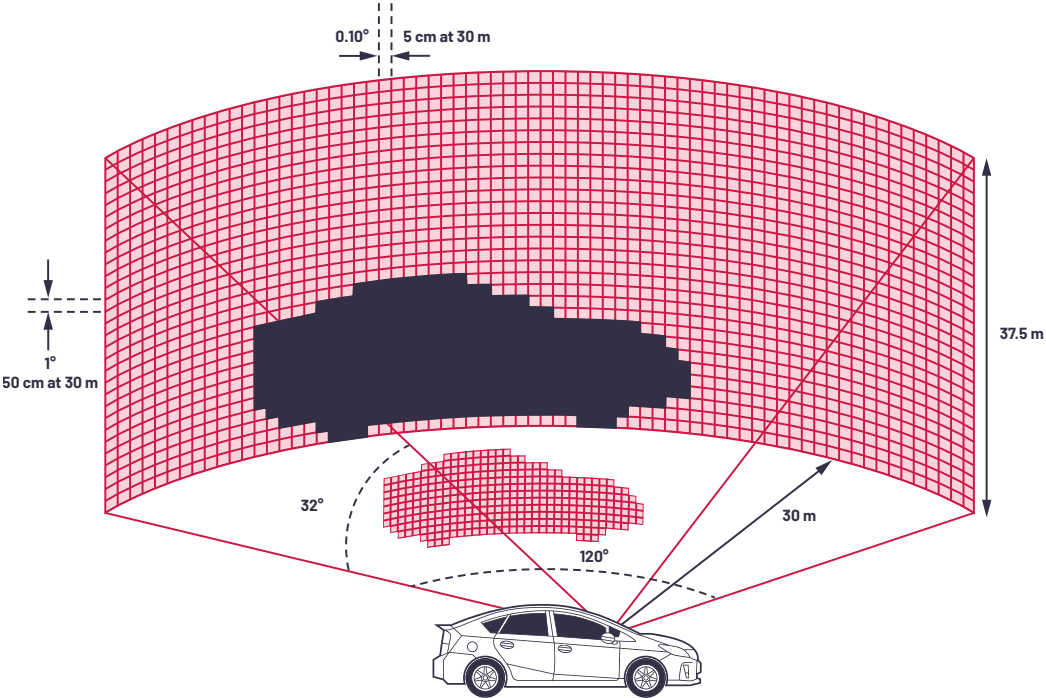


图1. 拥有32个垂直通道的LIDAR系统按照1°角分辨率水平扫描环境。

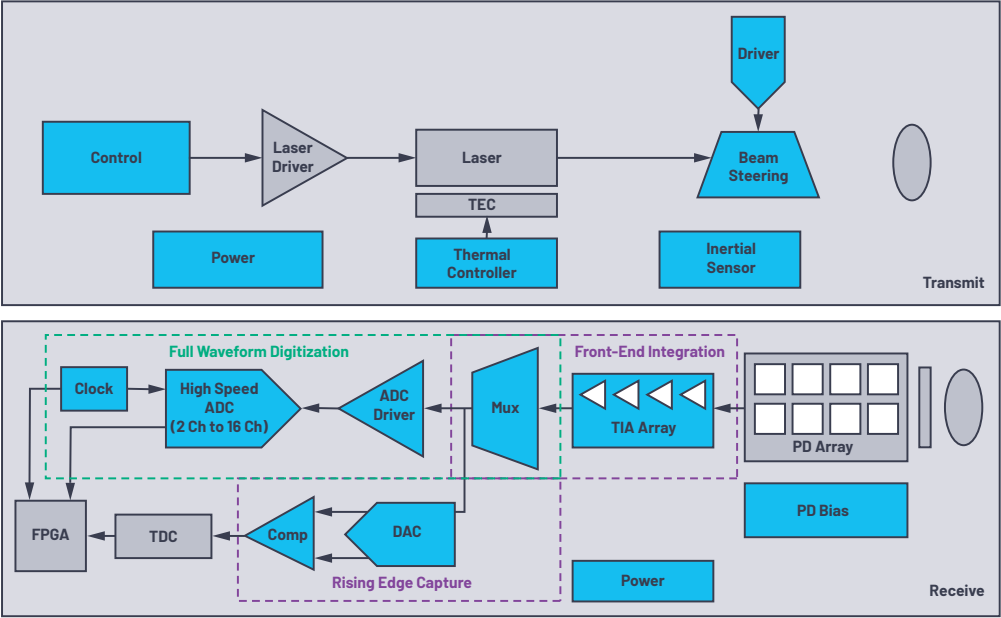


图2. LIDAR系统的分立式组件。

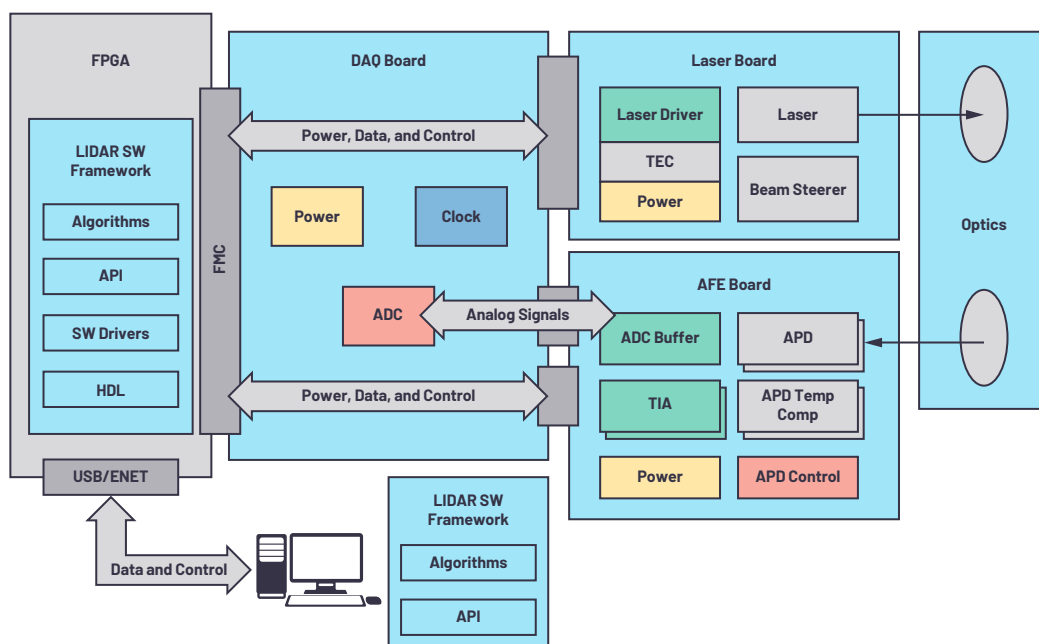


图3. ADI公司的AD-FMCLIDAR1-EBZ LIDAR开发解决方案系统架构。

AD-FMCLIDAR1-EBZ是高性能的LIDAR原型制作平台，也是905 nm脉冲直接ToF LIDAR开发套件。使用这个系统可以快速构建机器人、无人机、农业和建筑设备，以及采用1D静态闪光配置的ADAS/AV的原型。这个参考设计中选用的组件主要是针对长距离脉冲LIDAR应用。该系统采用905 nm激光源，由高速、双通道4 A MOSFET ADP3634驱动。它还包括由可编程电源LT8331供电（用于生成APD电源电压）的First Sensor 16通道APD矩阵。包括多个低噪声、高带宽的4通道LTC6561 TIA，一个AD9094 1 GSPS、8位ADC，其在通道上的功耗最低，为435 mW/通道。我们需要继续增大带宽和采样速率，以帮助提高整个系统的帧率和范围精度。与此同时，需要最大限度降低功耗，这是因为散热减少可以简化热/机械设计，从而帮助减小外形大小。

范围（或深度）、精度都与ADC采样速率相关。距离测量精度使得系统能够准确获知与对象之间的距离，对于需要近距离移动的场景（例如停车或仓储物流），这非常重要。此外，可以根据范围随时间的变化来计算速度，这种用例对范围测量精度的要求更高。采用简单的阈值算法（例如直接ToF）时，1 ns采样时段（也就是，使用1 GSPS ADC）的范围精度可达到15 cm。计算公式为 $c(dt/2)$ ，其中c表示光速，dt表示ADC采样时段。鉴于包含ADC，所以，可以采用更复杂的技术（例如插值）来改善范围测量精度。据估计，大约可以将范围测量精度提升SNR的平方根。匹配滤波器是用于处理数据的性能最高的算法之一，它可以在插入之后最大化SNR，以得出最高的范围测量精度。

EVAL-ADAL6110-16，一款高度可配置的评估系统，可以辅助实施LIDAR系统设计。它为需要实时(65 Hz)检测/跟踪对象的应用（例如防撞、高度监测和软着陆）提供简单但可配置的2D闪存LIDAR深度传感器。



图4. 使用集成式16通道ADAL6110-16的EVAL-ADAL6110-16 LIDAR评估模块。

参考设计中使用的光学器件为我们提供了37°（方位角）和5.7°（仰角）的视野(FOV)。在方向角的16像素线性矩阵中，20米像素大小相当于普通成人的体型，为0.8米（方向角）×2米（仰角）。如前所述，不同的应用可能需要不同的光学配置。如果现有的光学器件不能满足应用需求，可以轻松从壳体上取下印刷电路板，并将其集成到新的光学配置中。

该评估系统以ADI的ADAL6110-16为核心，这是一款低功率、16通道的集成式LIDAR信号处理器(LSP)。该器件为相关的照明区域提供时序控制和对接收的波形采样的时序，且能对获取的波形实施数字化。ADAL6110-16集成了敏感的模拟节点，可以帮助降低本底噪声，使系统能够捕获非常低的信号返回，而不是采用相同的信号链（采用设计参数相似的分立式组件，其中rms噪声可能主导整个设计）。此外，使用集成信号链可以减小LIDAR系统设计的尺寸大小、重量和功耗。

系统软件使其能够快速正常运行，以实施测量和与测距系统配合使用。它是完全独立的，通过USB提供的单个5 V电源运行，可以轻松与配备机器人OS (ROS)驾驶员的自动驾驶系统集成。用户只需创建一个连接器，将头端与机器人或车辆连接，即可通过以下四种通信协议进行通信：SPI、USB、CAN或RS-232。可以根据不同的接收器和发射器技术对参考设计实施修改。有关EVAL-ADAL6110-16和ADAL6110-16 LSP的更多信息，请访问analog.com/LIDAR。

如前所述，可以更改EVAL-ADAL6110-16参考设计的接收器技术，以构建图5至图7所示的不同配置。EVAL-ADAL6110-16采用Hamamatsu S8558 16元件光电二极管矩阵。表1中显示的不同距离下的像素大小是基于有效像素大小，即0.8 mm×2 mm，以及20 mm的焦距镜头。例如，如果使用单个光电二极管（例如Osram SFH-2701）来重新设计这个板，且每个光电二极管的有效面积为0.6 mm×0.6 mm，那么相同范围内的像素大小会大为不同，因为FOV会随像素大小而改变。

表1. EVAL-ADAL6110-16中使用的接收器大小和光学器件，以及将接收器更换为SFH-2701之后，可能的像素排列

	EVAL-ADAL6110-16参考设计的像素尺寸和范围				
	光学FOV	选择原因	20 mm	40 mm	60 mm
使用Hamamatsu S8558的EVAL-ADAL6110-16	37° × 5.7°	检测相距20米的普通成人	0.8 × 2	1.6 × 4	2.4 × 6
使用Osram SFH-2701 16像素的EVAL-ADAL6110-16	像素排列发生变化	像素是2个2L水瓶在5米时的尺寸	0.6 × 0.6	1.2 × 1.2	1.8 × 1.8

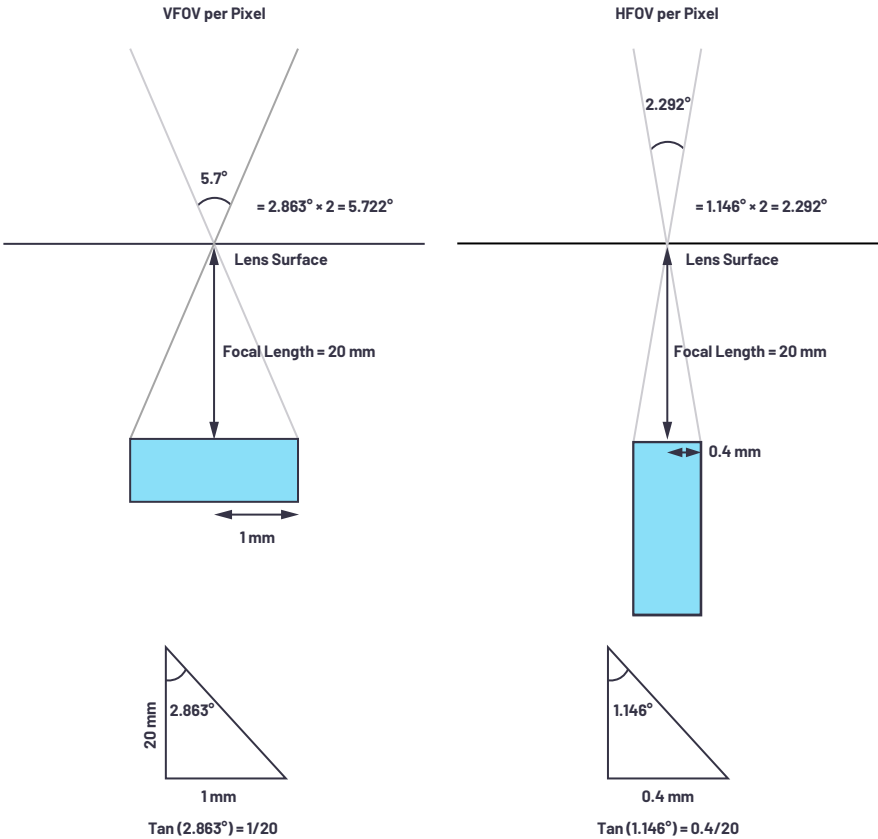


图6. 使用简单的光学器件实施的基础角分辨率计算。

例如，我们来回顾一下16个像素配成一行的S8558，各像素尺寸为：2 mm×0.8 mm。

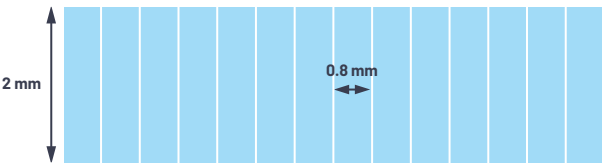


图5. Hamamatsu S8558 PIN光电二极管矩阵的尺寸。

选择20mm焦距镜头后，可以利用基本三角函数计算出每个像素的垂直和水平FOV，如图6所示。当然，选择镜头时还需要考虑其他更复杂的因素，比如像差校正和场曲率。但是，对于这样的低分辨率系统，一般只需要进行简单计算。

所选的1×16像素FOV可用于自动驾驶车辆和自动地面车辆的对象检测和防撞等应用中，或者使受限环境（例如仓库）中的机器人实现同步定位和映射(SLAM)。

有一种独特应用，需要配置4×4网格矩阵，以检测系统周围的物体。这个正在开发中的应用将被安装在大客车和RV中，作为车辆的安全器件，可以在车辆近旁有行人行走时向驾驶员发出警报。该系统可以检测行人行走的方向，提醒驾驶员刹停车辆或按喇叭提醒行人，以防撞倒行人或自行车骑行者。

注意，并非每种应用都需要0.1°的角分辨率和100米测量范围。细想一下应用真正需要采用哪种LIDAR系统设计，然后明确定义关键标准，例如对象大小、反射率、与对象的距离，以及自动驾驶系统行进的速度。

这可以为组件选择提供依据，使系统设计在出色性能、成本和需要的功能之间达成平衡，最终提高一次实现成功设计的几率。

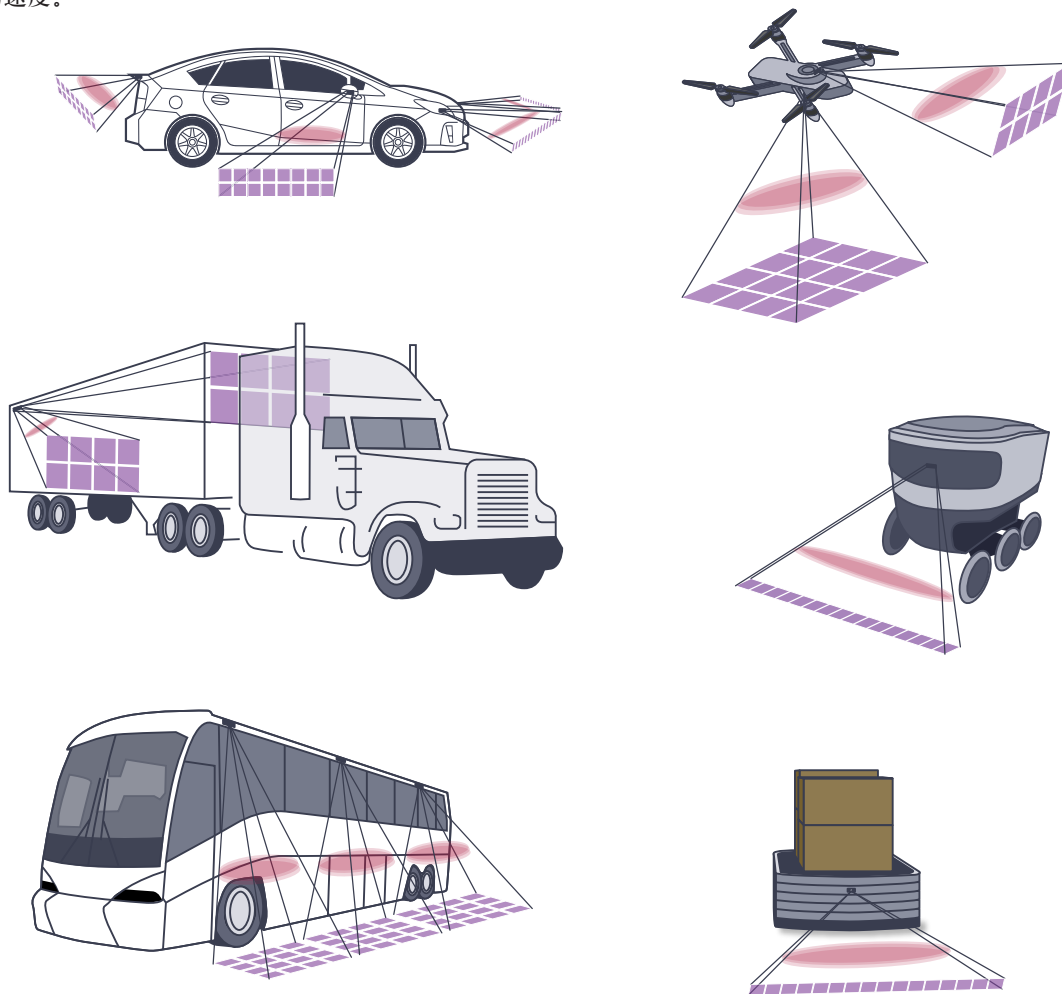


图7. LIDAR系统的各种光学配置，可以帮助提高应用的安全性。



作者简介

Sarven Ipek于2006年加入ADI公司。在ADI公司任职期间，Sarven在故障分析、设计、特性表征、产品工程以及项目和程序管理方面积累了丰富的经验。Sarven目前是ADI公司麻萨诸塞州威明顿市自动驾驶和安全产品部门LIDAR部的营销经理。他拥有东北大学电气和计算机工程学士学位以及电气工程硕士学位，主修通信系统和信号处理。联系方式：sarven.ipek@analog.com。



作者简介

Ron Kapusta是ADI的研究员，拥有麻省理工大学的理学学士和工程学硕士学位。他在2002年毕业后加入ADI公司，为数字成像系统设计数据转换器和传感器接口电路。2014年，Ron将研究重点转移到汽车技术，主要研究与LIDAR传感器有关的电子、光子和信号处理。Ron还在多个IEEE会议的项目委员会任职。联系方式：ron.kapusta@analog.com。

