

SiPM 和激光雷达

激光雷达简介

激光雷达也叫做 LiDAR (Light Detection And Ranging, 即激光探测与测量), 是一种利用激光测量目标的距离、位置、速度等特征量, 以获取周围环境信息的雷达系统。

相比传统雷达技术, 激光雷达以它的高测量精度、精细的时间和空间分辨率以及较大的探测距离而成为一种重要的探测工具, 不但能够精确测距, 而且能够精确测速精确跟踪, 在民用、军用领域具有广阔的应用前景。特别是在汽车自动驾驶领域, 激光雷达作为自动驾驶系统的核心部件而受到广泛关注。



图 1. 来自 Velodyne 和 LIDARUSA 的激光雷达

激光雷达根据测量方法的不同可分为: 脉冲法测距 (直接测量) 和相位法测距 (间接测量), 目前应用最广泛的是脉冲法激光雷达, 其应用领域包括自动驾驶汽车、无人机、机器人、测绘等。

激光雷达原理

激光雷达本质上是对激光测距的扩展, 激光测距基于飞行时间技术 (Time of Flight, 简称 TOF), TOF 技术通过接收测距仪发出的激光脉冲在目标物体上的反射光, 并记录激光信号的发出时间 t_1 和接收时间 t_2 , 获得激光信号飞行时间差 $t=t_2-t_1$, 则被测距离 D 为:

$$D = \frac{c}{2(t_2-t_1)} \quad (\text{式中 } c \text{ 为光速})$$

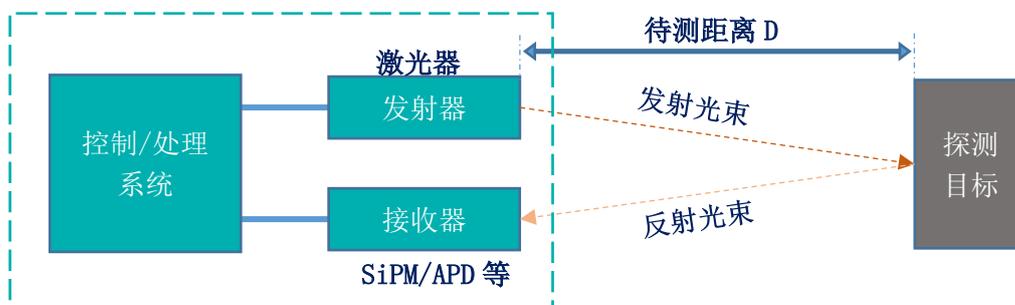


图 2. 基于 TOF 技术激光测距系统示意图

将激光测距系统加上旋转装置并让它连续测量，即可采集环境中不同的点而形成环境模型（点云），配合GPS（Global Position System，全球定位系统）、IMU（Inertial Measurement Unit，惯性测量单元）获取探测点的位置、方向、角度等信息，即可得到探测点的精确位置坐标。

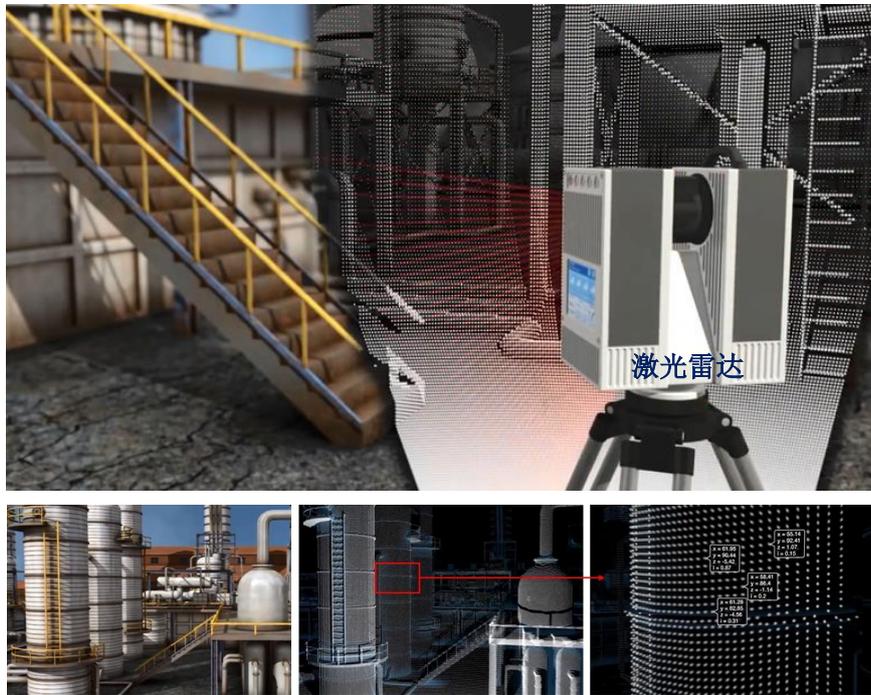


图 3. 激光雷达点云采集方式

激光雷达是自动驾驶不可或缺传感器

激光雷达的传统应用主要集中在测绘、遥感、军事等领域，比如地形地貌勘测、城市三维建模、气象研究以及军事侦察和跟踪等。近年来，随着自动驾驶汽车、机器人、无人机的发展，激光雷达的潜力被再次挖掘。相比于微波雷达，激光雷达能够绘制出汽车周围环境的高精度地图，精度可达到厘米级，它比相对更普及的可见光摄像头看得更精确更远，且不受光线影响，在测量过程中可获得距离、角度、反射强度、速度等丰富的信息，凭借这些数据便可生成目标多维度的图像，协助我们或系统对探测目标拥有更详细的认知。因此激光雷达是导航、定位、避障必不可少的核心传感部件，激光雷达也因此被称为自动驾驶汽车的“上帝视角”。



图 4. 安装在车顶的激光雷达

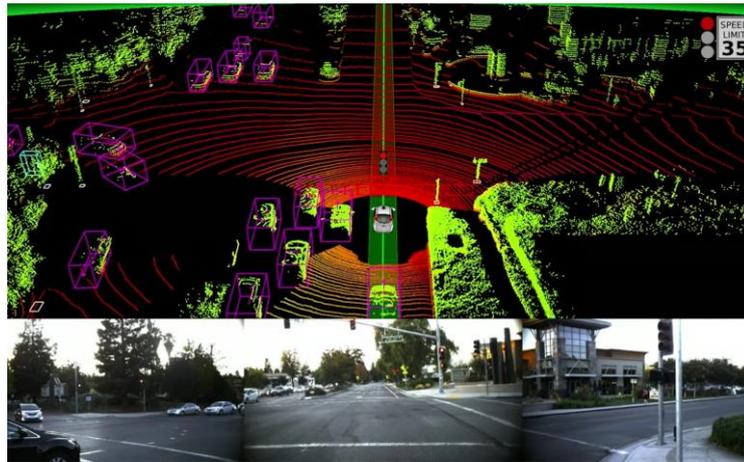


图 5. 工作中的激光雷达采集的点云

图片来源: google

实际情况中的自动驾驶系统不仅仅只有激光雷达，而是多种传感器的集成，其中包括长距雷达、激光雷达、短距雷达、摄像头、超声波、GPS、陀螺仪等，如图 6 所示，各个传感器各有所长，相互配合完成自动驾驶过程。

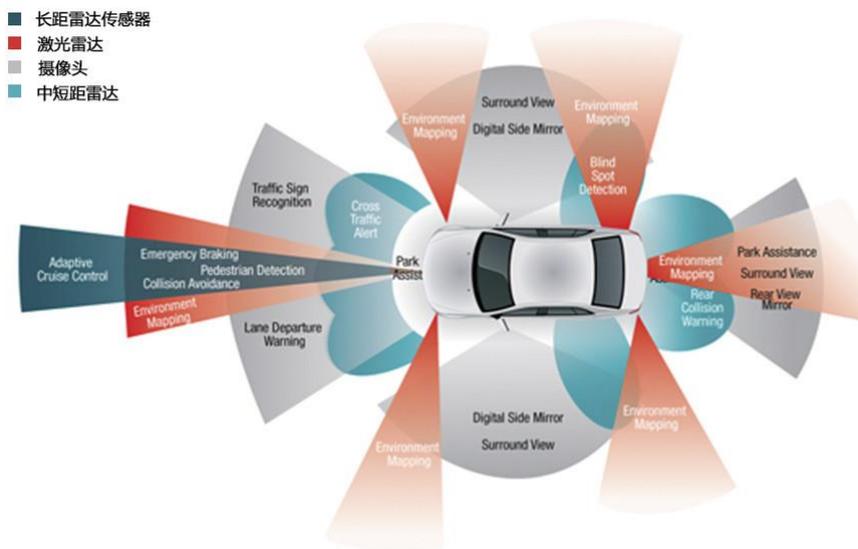


图 6. 自动驾驶系统中的不同传感器的作用

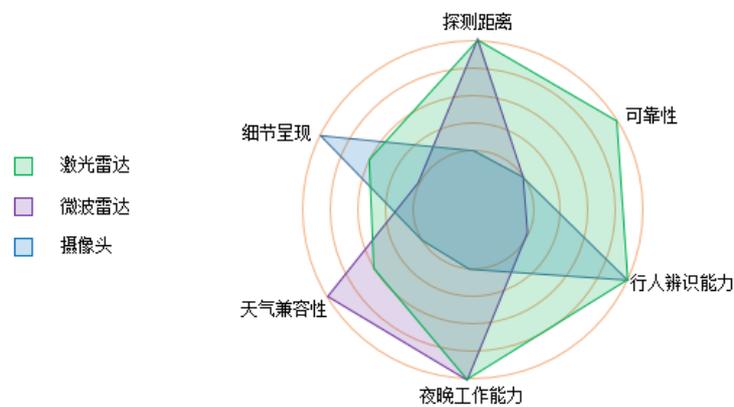


图 7. 激光雷达、微波雷达和摄像头对比

SiPM 和激光雷达技术

为了能够安装到汽车上，激光雷达已逐渐小型化，而且为了获得更好的垂直分辨率，通常需要增加激光雷达的线数，即在激光雷达中安装多个发射-接收单元，这就对应用于激光雷达系统的光电探测器提出了较高的要求。应用于自动驾驶汽车之前，激光雷达主要采用 APD 做探测单元，也有部分大型激光雷达采用了 PMT。APD 和 PMT 都有高响应速率、高灵敏度的特点，都能够工作在近红外波段，但 PMT 体积庞大、易碎且工作电压高，已无法应用于自动驾驶的激光雷达上；而自动驾驶要求激光雷达具备百米量级的探测距离，APD 不到 100 倍的放大倍率对于探测高速脉冲返回的微弱信号已经无法满足要求。

这种情况下，新型半导体器件 SiPM 成为了激光雷达的最佳选择。

SiPM (Silicon Photomultiplier) 也称为硅光电倍增器，是一种新型高性能光电探测器件。由多个工作在盖革模式的 APD 阵列组成，具有高增益、高探测效率、快速响应、优良时间分辨率和宽光谱响应范围等特点。每个 APD 称为 SiPM 的一个像素（也有称微元），每个像素探测到光子之后产生一个相同幅值的脉冲，SiPM 的输出信号为同一时间各个像素脉冲信号的叠加。

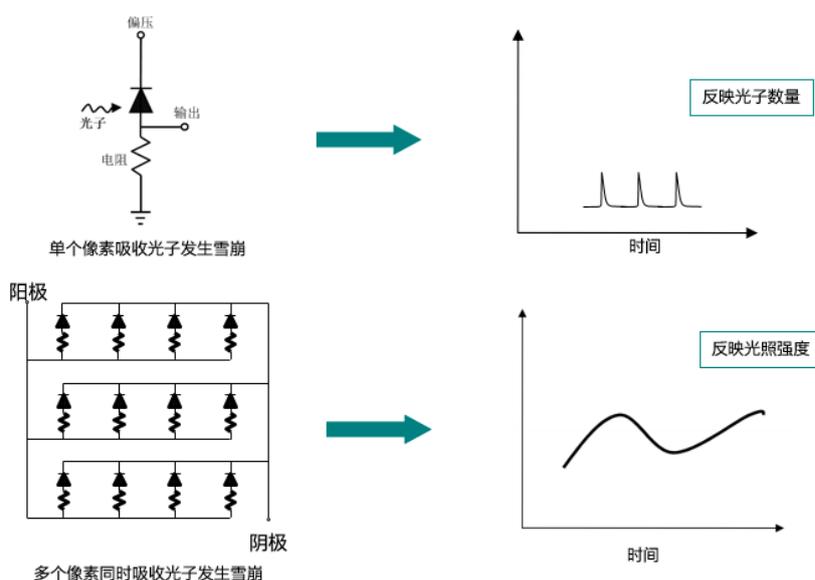


图 8. SiPM 对光的探测方式

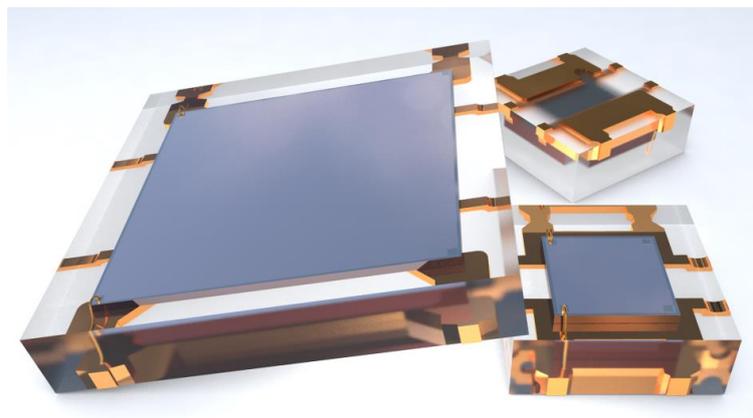


图 9. 京邦科技研制成功的 SiPM

SiPM 具有 10^6 级内部增益，单个光子入射也能够产生可读取信号，使其具备单光子级灵敏度，这样在激光功率较低、探测距离较远的情况下也能探测到发射回来的微弱激光信号；同时 SiPM 具有小于 1ns 的上升时间，可以大幅提高激光雷达的信号采集速度和信号分辨能力，提高系统对物体的辨识能力；SiPM 工作于 30V 电压以下，相比于 PMT 和 APD 成百上千伏的高工作电压，省去了复杂的高压供压系统，更加适用于小型化的激光雷

达系统中，也更加促进激光雷达成本的进一步降低。这些特性使得 SiPM 成为自动驾驶汽车激光雷达系统的理想选择。

下表对比了 SiPM 和 APD 用于激光雷达系统中各自的特点。

	SiPM	APD
工作电压	30V 以下	100V 以上
灵敏度	高	低
内部增益	10^6	10-100
读出电路	简单	复杂
温度稳定性	低	高
均一性	好	不同尺寸差异较大

表 1. SiPM 和 APD 对比

目前，京邦科技已经攻克 SiPM 核心技术，并已基于现代半导体工艺研制成功 TN 系列 SiPM 产品，TN 系列 SiPM 具有高增益、快速响应能力，并且具有高稳定性和优秀的均一性，现在已经成功量产并推向市场，接受国内外客户的订购。

表 2. TN 系列 SiPM 几何参数

参数	数值
感光面积	1mm×1mm
像素尺寸	50 μ m
像素数量	324
封装尺寸	1.8mm×1.8mm×0.68mm

表 3. TN 系列 SiPM 性能参数

参数	数值	条件	单位
光谱响应范围	250-900	--	nm
峰值响应波长	420	--	nm
光子探测效率	35%	@420nm	--
击穿电压	25.8	@25 $^{\circ}$ C	V
内部增益	2.5×10^6	Vov=2.5V	--
上升时间	<1	Vov=2.5V	ns
恢复时间 τ^1	22	Vov=2.5V	ns
暗计数率 ²	115	Vov=2.5V	kHz
串扰概率	5.6%	Vov=2.5V	--
后脉冲概率	0.9%	Vov=2.5V	--
像素电容	161	Vov=2.5V	fF
击穿电压温度稳定性	32.8	--	mV/ $^{\circ}$ C