

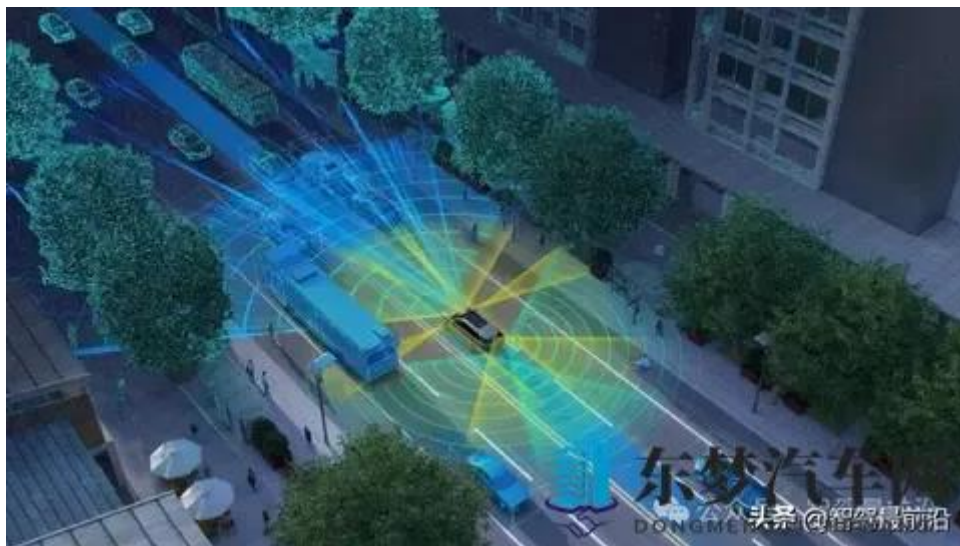
激光雷达为什么会出现串扰的问题？

来源：郭琬婷 发布时间：2025-11-15 03:15:12

[首发于智驾最前沿微信公众号]自动驾驶技术自提出以来，激光雷达就是非常重要的感知硬件，即便到现如今很多技术方案开始倾向于纯视觉时，依旧有很多的车企坚定地选择激光雷达。激光雷达常见的工作方式有脉冲型飞行时间（Time-of-Flight, TOF）和连续波调频型（Frequency-Modulated Continuous Wave, FMCW）两种。

图片源自：网络

脉冲型TOF激光雷达雷达的工作原理比较直观，发射器每隔一段时间发出一个极窄的激光脉冲，遇到障碍物后反射回来，接收器记录发射和接收之间的时间差，再乘以光速的一半，便可得到目标距离。这种方式实现相对简单、测距直观、脉冲能量集中，其缺点是对时间测量精度要求极高，且容易受到环境光或其他干扰脉冲的影响。目前常见的车规级TOF激光雷达多工作在890 nm~1550 nm波段，不同厂商在脉冲宽度、重复频率和接收灵敏度等方面会有不同的取舍。

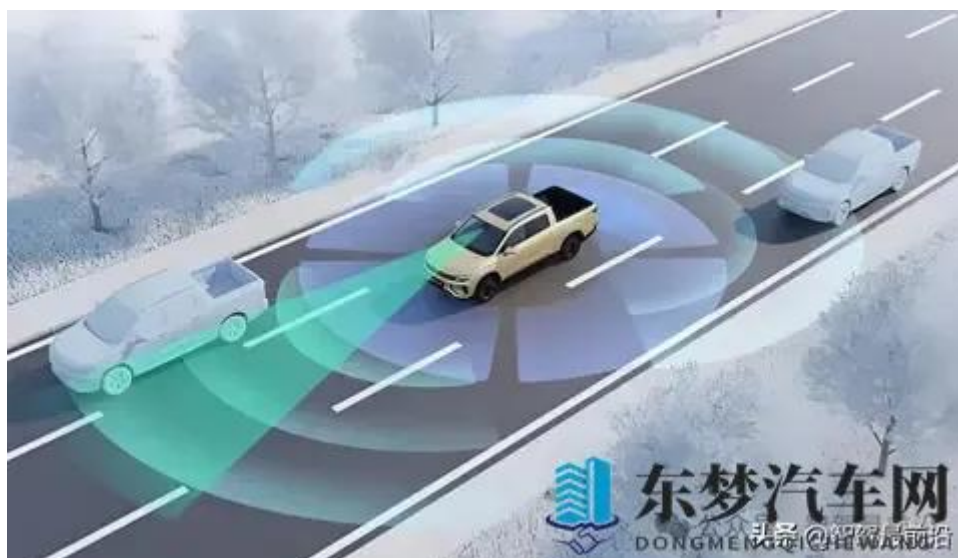


FMCW激光雷达则不依赖短脉冲测时，而是连续发射激光，并让发射光的频率随时间线性扫描（即调频）。接收到的回波会与本地参考光进行相干混频，产生“拍频”信号。拍频的频率反映了发射与接收之间的频率差，从而可以推算出目标的距离和相对速度（多普勒信息）。由于FMCW激光雷达采用相干检测，在接收微弱回波时具有增益优势，并能同时获取速度信息。因为只有与本地参考光相干的信号才能产生有效干涉，外来脉冲通常无法干扰检测过程，因此，FMCW激光雷达对非相干的外部光源（包括其他车辆的激光信号）具有天然的抵抗能力。

串扰的产生原因

随着搭载激光雷达的车辆越来越多，很容易出现一个问题，那便是“串扰”，所谓“串绕”，就是激光雷达会接收到别的激光雷达发射出的信号，导致感知判断不准确。

图片源自：网络



TOF激光雷达发射的是短暂、重复的脉冲，这些脉冲在空间中互相穿越、反射和漫散射，有可能被其他车辆的接收器误认为是自身的回波。之所以出现这个问题，是因为接收器无法自动区分收到的信号是自身发出的脉冲反射回来的信号还是别人发出的脉冲直接接收到的信号。如果接收端仅靠时间差或脉冲形状来识别物体，会缺乏额外的鉴别机制，就极易将外来脉冲误判为有效回波，从而引发测距错误、点云丢失或产生虚假点云等情况，也就是会出现所谓的“串扰”问题。

串扰在多车密集行驶时极易出现，尤其在夜间或视野开阔的长距离场景中会更加明显；此外，若同一车辆上安装的多个TOF单元之间没有协调好，也会产生相互干扰的情况。举个例子，如果A单元发出的激光经漫反射进入B单元的视场，或B的接收窗口在A发射后仍处于开启状态，串扰的情况就无法避免。相比之下，FMCW激光雷达凭借其相干检测机制，对前一种情况具有天然的抑制能力，但并不能完全“免疫”，具体效果仍取决于实现方式和硬件设计。

TOF激光雷达常用的抗串扰方法

为了解决TOF激光雷达串扰的问题，有很多技术方案被提了出来，但核心思路都是让每个发射脉冲“带有标识”或“在时间上受控”，以便接收端能够区分自身回波和外部干扰。

图片源自：网络

脉冲编码（编码发射）是常见的技术路线之一。它通过对每一束激光脉冲按照特定规则

进行编码，接收端再对接收到的信号进行解码运算，只有与自身发射编码匹配的信号才被认定为有效回波。编码可采用伪随机序列或时间/相位上的特殊码型来实现。编码的好处是理论上能大幅降低误认概率，尤其是当路上有很多激光雷达时，互不相干的编码能区分不同发射源。

但编码也会对信噪比和测距能力产生影响，编码和匹配滤波过程会将能量在时间上“展开”，恢复成原始回波需要做相关处理，这一方式在低反射率目标或远距离场景下，就会牺牲一定的灵敏度或会影响最大测程。因此，在设计时需在编码长度、码速率、发射功率和探测器积分时间之间进行平衡。

时间复用与接收门控是另一种防“串扰”方案，这一方案就是将不同单元或不同车辆的发射时间错开，或仅在预计回波到达的时间窗口内开启接收器。对于同一车辆上的多个TOF单元，这种方法会非常有效，通过统一时钟精确安排发射和接收窗口，可以大幅过滤掉相互之间的漫反射干扰。这一方案需依靠硬连线的同步时钟、PPS（每秒脉冲）或专用的同步总线来实现，而不能仅靠单纯的无线时间协商。门控方式其实也存在风险，如果目标距离超出预期或反射路径异常，回波可能落在接收窗口之外，造成数据丢失；此外，若其他车辆恰好在自身接收窗口内发射，仍有可能产生干扰。

还有一种相对简单的方法是采用随机化的发射时序，或在帧结构中引入时间抖动。通过给固定重复频率的脉冲加入随机时间偏移，可以降低长期周期性重合的概率，将固定节奏的干扰转化为随机噪声。这一方案的优点是实现简便、兼容现有硬件；缺点是无法从根本上区分外来回波，仅能在概率上平均化冲突，对于高密度场景效果有限。

除了上面提及的方案，还可以从光学和硬件层面进行抑制。比如使用窄带光学滤波器滤除环境背景光和非目标波段的光，但如果是同波段的其它雷达信号，这一方法也是无效的；还有就是通过光学方向性设计、物理遮挡或机械隔栅减少来自侧向或反射路径的干扰，但这可能限制探测视场。在软件设计时，可以设置接收门限或多帧验证机制（例如仅保留在多帧中稳定出现的点），从而在点云后处理阶段剔除孤立的虚假点。

FMCW激光雷达的抗串扰优势

由于FMCW激光雷达依赖相干检测，接收端将回波与本地参考光混频，只有频率和相位相干的信号才能产生稳定的拍频并被检测。外来的非相干激光发射（尤其是短脉冲）是无法与本地参考光形成稳定干涉，因此不会被误认为有效回波。正因如此，FMCW激光雷达在识别“自身回波”方面比TOF激光雷达更具先天辨别力。

FMCW激光雷达在抗串扰方面的确存在优势，但为什么没有成为主流？FMCW的实现需要高质量、线性可控的调频光源和稳定的本地振荡器，相干检测也对相位和频率噪声敏感，因此，其硬件成本和复杂度会高于简单的TOF系统。在极少数特殊情况（如两个相干源同时存在，或外来连续波频率轨迹巧合）下，FMCW激光雷达还是有可能出现干扰。此外，FMCW的测距

与测速信息是耦合的，处理算法和数字信号处理要求会更高。也就是说，FMCW激光雷达在密集场景下鲁棒性更佳，但代价是更高的成本与算法复杂度，这对于想要大面积商用化落地的车企来说，是需要考量成本的。

软件层面的补救与传感器融合

无论是TOF还是FMCW，仅靠硬件难以覆盖所有场景，软件设计是不可或缺的补充。在软件层面，可采用包括点云级的异常点检测、时间一致性校验、多帧累积判断，以及与其他传感器（如摄像头、毫米波雷达、IMU/GNSS）进行融合等方式，以评估疑似虚假点的可信度。举个例子，如果激光点云中出现孤立的“飞点”，在单帧中出现、缺乏速度场支持，且摄像头也未捕捉到对应物体，则可以将其标记为低置信度信号，并予以忽略。通过多模态融合，可以进一步降低因串扰导致的误检风险。

图片源自：网络

此外，机器学习方法也被用于识别和滤除串扰产生的伪点。基于时空特征训练的分类器可以学习串扰点的典型模式（如在时序上突发、在空间上孤立、反射强度不符合物理规律等），进而在运行时降低这些点的权重。这种方法需要足够的训练样本以保证泛化能力，并需注意避免将罕见的真实小目标误判为串扰。

最后的话

激光雷达串扰是随着装车密度增加而会日益显著的问题。TOF激光雷达因其脉冲特性更容易受到串扰影响，而FMCW在原理上对外来脉冲干扰更具抵抗力，但实现也会复杂度高、成本更高。

HTML版本：[激光雷达为什么会出现串扰的问题？](#)