

飞行时间远距离接近和距离传感器系统设计介绍

此用户指南介绍有关飞行时间 (ToF) 远距离接近和距离传感器系统设计的信息。本文详细介绍 ToF 接近系统的功能，阐述在典型 ToF 系统中所涉及的权衡标准，并提供分步设计流程。

内容

| | | |
|---|--------------------------|----|
| 1 | 简介 | 2 |
| 2 | 飞行时间远距离接近和距离感测基础知识 | 2 |
| 3 | 技术选择 | 5 |
| 4 | 系统界定 | 10 |
| 5 | 光电二极管的选择 | 21 |
| 6 | 照明器选择 | 24 |
| 7 | 光学设计 | 27 |
| 8 | PCB 设计 | 37 |

附图目录

| | | |
|----|-------------------------------|----|
| 1 | 通用 ToF 接近传感器系统 | 3 |
| 2 | 通用飞行时间 (ToF) 时间图 | 3 |
| 3 | ToF 信号的矢量图表示 | 4 |
| 4 | 基于 OPT3101 的系统 | 4 |
| 5 | ATM 自助亭人物检测系统 | 10 |
| 6 | OPT3101 多区域排列示例 | 12 |
| 7 | 发射器和接收器视场 | 13 |
| 8 | 基于反射率分类的目标类型 | 17 |
| 9 | 性能目标界定 | 19 |
| 10 | 不同发射器和光电二极管的光谱响应与太阳光谱比较 | 22 |
| 11 | 光电二极管的反向偏置结电容曲线 | 23 |
| 12 | 不同 FoV 的光电二极管的角度响应 | 24 |
| 13 | 具有不同 FoV 的 LED 的角度发射 | 26 |
| 14 | LED 占空比热限制曲线图 | 27 |
| 15 | 传输光和接收光射线图 | 28 |
| 16 | 平面保护玻璃的保护玻璃设计 | 30 |
| 17 | 斜角保护玻璃的保护玻璃设计 | 30 |
| 18 | 斜角保护玻璃的保护玻璃设计 | 30 |
| 19 | 双腔普通玻璃 3D 示例图 | 31 |
| 20 | 带/不带透镜的接收器光学器件 | 32 |
| 21 | 光电二极管与透镜之间的相对位置 | 33 |
| 22 | 薄透镜射线光学图 | 33 |
| 23 | 针孔模型的视场 | 34 |
| 24 | 视场与光学增益的关系 | 35 |
| 25 | 视场重合 | 36 |
| 26 | 残留串扰矢量图 | 37 |
| 27 | 带磁场线的 PCB 布局 | 39 |
| 28 | 建议的 PCB 分区 | 40 |

| | | |
|----|----------------|----|
| 29 | 良好布局示例 1 | 42 |
| 30 | 良好布局示例 2 | 43 |
| 31 | 良好布局示例 2 | 44 |

附表目录

| | | |
|---|------------|---|
| 1 | 技术选择 | 5 |
|---|------------|---|

商标

All trademarks are the property of their respective owners.

1 简介

一个多世纪以来，人们一直使用飞行时间 (ToF) 技术进行测距。随着技术的进步，电子元件的速度和尺寸有了极大的改进，可用于构建小巧而又经济的基于 ToF 的接近传感器系统。本文旨在向读者介绍 ToF 接近系统设计。系统的性能取决于多项参数。本文详细介绍 ToF 接近系统的功能，阐述在典型 ToF 接近系统中所涉及的权衡标准，并提供 ToF 系统分步设计流程。

1.1 目标读者

本文可用作以下用途：

- 使用 OPT3101 设计一种新型 ToF 远距离接近和距离传感器系统
- 将 ToF 远距离接近和距离传感器系统集成到解决方案中
- 验证 ToF 远距离接近和距离传感器技术是否适合用于某个应用
- 了解 ToF 远距离接近和距离传感器系统的权衡标准

1.2 前提文件

- 《[OPT3101 远距离接近/深度传感器 AFE](#)》
- 《飞行时间基础知识》

2 飞行时间远距离接近和距离感测基础知识

光发射器和接收器构成了光学飞行时间 (ToF) 远距离接近和距离感测系统的感测元件。发射器发送调制光脉冲。发射光碰到场景中的物体后反弹，其中部分反射光返回至接收器。模拟前端测量光脉冲的往返时间。测得的时间用于指示到物体之间的距离。发射光持续脉冲，其周期由调制频率确定。由于发射光具有周期性，因此发射光与接收光之间的相位差指示往返时间。再将多个周期的周期性光调制的相位测定聚合。

2.1 通用 ToF 远距离接近和距离传感器系统

最简单形式的 ToF 远距离接近和距离感测系统由充当发射器的调制光源（例如 LED 或激光等光源）和充当接收器的单个高速光电二极管组成。

图 1 表示这样一个通用 ToF 远距离接近和距离感测系统，用于测量到目标之间的相位（表示距离）。此处所说的目标是指发射光所投射到的物体。在目标上的感测面积取决于光源的属性。需要在目标上进行独立测量的测量点数量有助于确定需要设计的 ToF 系统类型。TI 3D ToF 摄像头产品能够通过透镜测定场景上的多个点。《飞行时间 (ToF) 系统设计简介》用户指南详细阐述了 3D ToF 系统设计流程。本文的范围涵盖 ToF 远距离接近和距离传感器模拟前端 (AFE) OPT3101，它可以测量最多 3 个独立目标。

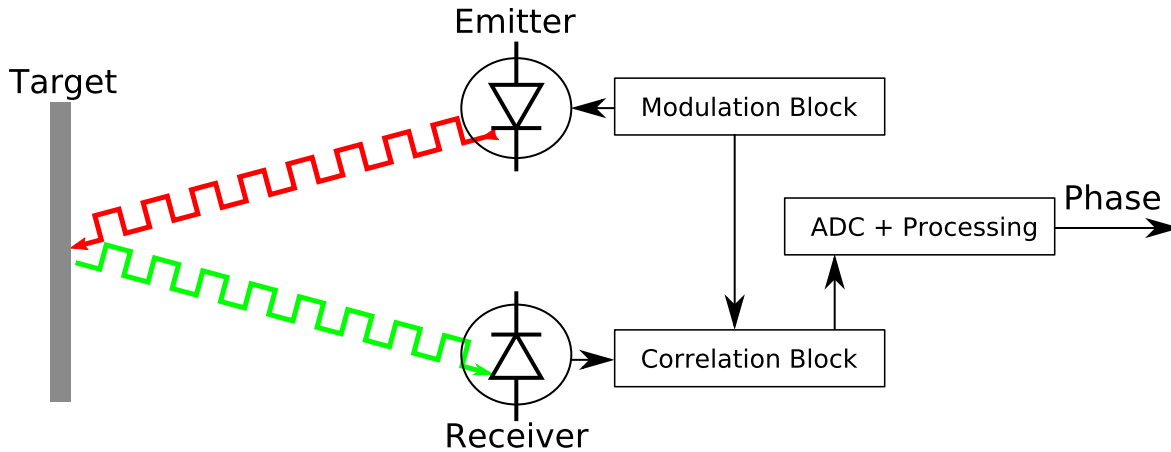


图 1. 通用 ToF 接近传感器系统

图 2 表示发射器信号和接收器信号脉冲串时间图。这里的调制频率假定为 10MHz，因此每个脉冲的周期时间为 100ns。正如前面所说，系统聚合多个调制周期，然后计算目标相位。目标相位可以清晰地表示到目标之间的距离。系统设计为可以不受返回信号电平或振幅的影响而提取目标相位信息。

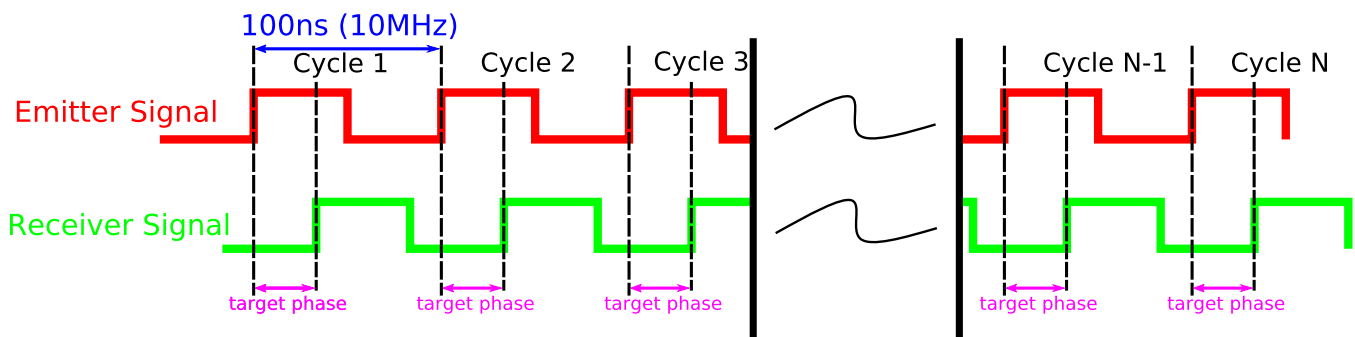


图 2. 通用飞行时间 (ToF) 时间图

通常情况下，输入信号分为同相分量和正交分量，以提取不受信号振幅影响的目标相位信息。图 3 显示信号的矢量表示。试想，多个周期聚合的有效目标相位可以用极坐标图表示，其中 360° 旋转表示一个 100ns (10MHz) 聚合周期。在矢量图中（参阅图 3），角度轴表示时间或相位，径向轴表示信号振幅。也可以将它看成同相和正交相位轴，如图 3 所示。

在绘制的图形中，信号看起来像一个矢量，其投射角度由目标相位确定，长度由信号振幅确定。

IComponent 和 QComponent 分别是信号矢量在同相和正交相位轴上的投影。

ToF 系统信号链设计为可以提取目标相位信息而不受信号振幅的影响，因而可以在无需考虑物体反射率或颜色的情况下测定距离。系统能够处理的信号电平有一个最大值，称为满量程振幅，如图 3 所示（通常称为 0 分贝满量程或 0dBFS），因此所有低于满量程的信号振幅均为 dBFS 负值。例如，20dBFS 信号即表示信号振幅比满量程振幅小 10 倍。

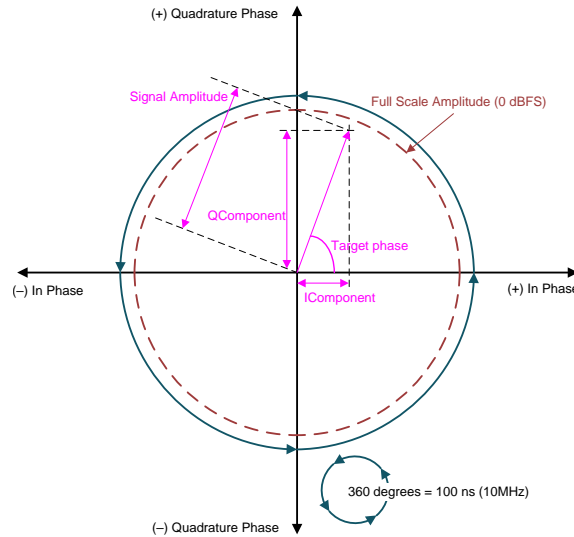


图 3. ToF 信号的矢量图表示

2.2 基于 OPT3101 的 ToF 远距离接近和距离传感器

图 4 表示一个简单的基于 OPT3101 的 ToF 远距离接近和距离感测系统。OPT3101 仅是一个 AFE，它与光发射器和光电二极管一起构成一个具有完整功能的系统。AFE 测量相位，表示到目标之间的距离。

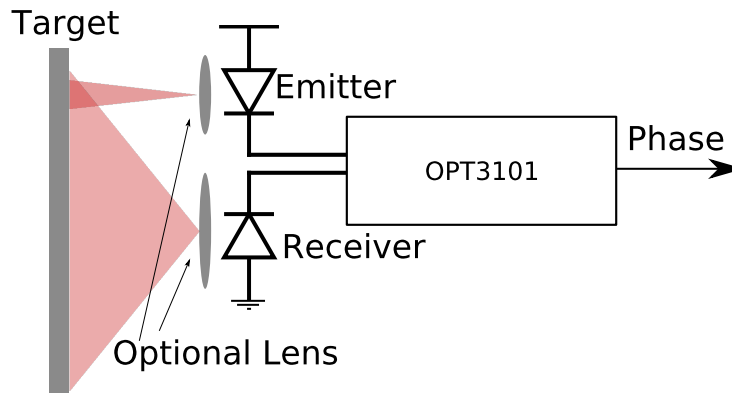


图 4. 基于 OPT3101 的系统

《OPT3101 远距离接近/深度传感器 AFE》中提供了更加详细的系统方框图。

3 技术选择

本节内容可帮助读者确定基于 OPT3101 的系统是否适合其应用。需要进行接近感测的应用包括许多不同类型，不同类型对于感测距离、感测速率、功率以及视场 (FoV) 等因素的要求各不相同。本节将本技术与其他感测技术进行了比较。

表 1. 技术选择

| 技术 | 应用 | 优势 | 劣势 |
|-------------------------------|---------------------------------|--|---|
| 光学 | | <ul style="list-style-type: none"> • 成本更低 • 可以达到较高的采样率 • 外形小巧 • 不受风力、空气温度和湿度的影响 • 系统设计更简单 (所需 FoV) | <ul style="list-style-type: none"> • 雨天和雾天失效 • 有些方法对高环境光敏感 |
| SPAD 集成, 直接 ToF 模块 | 短距离接近。通常小于 1 至 2 米。移动接近 | <ul style="list-style-type: none"> • 外形极小 • 短距离范围内测量精确 • 成本低 | <ul style="list-style-type: none"> • 高环境和户外条件下存在多个性能问题 • FoV 较大时 (大于 25° 或 30°) 出现性能问题 • 市场上可选的模块方案有限 • 数据速率低 (< 100 个样本/秒) |
| APD 分立式直接 ToF | 远距离精确测距仪 | <ul style="list-style-type: none"> • 远距离测距也能达到很高的精度 | <ul style="list-style-type: none"> • 数据速率极低 (约 1 个样本/秒) • 尺寸大 (50mm x 25mm x 35mm) • 要求精密制造装配和校准 • 分立式组件成本高 • APD 需要高电压偏置 |
| 基于 ToF 的 OPT3101 连续时间 (间接) 系统 | 短距离 (< 2m) 和中距离 (约 15m) 测距和接近感测 | <ul style="list-style-type: none"> • 成本低 • 采样率极高 (4000 个样本/秒) • 高环境性能十分优异 • 支持多个目标和多个通道 • 可适应小巧外形 • 多种 FoV、精度等, 可优化 (系统条件) | <ul style="list-style-type: none"> • 不适合需要极小外形的应用, 例如移动设备 • 难以达到次毫米级精度 • 噪声性能优异, 但由于二阶效应, 绝对误差高于其他竞争技术 |
| 基于振幅的接近感测 | 超短距离接近感测 (< 100mm) | <ul style="list-style-type: none"> • 成本极低 | <ul style="list-style-type: none"> • 性能取决于目标反射率 • 较高环境条件下出现性能问题 • 不适合较远距离应用 |
| 超声波 | | <ul style="list-style-type: none"> • 成本低 • 对环境光条件不敏感 • 功耗低 • 雨天和雾天有效 | <ul style="list-style-type: none"> • 性能取决于撞击表面和角度。硬表面会导致镜面反射, 返回信号差。软目标的返回信号差 • 数据速率低 (受声速限制) • 对湿度、风力和气压敏感 • 尺寸不如光学系统小巧 • 难以达到较窄的 FoV |

表 1. 技术选择 (continued)

| 技术 | 应用 | 优势 | 劣势 |
|------|----|--|---|
| 被动红外 | | <ul style="list-style-type: none"> • 超低功耗 • 成本极低 | <ul style="list-style-type: none"> • 仅能检测变化或移动 • 仅能检测热信号变化（人或动物） • 不能报告目标位置 • 对无机目标无效 |

在确定 OPT3101 技术是否能满足应用需求前，必须先回答以下重要问题：

OPT3101 系统能实现什么应用功能？

- 例如，ATM 自助亭人物检测

在当前系统中，是否已经使用了能够实现该功能的技术？

目前使用了什么技术实现该功能？

- 如果当前系统能够实现该功能：
 - 如果使用光学技术实现现有功能：
 - 现有解决方案是否存在局限性？与现有解决方案相比，应用是否需要：
 - 更优异的环境光性能：基于 OPT3101 的系统非常适合。
 - 更高的数据速率：基于 OPT3101 的系统非常适合。
 - 多目标能力：基于 OPT3101 的系统非常适合。
 - 多种 FoV、光学器件或波长：基于 OPT3101 的系统非常适合。
 - 现有技术是否以 SPAD 集成的直接飞行时间模块为基础？
 - OPT3101 可以提供具有更高帧速率、更高环境性能以及更大尺寸或外形的系统。
 - 基于 OPT3101 的系统与现有系统相比：
 - 可以设计为具有更远的距离（远远超出 2 米）
 - 在极高的数据速率下运行
 - 在极高环境光条件下发挥优异的性能
 - 可以灵活地设计任何光学器件和波长
 - 基于 OPT3101 的系统与现有系统相比：
 - 在外形尺寸上不如现有技术小巧
 - 尚不能采用模块外形，因此需要在 PCB 上集成发射器、光电二极管和光学器件
 - 短距离精度不如现有技术
 - 现有技术是否以 APD 分立式直接 ToF 为基础？
 - 基于 OPT3101 的系统提供成本更低的低精度替代方案
 - 基于 OPT3101 的系统与现有系统相比：
 - 成本显著降低
 - 外形更小巧
 - 数据速率显著提高
 - 基于 OPT3101 的系统与现有系统相比：
 - 无法满足远距离精度要求
 - 现有技术是否为基于振幅的接近感测？
 - 基于 OPT3101 的系统可以提供性能更加可靠和优异的系统，其测距结果不受目标类型和环境条件的影响
 - 基于 OPT3101 的系统与现有系统相比：
 - 可以满足更远距离的要求
 - 测距不受目标反射率的影响

- 具有更高帧速率
- 具有更高的精度和更优异的环境性能
- 基于 OPT3101 的系统与现有系统相比，无法或没有：
 - 成本更低
 - 系统设计更加复杂

- 如果现有技术不是光学技术：
 - 光学技术是否适合该应用？
 - 光学技术不应在以下条件下工作或在以下条件下存在局限性：
 - 雨天或雾天
 - 存在重度灰尘或漂浮颗粒
 - 介质不透光
 - 灰尘或碎屑落在光学器件或传感器上
 - 现有系统是否采用超声波技术？
 - 与现有解决方案相比，基于 OPT3101 的系统具有更高的成本优势，提供更高的数据速率，而且不受目标材料和环境条件的影响
 - 基于 OPT3101 的系统与现有系统相比，能达到或具有以下优势：
 - 更高的数据速率
 - 更窄的目标选择范围
 - 多目标感测
 - 感测结果更加可靠，不受目标材料的影响
 - 对风力、湿度和气压不敏感
 - 外形更小巧
 - 基于 OPT3101 的系统与现有系统相比：
 - 较短距离下的感测精度较低
 - 现有系统是否采用被动红外技术？
 - 基于 OPT3101 的系统提供行为感测，并且能达到更高的精度，但功耗和成本更高
 - 基于 OPT3101 的系统与现有系统相比：
 - 适用于任何目标（有机和无机）
 - 不仅能感测变化，还能感测目标的绝对位置
 - 具有多个独立目标区域感测功能
 - 基于 OPT3101 的系统与现有系统相比，不能：
 - 满足 PIR 成本
 - 满足 PIR 功率预算
 - 在指定功率下满足 PIR 范围

4 系统界定

由于设计受不同系统矢量的影响，因此有必要了解所有可用的矢量选项，包括对相同系统矢量的容差。一旦选择了任何基于 OPT3101 的系统并认为其非常适合该应用，则建议在选择光学器件前采用以下方法。

图 5 表示一个系统界定示例，其中矢量部分高亮显示。

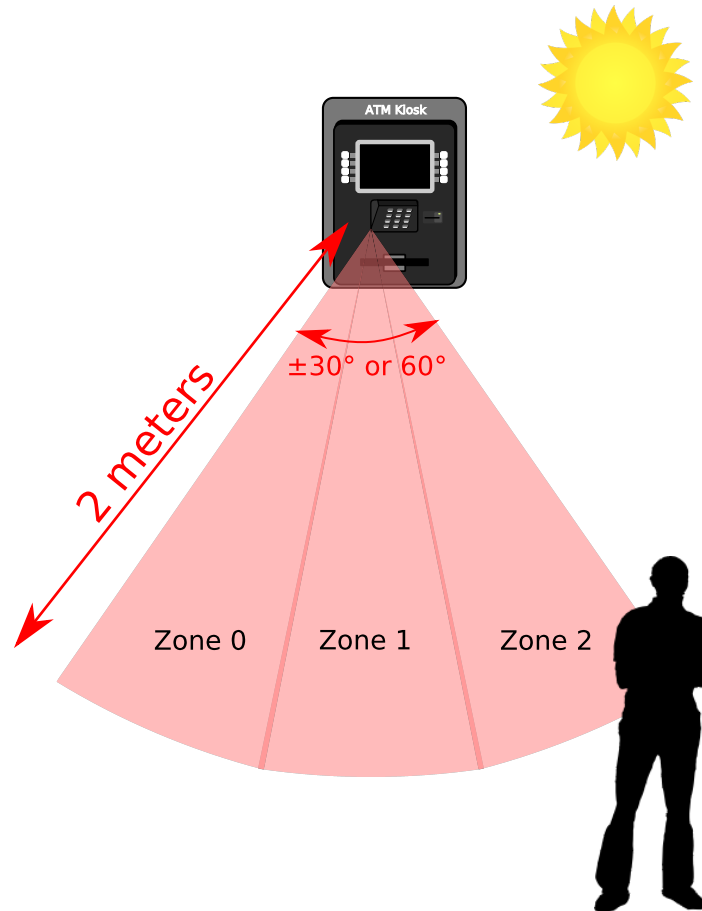


图 5. ATM 自助亭人物检测系统

ATM 自助亭人物检测:

检测 **3** 个区域（使用一个 OPT3101），最大距离 2 米，精度误差 $\pm 5\%$ （白色目标）， 20° 视场（满量程），线性排列形成 60° 总视场，**10** 个样本/秒，功率 100mW，不接受激光，豁免级灯具分类 LED，预计在 130kLux 环境日光下工作，无可见检测波长。

此示例综合列出了所有条件和矢量定义，可能无法立即用于所有应用。在某些应用中，其中许多矢量为灵活的次要矢量，但在启动设计流程时，必须确定一些涉及分立式组件选择和可用性的关键矢量。确定一些关键选择后，便可轻松确定其余矢量并进行分析，以检查这些矢量是否适合。下面列出了最重要的矢量和条件：

4.1 区域和目标数量

这是一开始就需要确定的其中一个最重要的矢量。它会影响接下来的多个系统矢量。在做出选择时应考虑如下重要问题：

- 系统成本：
 - 存在多个区域意味着需要多个发射器组件，因此增加了系统成本。
- 系统光学器件和设计：
 - 一些发射器组件具有集成的光学器件。集成的光学器件通常发射与所安装的 PCB 平面垂直的光。
 - 如果多个发射器必须向不同区域发出直射光以分割 FoV，则系统需要使用折射光学器件（棱镜或透镜）或光束反射器。
- 尺寸：
 - 具有多个发射器的完整系统的物理尺寸通常大于单发射器系统。这主要是因为 OPT3101 发射器控制引脚之间物理隔离，因而需要更大的空间以维护和满足布局指南的要求。
- 数据速率和噪声：
 - 多发射器系统的数据速率低于单发射器系统的数据速率。例如，在具有 3 个发射器的系统中，如果要达到 10fps 有效数据速率（每 100ms 测定 3 个目标），则 OPT3101 器件的速率需达到 30fps。由于数据速率增加，AFE 噪声提高 $\sqrt{3}$ 。

图 6 显示了如何实现多区域检测的一些例子。排列方式有许多种，因此此处仅显示最常见的排列方式。对于需要在三个维度检测目标行为的系统，可以使用左侧显示的配置，对于需要在平面进行检测的系统，可以使用右侧显示的配置。

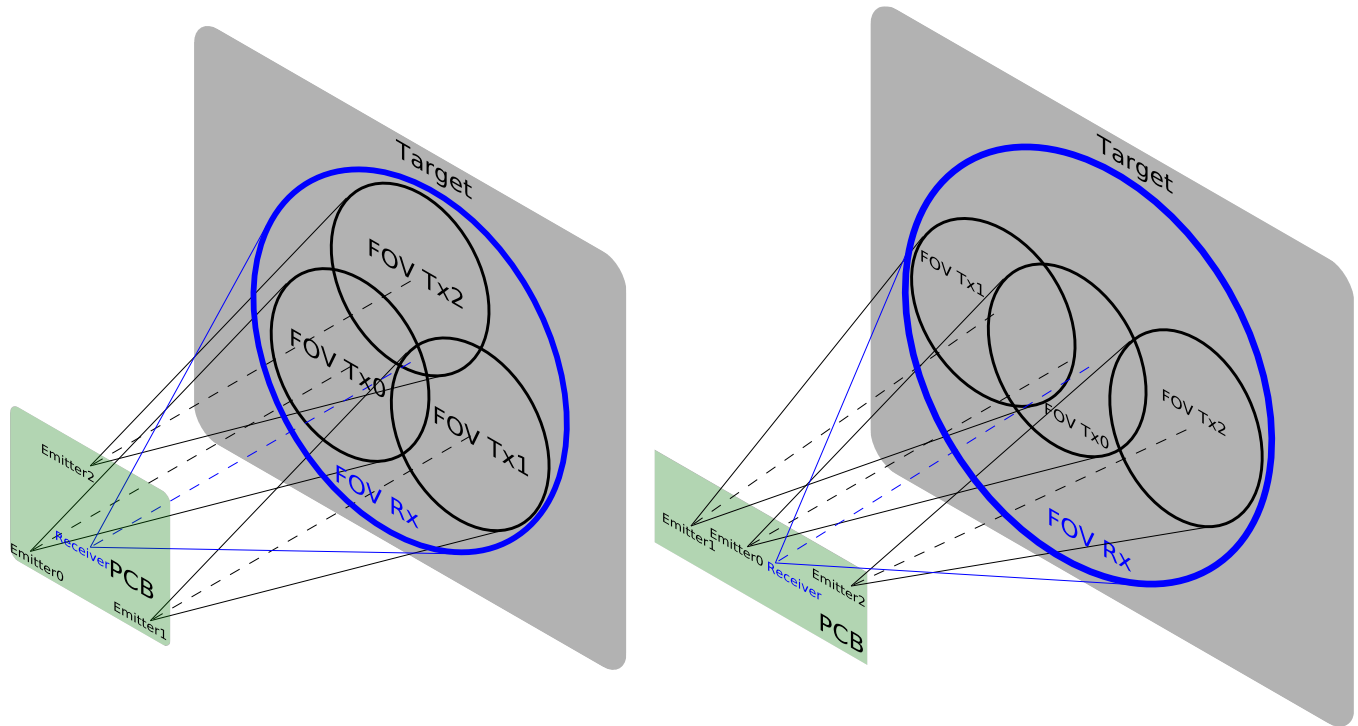


图 6. OPT3101 多区域排列示例

4.2 视场 (FoV)

这是一个必须了解的主要矢量，因为它决定系统的性能。许多参数都取决于 FoV，因此系统性能是 FoV 的一个强函数。通常来说，FoV 越窄，系统的测距范围越远。本节将介绍有助于确定 FoV 的一些权衡标准。

有 2 个视场需要考虑，即发射器的视场和接收器的视场。

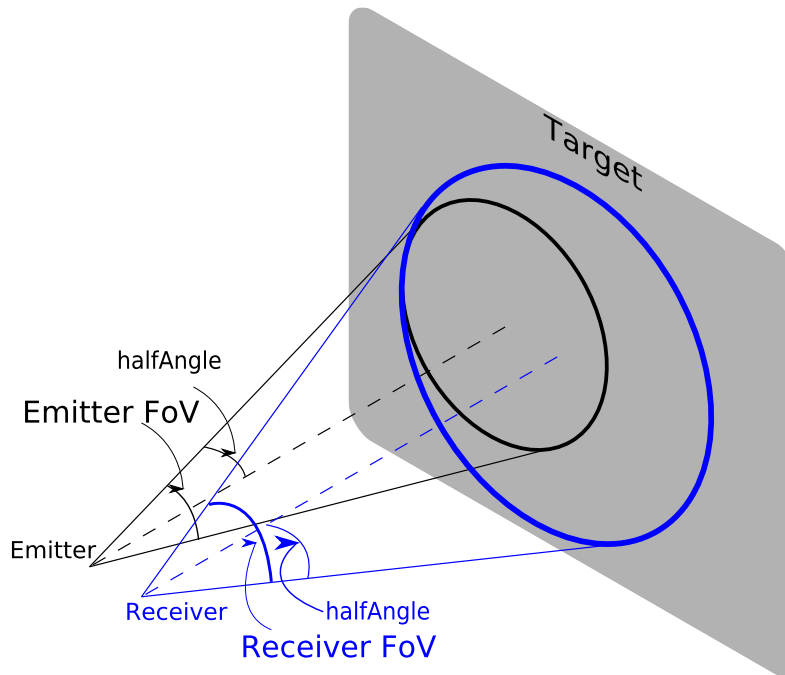


图 7. 发射器和接收器视场

4.2.1 发射器 FoV

以度为度量单位 (\pm 半角或全角)，该参数界定特定距离的目标大小，因此确定该参数非常重要。它以光发射圆锥所形成的半角或全角表示。

简单来说，尽量减小 FoV (最低限度基于应用要求) 有助于提高性能和系统测距范围。

4.2.1.1 发射器 FoV 的确定

FoV 的选择取决于特定应用。测距应用需要极小的发射器 FoV，而物体或在场检测则需要较大的发射器 FoV。尽管有些应用需要极大的 FoV，但设计具有单个大发射器 FoV 的系统越来越不实用。

如果使用单发射器系统，OPT3101 AFE 可以测定发射器照亮的目标的距离。如果采用大发射器 FoV，则整个场景变成一个目标，使得需要关注的物体的醒目性降低。例如：试想 ATM 自助亭中使用的在场检测系统的传感器放在离地面 1 米高的位置。假设发射器 FoV 为 $\pm 45^\circ$ 。即使自助亭中没有人，发射器发射的光所形成的圆锥从离地 1 米高处包围地面，将它变成一个目标。FoV 范围内的任何物体也是一样，包括其他非生命物体，例如椅子、桌子、侧面墙壁等。系统测定 FoV 范围内所有物体的加权平均距离。如果一个人从 2 米以外的位置走向 FoV，则他在 FoV 范围内所占的比例十分微弱，因而测得的距离结果变化极小 (可能根本检测不到，因为离 FoV 更近因而在 FoV 范围内占有更大比例的物体具有更大的加权比重)，除非此人走到离传感器很近的位置。这严重限制了具有大发射器 FoV 的系统的测距范围。在这种情况下，建议考虑使用多个发射器，每个发射器具有更小的 FoV 并将光发射到整个检测 FoV 的不同部分，使得每次测定时能够获得更多的数据点，从而获得有意义的行为检测结果。

4.2.1.2 眼睛和皮肤安全影响及认证

一般来说，对于特定的发射器功率级别，发射器 FoV 越小，就越难以满足眼睛和皮肤安全法规。在越小的圆锥（更小的 FoV）内聚集的光越多，单位面积的功率越高。

4.2.1.3 实现所需的发射器 FoV

可以通过以下方法实现所需的发射器 FoV:

- 基于光学设计所能达到的 FoV 窄度或宽度存在一些基本限制。
 - 例如, 除非使用受激发射器(在节 6.1.2 中进行介绍), 否则达到小于 $\pm 5^\circ$ 的 FoV 非常困难。
- 由于 PCB 上的组件或系统正面所投射的阴影, 达到 $\pm 90^\circ$ 几乎是不可能的。
- 一些 LED 发射器自带集成的光学器件, 发射器的数据表中指定了其 FoV。
- LED 发射器视场是数据表的一项内容(在节 6.2.3 中进行了解释), 通常涵盖 $\pm 5^\circ$ 至 $\pm 60^\circ$ 范围。在选择上通常受到限制。
- LED 表面的光学器件和透镜可以根据需要修改发射器的 FoV。
- 如果有特殊要求, 可以使用准直透镜等光学组件实现特定的发射器 FoV。有关详细信息, 请参见 7.4 节。

4.2.2 光电二极管和光接收器的 FoV

以度或球面度为度量单位(\pm 半角或全角), 其值取决于发射器的 FoV, 而发射器的 FoV 又取决于应用要求。它可通过由光收集圆锥所形成的半角或全角表示。

4.2.2.1 光电二极管 FoV 的确定

此矢量的确定似乎不重要, 但它对系统性能有着更加重要的影响。在确定此参数时应注意一些事项:

- 光电二极管 FoV 需等于或大于发射器的 FoV, 原因如下:
 - PCB 与 PCB 间包括光学器件在内的组件安装容差
 - PCB 上发射器与光电二极管位置之间的间距
- 性能是 FoV 的一个强函数, 在下面将进行阐述:
 - FoV 对环境光和信号光的收集具有重要影响
 - 使用以下公式可计算出各自增益的一阶近似值。可以看到, 减小 FoV 会增加信号增益, 减少环境增益, 从而显著提高性能。

$$\text{signalGain} \propto \frac{1}{\left(\tan\left(\frac{fov}{2}\right)\right)^2}$$

$$\text{ambientGain} \propto \left(\tan\left(\frac{fov}{2}\right)\right)^2$$

(1)

4.2.2.2 实现所需的光电二极管 FoV

光电二极管分为 2 类, 一类自带集成光学器件, 另一类没有集成光学器件:

- 如果光电二极管没有集成光学器件:
 - 这一类光电二极管通常具有 FoV 为 $\pm 60^\circ$ 的余弦角度响应曲线
 - 可以考虑光学增益为 1, 因此对于给定光功率, 在接收器单位面积产生的电流方面性能最差
 - 仅当应用要求 FoV 高于 $\pm 45^\circ$ 左右时, 才建议考虑
 - 增加光学器件或透镜以提高光学增益, 从而提高性能。
 - 在节 7.5.1 中对选择标准以及光学器件设计进行了解释
- 如果光电二极管自带集成光学器件

- 这一类光电二极管的数据表中指定了其角度响应曲线
- 对于特定的封装类型，光电二极管的 FoV 越窄，光学增益往往越高，因此性能也更加优异
- [公式 1](#) 也近似地适用带集成光学器件的光电二极管

4.3 波长 (λ)

OPT3101 器件只是一个 AFE，支持广泛的波长，仅受光电二极管和发射器组件可用性的限制。以下几个方面有助于确定系统工作波长

4.3.1 裸眼可见性

4.3.1.1 可见光谱

听起来似乎不重要，但可见光谱是必须要考虑的一个重要方面。在诸如工业测距等一些系统中，出于安全原因，报告目标距离的点必须肉眼可辨。这有助于按照需要排列系统。在这种情况下，最好使用 390nm 至 700nm 的可见光波长。人眼响应在 500nm 至 550nm 左右达到峰值，因此绿色似乎是这些应用的不二之选，但光电二极管组件的响应通常在 800nm 左右达到峰值，因此对绿色的响应性较差。为了进行平衡，红色（约 650nm）在人眼可见性与系统性能之间达到了良好折中，因而被广泛应用。

在选择可见光谱时还需要考虑下面一个因素。光电二极管通常有 2 种选项，其中一种带日光滤波器，另外一种不带日光滤波器。带日光滤波器的光电二极管对可见波长的响应性较差，因此无法用于需要可见波长的系统，但滤波器显著限制了环境光，尤其是具有极宽光谱的日光，因而大幅提高了环境性能。从这方面来说，选择可见光谱意味着系统需要处理比不可见光谱系统更高的环境条件。

4.3.1.2 不可见光谱

目标察觉不到近红外 (NIR) 波长系统的测量。

红外技术被广泛误解为只和热感测有关。严格来说，这是正确的，但检测热信号所使用的红外光谱与构建测距和 ToF 系统所使用的 NIR 大不相同。热红外波长范围为 8 μ m 至 15 μ m，称为长波红外，用于被动红外感测。还有其他短波和中波红外光谱用于军事应用。在所有基于 ToF 的系统中，NIR 统一指 750nm 至 1400nm 范围内的波长。

由于 NIR 波长非常接近可见光范围，因此 NIR 发射器在足够黑暗的环境下仍然肉眼可见。它主要见于 850nm 左右的发射器。这可能导致它无法用于某些应用，以免干扰用户。在这种情况下，深入研究 NIR 光谱将大有裨益，例如转移到 940nm。

4.3.2 传输介质

在大多数应用中，传输介质为空气，在所考虑的波长中的传输属性相同。

有些系统可能需要在烟雾或黄昏条件下工作，其属性则大有差异。

4.3.3 眼睛和皮肤安全

眼睛和皮肤安全标准在很大程度上取决于工作的波长。基于所选波长，必须进行不同方面的安全测定和安全分析，以对系统进行认证和分类。

4.3.4 整体系统性能

考虑到所有要素和限制后，如果仍然必须选择特定波长，则需选择峰值敏感度相匹配的发射器和光电二极管组合。

4.4 目标类型

在进行系统设计前，了解要使用的目标的类型和特征非常重要。

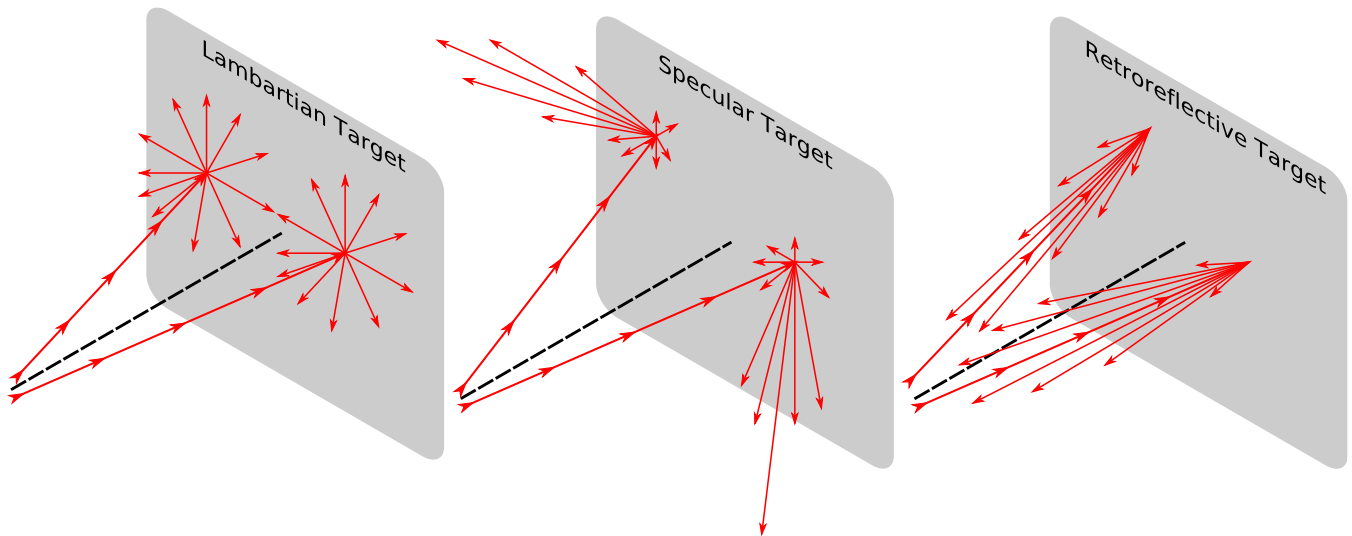


图 8. 基于反射率分类的目标类型

4.4.1 朗伯反射，漫反射体

这是指目标对从各个方向投射而来的光进行漫反射。朗伯反射的例子包括磨砂纸、布和人体皮肤等。这些情况处理起来比较简单，因为投射到目标上的光在所有方向均匀分布，使得系统不受目标所处角度和位置的影响。例如，采用基于 OPT3101 的系统实现防碰撞功能的自主机器人不管相对于墙壁处于什么角度，都能可靠地感测到墙壁。

目标反射率以百分比表示，是表面反射的总光量与入射到表面的光量之间的比率。白色纸的反射率为 90% 以上，而黑色丹宁布的反射率大约为 10%。

检查目标是否为朗伯体的一个简单方法是取一个目标，在黑暗的房间内用一根激光棒指向它。目标反射图形应在整个反射半球（ 2π 球面度）内分布均匀。

4.4.2 镜面反射体或光面反射体

这是指表现地如同镜面一样的光面反射体。投射到目标上的光的反射符合反射定律，与入射角相关。镜面反射分为强镜面反射和弱镜面反射。强镜面反射体更加接近于镜面，投射到反射体上的光不会发生任何漫射，而弱镜面反射体不但发生类似镜面反射，而且会出现漫射光。强镜面反射体的典型例子是抛光金属表面和镜面。弱镜面反射体的例子包括拉丝金属、亮光漆墙面等。

在 ToF 系统中使用强镜面反射体会出现问题：

- 它们不会将信号返回至系统，因此会极大地降低系统性能
- 亮光镜面目标（例如镜子）会基于发射光投射到目标上的角度而欺骗系统：
 - 在有些情况下，亮光镜面目标会诱骗系统相信，表面本身不是目标，反射场景似乎才是目标。
 - 在有些情况下，返回至光电二极管的光量过多，导致系统饱和

检查目标是否为镜面体的一个简单方法是取一个目标，在黑暗的房间内用一根激光棒指向它。目标反射图形应包含从预计反射角反射回来的一点强光以及围绕在该强光点周围的一团反射光，这取决于目标的镜面度。强光点与其周围的反射光团之间的光强度比有助于确定目标的镜面度。

4.4.3 反光体

这是一类特殊的反射体，它可以将投射而来的光沿入射角原路返回。如果可以将它们当作目标使用，则对扩大 ToF 的范围非常有用。在现实生活中可以找到反光体的例子：高速公路标牌中使用的贴纸和标志板、骑自行车者背心或头盔上的安全贴纸。

在一些对目标进行控制的系统中，这能够为其提供理想的目标，因为与 FoV 中的其他类型的物体相比，它们反射的信号占很大比例。这有助于在显著降低功率的情况下实现可靠的远距离感测。

检查目标是否为反光体的一个简单方法是取一个目标，在黑暗的房间内用一根激光棒指向它。反射图形的投射角度应与光源角度相同。根据反光体的质量，光的散射可以降低到极低。

4.5 目标距离

指定为需要满足特定性能目标的距离。在系统设计阶段需尽早确定该关键参数，这主要取决于应用。基于 OPT3101 的系统能够基于组件选择和光学器件设计而在宽泛的目标距离范围内工作（从几毫米到几十米）。系统性能是目标距离的一个强函数。例如，目标距离为 2 倍时，系统的噪声性能则放大 4 倍（按照平方律计算）。

4.6 动态范围

这表示为基于 OPT3101 的系统在不失去性能目标和饱和度的情况下预计能够正常工作的工作条件范围。它主要受以下因素的影响：

- 距离范围：
 - 如果系统预计将在 100mm 至 1000mm 范围内工作，则所需的动态范围为 100 倍或 40dB（距离按照平方律计算）。
- 反射率范围：
 - 如果系统预计能够用于 5% 反射率目标和 95% 反射率目标，则所需的动态范围为 19 倍或 25.6dB
 如果必须同时满足前两个条件，则系统所需的动态范围为 $100 \times 19 = 1900$ （表示为最大值与最小值之间的比率）或者以分贝表示为 65.6dB。

OPT3101 AFE 系统提供有限动态范围，在《OPT3101 远距离接近/深度传感器 AFE》中进行了介绍。数据表中介绍了通过 HDR 和超 HDR 功能提高动态范围的方法。

4.7 性能目标

本节列出了在指定性能目标前需要了解的一些重要事项。性能目标始终基于以下参数进行指定：

- 特定距离
- 特定数据速率
- 特定反射率
- 特定环境水平

下面提供了一个优秀的性能目标规格示例：

- 2mm 系统噪声
- 1000mm
- 90% 反射率目标
- 130kLux 日光
- 100sps 时误差为 5mm

性能目标中列出的条件越多，系统设计规格越清晰。

图 9 和下面几节内容针对不同性能参数进行了阐述

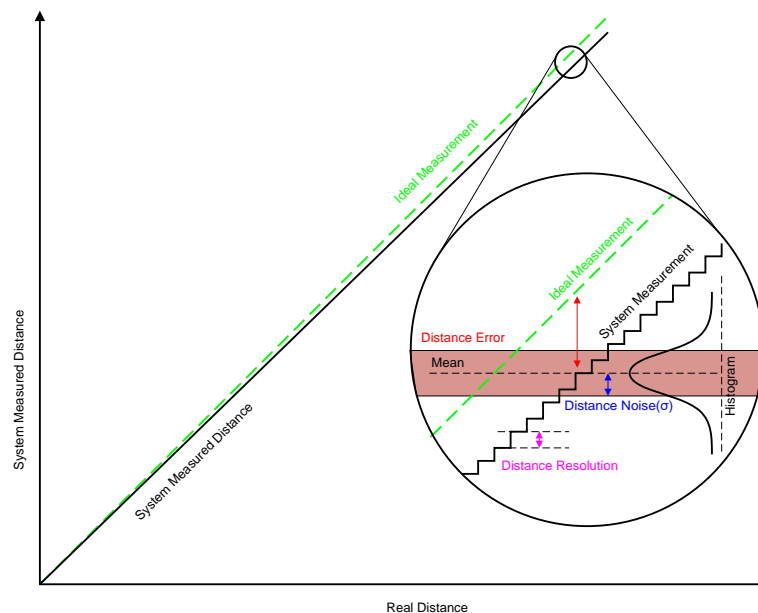


图 9. 性能目标界定

4.7.1 距离分辨率

它是指基于 OPT3101 的系统可以解析的最低可能距离。它主要受用于表示距离的位数的限制，16 位表示以空气为介质并以 10MHz 进行调制时大约为 15000 米。相当于 0.22mm/位。系统不能解析低于此数值的距离变化。从理论上来说，可以增加测量次数，并在主机控制器上求平均值，得到次分辨率测定值。

它不受系统工作条件和 AFE 架构工件的影响。

4.7.2 距离噪声 (σ)

它是指对在一段时间内提取的样本集进行测定的标准偏离 (σ)。样本数量越多， σ 估测值越准确。它在很大程度上取决于系统工作条件。

它以毫米为单位，是系统设计中的其中一个关键目标规格参数。通常指定特定工作条件的噪声。

4.7.3 距离误差/精度

它是指实际目标距离与基于 OPT3101 的系统所显示的测定距离之间的差异。它不包括距离噪声，实际上表示的是偏置和漂移。它在很大程度上取决于系统工作条件、校准完成度和 PCB 设计。误差来自多方面的原因，下面对此进行了解释。

4.7.3.1 残留串扰产生的误差

串扰是指在输入端感测到的本不应存在的多余信号。再次强调，它是当目标距离足够远，足以将任何信号返回或涵盖光电二极管或 LED 时，OPT3101 系统所测得的信号。尽管串扰和串扰温度变化在系统校准中得到补偿，但也会因二阶效应而造成串扰波动。这些串扰没有得到补偿（残留串扰）。残留串扰表现为距离误差，在 8.1 节中对此进行了解释。残留串扰效应在较低信号电平下十分显著。

4.7.3.2 热趋稳期间产生的误差

ToF 系统提供温度补偿，当系统温度变化时能够纠正系统中的相移。根据 PCB 的热时间常数，在有些情况下，当 PCB 逐渐达到稳定的温度时，补偿可能会有残留，从而导致确定的距离出现误差。

4.7.3.3 补偿残留产生的误差

基于 OPT3101 的系统具有多个不同校准和补偿，在系统校准文档中已列出。这些补偿能在很大程度上纠正系统的非理想因素，但由于二阶和三阶效应，可能会存在残留。这表现为距离误差。

4.8 系统功率

系统功率是 AFE 功率与发射器功率的和。OPT3101 器件是一个灵活的 AFE，可以在多种不同工作模式下运行，以达到所需的功率目标。《基于 ToF 的 OPT3101 远距离接近和距离传感器 AFE》中对此进行了详细解释。下面几节介绍了在设计符合指定功率目标的系统时需考虑的一些因素。

4.8.1 可用电源的数量

OPT3101 器件需要使用多个电源（在数据表中已列出），并且支持将所有电源连接到 1.8V、所有电源连接到 3.3V 或两者组合的模式。这对系统功耗有重要影响。

4.8.1.1 仅提供 3.3V 电源

TI 建议在内部 LDO 模式下使用 OPT3101。从功耗的角度来说，这不是最佳选择，因为 1.8V 电源的电流消耗来自于 3.3V 电源，在内部 LDO 中消耗功率以降压。

4.8.1.2 仅提供 1.8V 电源

从功耗的角度来说，这是最佳选择，但环境电流支持有所降低，详情可在数据表中找到。请注意，发射器阳极仍须连接到更高的电压，这取决于正向电压以及 TX0、TX1 和 TX2 引脚上所需的电压，以满足数据表中的偏置要求。

4.8.1.3 1.8V 和 3.3V 电压均可用

如果使用专用于 OPT3101 AFE 的 LDO 产生 1.8V 电压，则没有可用于使用外部 LDO 的点，因此 TI 建议使用内部 LDO。如果使用直流/直流转换器产生 1.8V 电压，或有现成的可以使用，则组合使用 1.8V 电压和 3.3V 电压给 OPT3101 AFE 供电能够实现最佳系统功耗。

4.8.2 数据速率和活动系数

数据速率通常指定为基于应用需求进行设计的系统矢量参数。例如：ATM 自助亭应用可能需要以 5sps 的速率运行。活动系数是指时间比率或占空比，表示系统为了达到预期性能所需运行的实际时间。例如：5sps 相当于每 200ms 1 个数据。

如今系统只需在 200ms 内运行 50ms 用于收集实际距离信息。系统可以配置为在剩余 150ms 内进入深度睡眠。这意味着活动系数为 0.25 或占空比为 25%。消耗的总功率可以根据《[基于 ToF 的 OPT3101 远距离接近和距离传感器 AFE](#)》中提供的有效功耗和深度睡眠功耗进行计算。需要了解的一个重要事实是，系统性能取决于特定数据速率下的活动系数。当然，活动系数越高，系统的噪声性能越优异，因为它会基于更多器件样本求取平均值。

4.9 尺寸

系统的尺寸主要由光学器件决定。一般来说，系统的测距范围越远，需要的透镜采集面积越大，因此系统尺寸也更大。不同参数之间的实际关系及约束在[节 7.5.1](#)中进行了阐述。

5 光电二极管的选择

本节指导性地阐述了在选择合适的光电二极管时需要考虑的因素。

5.1 光电二极管的类型

PIN 光电二极管的响应性和转换时间很快，因此建议使用。

5.2 波长 (λ , 单位: nm)

光电二极管基本上响应宽泛的波长带宽（光谱带宽），但其敏感度只有在特定波长下才会达到峰值。光电二极管最好在该波长下工作，以发挥最佳性能，但不严格要求。光电二极管的光谱带宽越宽泛，它从日光或其他环境光产生的电流对系统的限制越大，因此具有与所关注的波长接近的内置滤波器的光电二极管有助于提高环境性能。对于选择光电二极管的峰值波长，没有提供具体指导，但这是一个重要的系统设计的要求，在[4.3 节](#)中进行了介绍。

Normalized Spectral Sensitivity(Photodiodes)/Emission(Emitters) for components

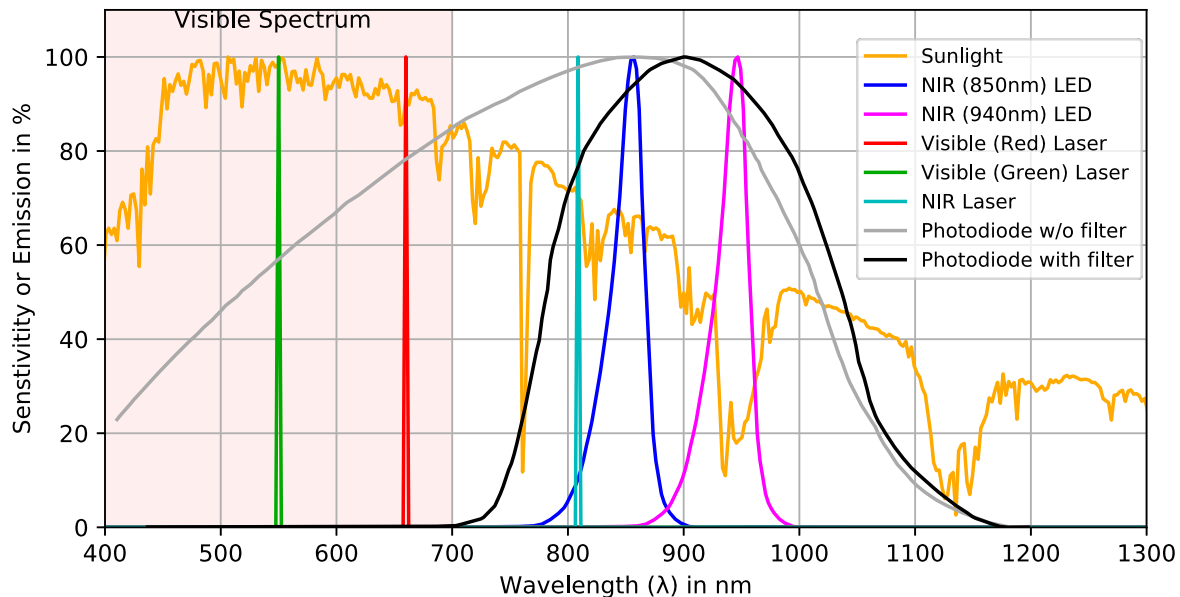


图 10. 不同发射器和光电二极管的光谱响应与太阳光谱比较

5.3 响应性 (Y , 单位: A/W)

光电二极管的响应性以 A/W 为单位, 决定投射到光电二极管上的单色光 (指定波长) 在特定功率下产生的电流 (以安培为单位)。波长变化导致响应性变化, 如图 10 所示。当多色光投射到光电二极管上时, 产生的电流是光源和光电二极管光谱曲线的乘法积分。此项计算对于环境电流计算 (尤其是日光) 非常重要。

5.4 辐射敏感面积 (a , 单位: mm^2)

该面积表示光电二极管的光敏面积。它决定了当投射到光电二极管上的光的辐射度 (W/m^2) 一定时, 光电二极管所产生的电流。在无透镜系统中, 这直接决定光电二极管在特定照明功率下产生的信号和环境电流。显然, 光电二极管越大, 系统越敏感。但光电二极管越大, 还会导致结电容越大, 从而影响系统性能。在基于透镜的系统中, 此参数可用于确定满足特定 FoV 和堆栈高度要求所需的透镜焦距。

对于特定透镜的焦距和光圈, 光电二极管越大, 则 FoV 越大, 从而影响系统性能, 但因透镜对准而造成制造容差问题的可能性也会更低。

5.5 结电容 (C_j , 单位: pF)

在 OPT3101 系统中, 光电二极管以常数 1V 反向偏置。因此, 以 1V 反向偏置的光电二极管的结电容决定系统性能。图 11 显示一个典型光电二极管的偏置电压与电容的关系。从该示例中可以看到, 它在光电二极管曲线 1V 偏置电压下提供 6pF 结电容。光电二极管产生的电流在寄生结电容和 AFE 输入端之间分流。基于 AFE 的耦合电容器和光电二极管结电容, 计算耦合损耗。在数据表中对此计算进一步进行了详细介绍。

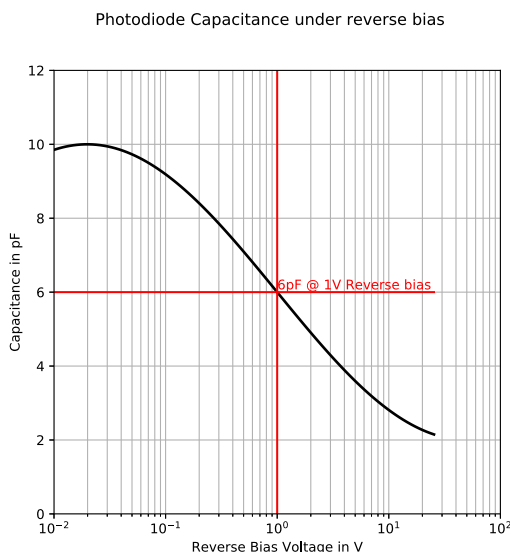


图 11. 光电二极管的反向偏置结电容曲线

5.6 反向光电流

该参数是将响应性、光敏面积和透镜集成综合考虑进行表示的一种方法。有些光电二极管制造商更倾向于指定此参数，而不是单独指定每一个组分，再根据各组分值确定此参数。它通常指定为 $1\text{mW}/\text{cm}^2$ 单色光投射到光电二极管上产生的电流，单位为 μA 。该电流通常针对 5V 反向偏置进行指定，但即使是 1V 反向偏置，它也不会有太大变化，因此使用该值亦合理。

$$\text{IrPD} = \text{响应性 (A/W)} \times \text{光学增益} \times \text{光电二极管面积 (cm}^2\text{)} \times 1\text{mW}/\text{cm}^2$$

光学增益 = 1, 无透镜情况 (2)

5.7 上升和下降时间

OPT3101 器件的工作频率是 10MHz ，因此建议使用上升和下降时间 $\leq 10\text{ns}$ 的光电二极管。选择具有较大上升和下降时间的光电二极管可能会降低性能。

5.8 透镜集成和视场

光电二极管的透镜能够提高光电二极管在指定照明功率下的光收集能力，从而提高性能。透镜光圈面积与光电二极管面积之间的比率决定了可以实现的透镜增益。

透镜光圈决定系统的光收集能力，而焦距及透镜与光电二极管之间的距离则决定接收器的 FoV。基于这一点，有些制造商提供带透镜的光电二极管，以提高光电二极管在窄 FoV 应用下的性能。

不带透镜的光电二极管的 FoV 较宽，与入射光的入射角之间的关系表现为图 12 中 $\pm 60^\circ$ 对应的曲线。

但有些光电二极管自带集成的透镜，比不带透镜的光电二极管能提供更出色的反向光电流，但会降低 FoV。

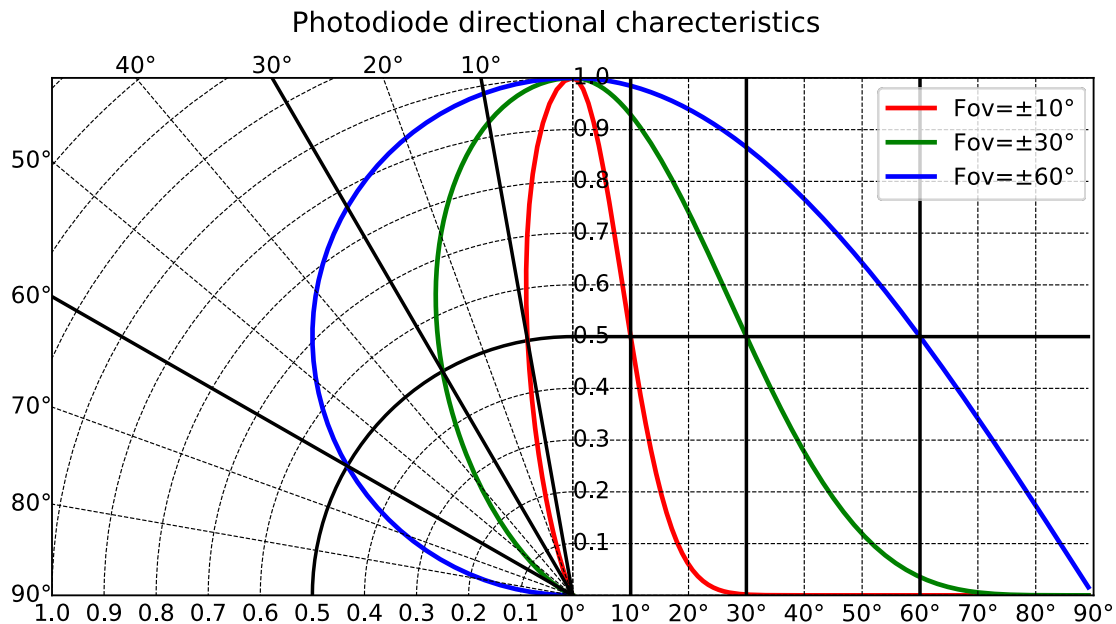


图 12. 不同 FoV 的光电二极管的角度响应

5.9 封装和外壳类型选择

光电二极管提供多种具有不同焊接选项的封装和外壳。SMD 组件往往具有剖面厚度，因此具有更好的寄生和串扰弹性。

在 8.4 节中对此进行了详细介绍。基于应用要求，可以根据系统要求选择侧视、鸥翼或穿孔光电二极管。一般而言，具有更小引线 and 更低剖面（厚度）的光电二极管往往具有更优异的性能。

6 照明器选择

本节针对照明组件的选择提供指导。

6.1 照明器类型

下面几节介绍三种主要的照明器类型。并且阐述选择特定照明器而不选择其他照明器的原因。

6.1.1 LED

LED 是最常见，也是最经济的照明器类型。LED 提供广泛的波长、功率级别和 FoV 可供选择。由于光提取损耗，LED 的效率较低，而且热耗散也不如其他照明器。LED 发出的光不连贯，而且光源表面积大，因此很难准直为窄光束。但 LED 适用于要求 FoV 大于 $\pm 3^\circ$ 左右的应用。LED 具有稳固的结构，ESD 性能和失效率更优异，因此比其他类型的发射器更适用于汽车应用。根据发射器的功率，可能需要进行 FoV LED 认证和灯光源分类。

6.1.2 激励式发射器

6.1.2.1 边发射激光器

边发射激光器适用于选定分配器的特定波长和功率级别。它比 LED 更加昂贵，但效率更高。产生的光连贯，光源面积小，因此可以进行高度准直。例如，具有准直透镜的激光器光源可以聚焦到直径为几毫米的窄光束，并且在长达几米的距离内都能保持其光束直径。但高功率激光器可能有害，并且受到出口管制法规的限制，因此需要进行额外认证（参阅节 6.2.1.4）。这些发射器对 ESD 和过压损害非常敏感。在照明电路中增加保护电路可以延长系统的使用寿命。

6.1.2.2 垂直腔面发射激光器 (VCSEL)

VCSEL 与激光器类似，但 VCSEL 具有特殊的结构，可以成为具有不同功率级别的高效发射器。有些 VCSEL 可以按照所需规格进行定制。鉴于其物理结构，VCSEL 的发射器效率最高，封装外形尺寸最小巧。VCSEL 的光连贯，可以进行高度准直，与边发射激光器相似。VCSEL 封装也可以设计为在封装中集成特定漫射器，以实现所需的强度分布。但高功率 VCSEL 可能对人眼有害，因此受到出口管制法规的限制，并且需要进行额外认证（参阅节 6.2.1.4）。这些发射器对 ESD 和过压损害非常敏感。在照明电路中增加保护电路有助于延长系统的使用寿命。

6.2 发射器规格参数

6.2.1 波长 (λ , 单位: nm)

根据所选的发射器，发射特征可能有所变化。LED 的发射光谱比激光和 VCSEL 的发射光谱更宽，主要归因于生成照片的机制。中心波长是在发射器数据表中指定的一个典型参数。在选择中心波长时，应考虑下面几节所讨论的问题。

6.2.1.1 裸眼可见性

某些应用需要使用可见波长，使得被测量的点裸眼可见。例如，使用大约 660nm 波长的 LED 显示为红色点，而大约为 500nm 波长的 LED 显示为绿色，超过 850nm 波长的 LED 显示为微弱的红色光。

6.2.1.2 介质传递性

空气通常对各种波长的传递性均相似，但对于需要系统在雾、烟或液体条件下工作的应用来说，在选择波长时则须考虑介质的传递性。例如，在雾天，较长波长的传输距离往往比较短波长的传输距离更远。

6.2.1.3 系统性能

光电二极管和发射器的中心波长相匹配对于实现系统最佳性能至关重要。选择不同的中间频率不仅会降低性能，而且还会减小信号环境比，但最大限度地提高该比值对于高环境应用非常重要。在所考虑的波长内集成的发射器和光电二极管的有效性能品质因素与波长的乘积响应曲线。

6.2.1.4 眼睛安全及认证

每个波长的眼睛安全认证限制各不相同。基于对激光器或 VCSEL 光源和 LED 所选的波长列出的合规检查和测量不同。因此，在选择中心波长时，也必须考虑这些参数。

6.2.1.5 对其他系统的干扰

在有些情况下，可能不允许存在特定波长的调制光源，以免干扰其他测距仪。此时应选择相差较大的波长，以最大限度地减少干扰，从而有利于系统共存。

6.2.2 辐射强度 (mW/球面度)

辐射强度针对 LED 的特定正向电流而指定。该参数与正向偏置之间大体呈线性依赖关系，但一些 LED 制造商在数据表中提供了显示此依赖关系的曲线图。球面度是指光圆锥在与发射器平面垂直的轴上投射形成的立体角（以弧度为单位）。 2π 球面度是指一个半球。例如，如果 LED 指定在 100mA 下的光强度为 500mW/球面度，则意味着如果送入 100mA 电流，它将在中心轴附近产生 500mW/球面度光强度。如果考虑整个发射半球，则总功率输出应为 $500\text{mW} \times 2\pi = 3.14\text{W}$ （近似值），但事实并非如此。通常情况下，数据表中会提供曲线图，显示辐射强度随着与轴的距离增加而逐渐下降的情况。最后的总输出功率将大大低于前面示例中给出的值。窄角 LED 的辐射强度（中心位置）通常更高。

6.2.3 半角 (\pm 度)

半角是从垂直于平面的轴测得的角度（二维角），其辐射强度下降至峰值辐射强度（通常在角度为 0 时达到峰值）的 50%，如图 13 所示。对于特殊分布的 LED，辐射强度不一定在角度为 0 时达到峰值。以下合理近似值用于计算不同距离处的检测点大小。例如， $\pm 10^\circ$ 系统的点大小如下：

$$\text{点大小} = 2 \times \tan(10^\circ) \times \text{距离} \quad (3)$$

结果证明，半角为合理的近似值，根据辐射强度与角度的关系曲线，系统响应超过半角的角度，在节 7.5.1 中对此进行了阐述。

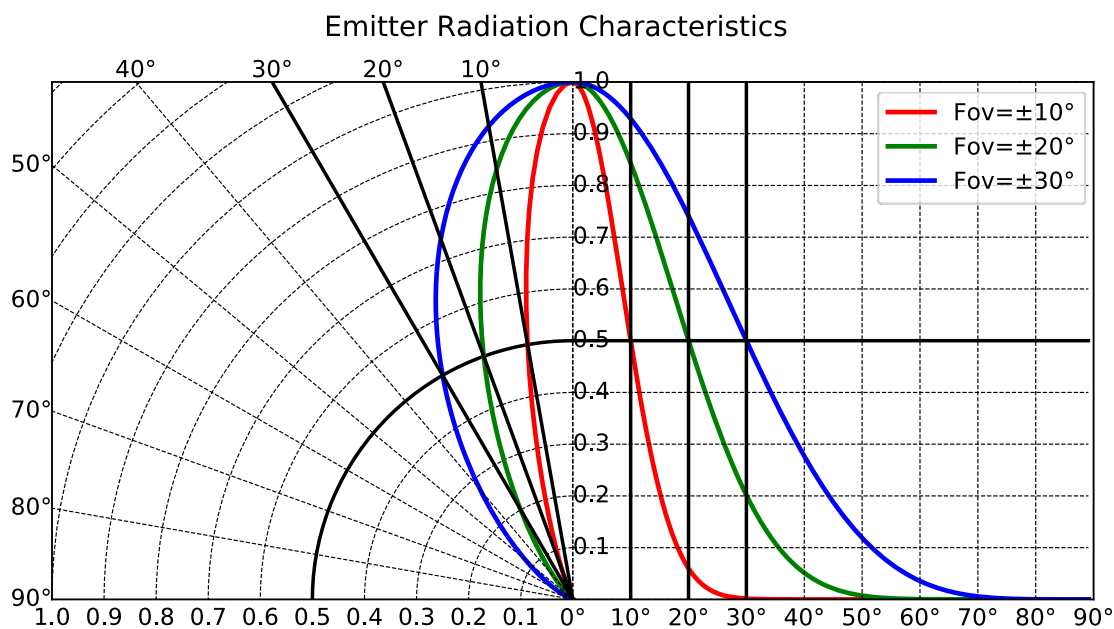


图 13. 具有不同 FoV 的 LED 的角度发射

6.2.4 总辐射通量 (mW)

总辐射通量针对 LED 的特定正向电流而指定。它是 LED 发出的所有光功率的度量。可用于计算光电二极管的效率。

$$\text{总辐射通量} / (\text{正向电流} \times \text{正向电压}) \times 100 \text{ 得出 LED 的效率 (以 \% 表示)} \quad (4)$$

总辐射通量还可以通过对 0 至 2π 立体角范围内的辐射强度进行积分计算而得出。

6.2.5 阈值电流 (mA)

阈值电流是为激光器和 VCSEL 发射器而指定的参数。它是指当激光器或 VCSEL 开始发射连贯光时的电流。当电流低于阈值电流时，发射器表现得类似于 LED，发射出高度发散的不连贯光。在这种工作条件下，很难将光源准直为小发散角（如同准直 LED 一样困难）。在高于阈值电流的电流下工作可确保高效、连贯。

6.2.6 光束发散度（单位：度）

光束发散度是为激光发射器而指定的参数。由于激光器光束发散为椭圆形，因此通常指定 2 个值。此参数用于计算准直激光器光束所需的透镜的数值孔径。在选择合适的透镜以实现所需的准直质量时，有许多指南可供参考。本文不对此展开讨论，但有许多公开资料对此流程进行了阐述。

6.2.7 正向电流 (mA)

正向电流指定器件可在直流工作条件下工作时的发射器额定电流。诸如正向电压和辐射强度等大部分特性的指定值都以额定正向电流流经发射器为条件。

6.2.8 占空比热限制

尽管发射器额定为在直流条件下的正向电流下运行，但它们实际上是以更高的峰值电流在更短的占空比下运行的。保证其安全工作的峰值电流由实际运行的占空比决定。在图 14 中已指定。建议在选择组件时进行仔细研究。在基于 OPT3101 的系统中，工作占空比为 50%。可以基于此选择发射器，以最大限度地提升系统性能。

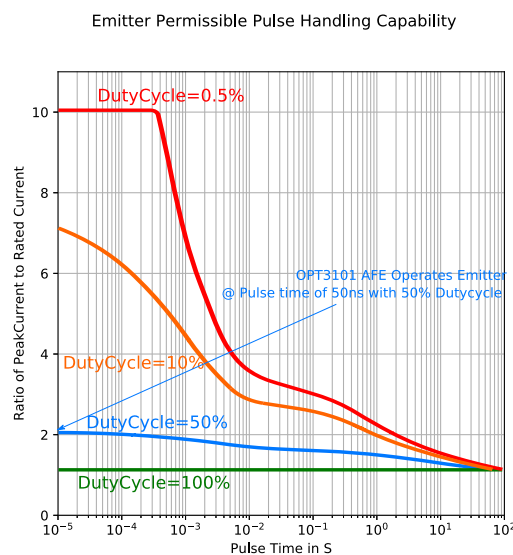


图 14. LED 占空比热限制曲线图

7 光学设计

光学设计是确保实现所需应用功能的重要元素。在设计完整系统（包括产品外壳）前了解光电子组件和光学系统的行为非常重要。光学设计需要考虑多个方面的因素，本节将对此进行阐述。

7.1 计算和近似值

在理想的射线光学仿真中，需要对每一条射线进行解算和求和，以得到整体系统响应。这有时极不切合实际，而且所产生的效益也不会明显优越于简化的计算。为了解其原因，则需理解射线光学背后的计算。

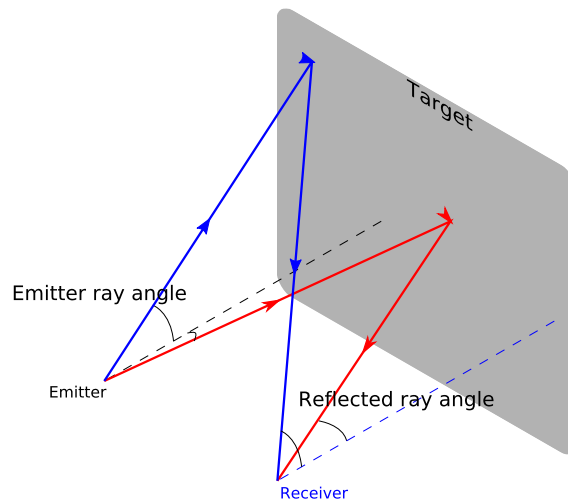


图 15. 传输光和接收光射线图

在图 15 中，只考虑了两束来自光学系统的射线来进行阐述。两束射线都由发射器发出，经目标反射后到达接收器。这两束射线之间的重要区别在于红色射线与发射器和接收器之间的角度更小，而蓝色射线的角度更大。此外，2 束射线的行为也存在重要差异。

- 射线的强度取决于射线从发射器发射出来的角度。它基于发射器的角度响应，类似于图 13。可以看出，强度在很大程度上取决于角度。显而易见，红色射线的最终强度比蓝色射线高，因为蓝色射线的角度比红色射线的角度更大。
- 接收器与发射器类似，也具有角度依赖性，如图 12 所示。显然，在这种情况下，红色射线最终产生的光电流也将高于蓝色射线产生的光电流（即使考虑强度相同亦如此）。
- 假设该目标为朗伯体目标，发射器发射的光仅有一部分被接收器捕获。蓝色反射射线的行程距离比红色反射射线的行程距离长，因此将进一步被光电二极管视为强度减弱。
- 接收器捕获孔径或表面与接收器的轴正交。由于蓝色反射射线的接收角度比红色反射射线的接收角度更大，因此也会造成相关余弦角损耗。

基于上述因素可以看出，每条射线都受到多方面因素的影响。要最准确地表示系统行为，必须对每条射线单独解算后再求和，以获得最接近的估测值。

显然，基于多重关注因素，更高角度的射线最终产生的光电流更低。这是系统视场增加导致系统性能显著下降的一个重要原因。

考虑到人工完成所有这些计算不切实际，因此便有了系统估算工具基于所有这些考虑因素对系统性能进行解算和估测。

如果系统的视场较窄（尤其是小于 $\pm 10^\circ$ ），多个因素可以近似为集中射线模型，通过人工计算仍然可以得到比较准确的系统估测值。

7.2 光学隔离

发射器与接收器之间的光学隔离对于实现良好的系统性能非常关键。延续上一节的阐释，发射器发射到接收器的光出现任何一点泄漏，都会导致系统不可用。下面提供了关于此类光泄漏的几个例子。

- 次优光学隔离设计
- 所选的组件隔离材料差
- 光学隔离安装中存在间隙
- 保护玻璃设计差

作为功率级别参考，在典型的基于 OPT3101 的系统中，发射器功率大约为几十毫瓦 (mW) 光学功率。而接收器接收到的光学功率为几百皮瓦 (pW) 至几百纳瓦 (nW)。假设用于光学隔离的隔离材料衰减 1000 倍，则经由材料泄漏的信号功率比预期目标信号的功率低几个数量级，所以仍会使系统饱和。因此选择适当的组件并设计隔离对系统性能起着绝对关键的作用。

下图显示用于平面和锥形保护玻璃设计的多种实现类型及性能比较。

- 下图的类型 (a) 为双腔双玻璃设计：该系统的性能最优越，因为内部反射的光被完全阻断，无法进入光电二极管腔体。它需要 2 个保护玻璃，这可能不切实际，而且无法用于某些应用。
- 下图的类型 (b) 为双腔单玻璃设计：如果 (a) 不适用，则该设计为次优选择。它能够在发射器和光电二极管腔体之间提供较高度度的隔离。
- 下图的类型 (c) 为复合腔单玻璃设计：这是最次的设计选项，可能导致腔体之间的隔离较差。

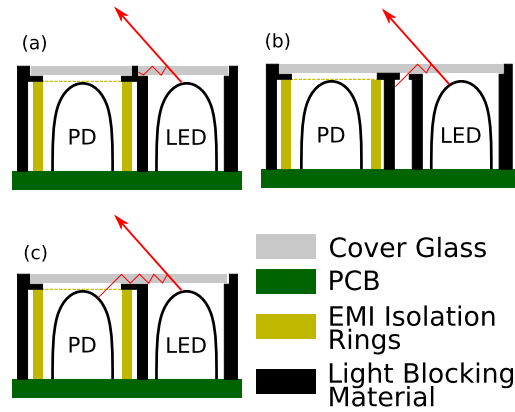


图 16. 平面保护玻璃的保护玻璃设计

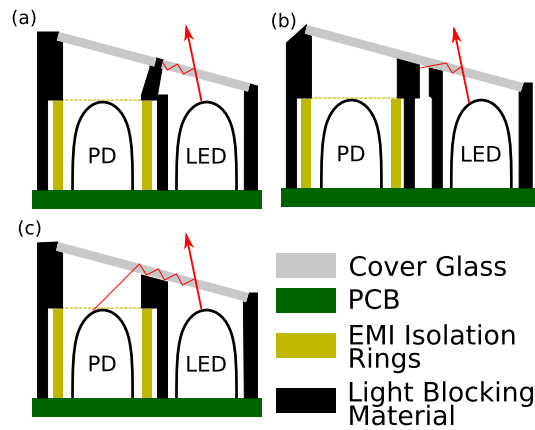


图 17. 斜角保护玻璃的保护玻璃设计

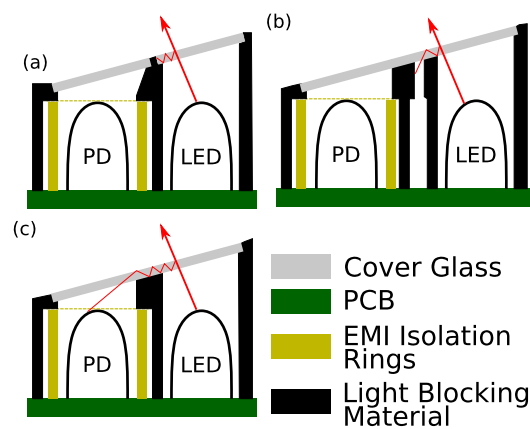


图 18. 斜角保护玻璃的保护玻璃设计

在上图提供的锥形玻璃示例中选择一种后，图 18 的放置方式优越于图 17，因为光电二极管孔径不受光学隔离结构的限制。

图 19 显示了一些光学隔离结构的 3D 示例图。

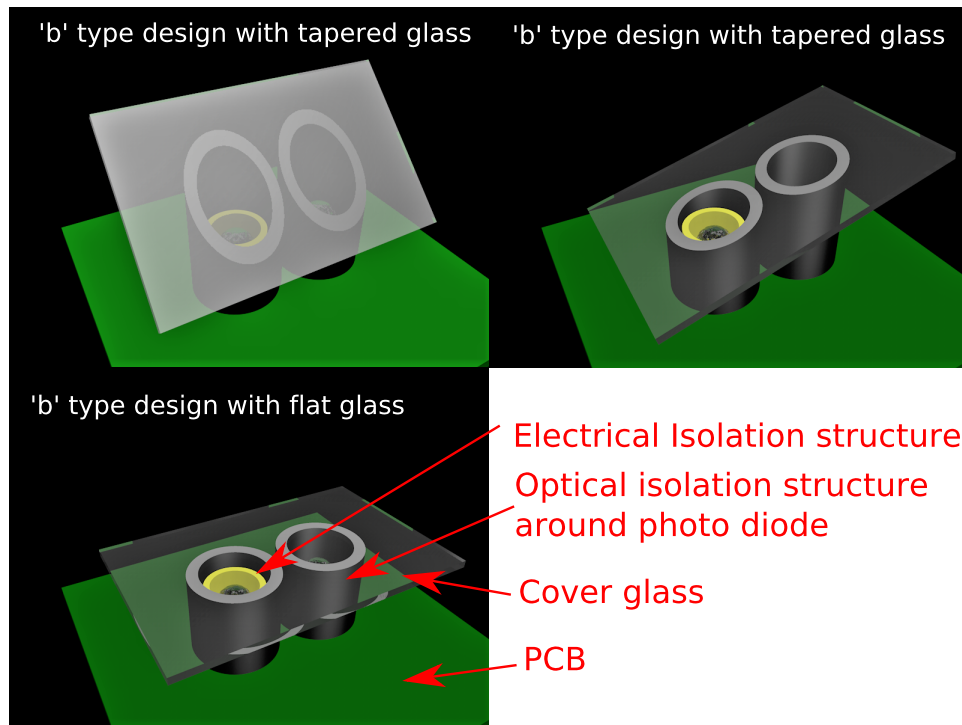


图 19. 双腔普通玻璃 3D 示例图

如图 19 所示，这里提供了隔离和保护玻璃设计的一些示例。基于应用要求，还可以通过其他方式实现这些结构。本节旨在帮助用户了解隔离和保护玻璃设计的重要性。用户应特别注意，以最大限度地减少光泄漏，这有助于最大限度地提高系统性能。在系统设计中还需考虑保护玻璃的光传输损耗。这是为了补偿光功率衰减。

7.3 光学美观性

一些系统需要将传感器隐藏在深色玻璃后，使其对用户不可见，这对于使用近红外波长发射器和接收器的系统是可以实现的。在选择深色玻璃时，需仔细考虑以下几个方面。

- 可见区域深色玻璃（为了隐藏系统）的波长响应和需要关注的波长区域（典型例子为近红外）
- 透光性以及需要在关注的波长下的传递性
- 上一节对双玻璃设计与单玻璃设计进行了详细比较。

7.4 发射器光学设计

基于 LED 的发射器通常自带集成的光学器件，以在所需视场提取光。如果选择这类发射器，则发射器的光学设计流程非常简单。可能无需额外使用光学组件或透镜。

基于 VCSEL 或激光器的发射器通常没有集成的光学器件，因此需要使用透镜将光束准直到所需光束宽度和准直度。在有些情况下，可能需要在 LED 表面增加透镜，将角度准直到小于 LED 原来提供的角度。在这类情况下，需要基于光学分析选择合适的光学组件，以达到所需的视场特征。

有大量可公开获得的准直教程清晰提供了关于如何选择光学组件的指导。出售产品目录透镜和光学组件的热门网站提供关于如何选择准直透镜的教程和白皮书。

7.5 接收器光学设计

接收器光学设计对系统设计和性能具有最显著的影响。在有些应用中，特定视场要求限制了光学设计，这往往会限制系统性能。本节将详细讨论孔径、焦距、视场和系统性能之间的关系。

一些光电二极管组件自带集成的透镜，此时在系统中再增加其他光学器件或透镜毫无作用。在这种情况下，系统性能受限于数据表中指定的组件光学特性。一般原则是，可以基于组件的视场计算出等效的透镜特性，本节将在后面进行详细解释。

7.5.1 接收器透镜

可能遇到的第一个问题如下。是否需要使用透镜作为接收器光学器件的一部分？简单来说，答案是肯定的。它有助于提高性能，除非视场大到足以抵消透镜给系统性能带来的好处。

7.5.1.1 透镜孔径

透镜孔径决定透镜的光收集能力。

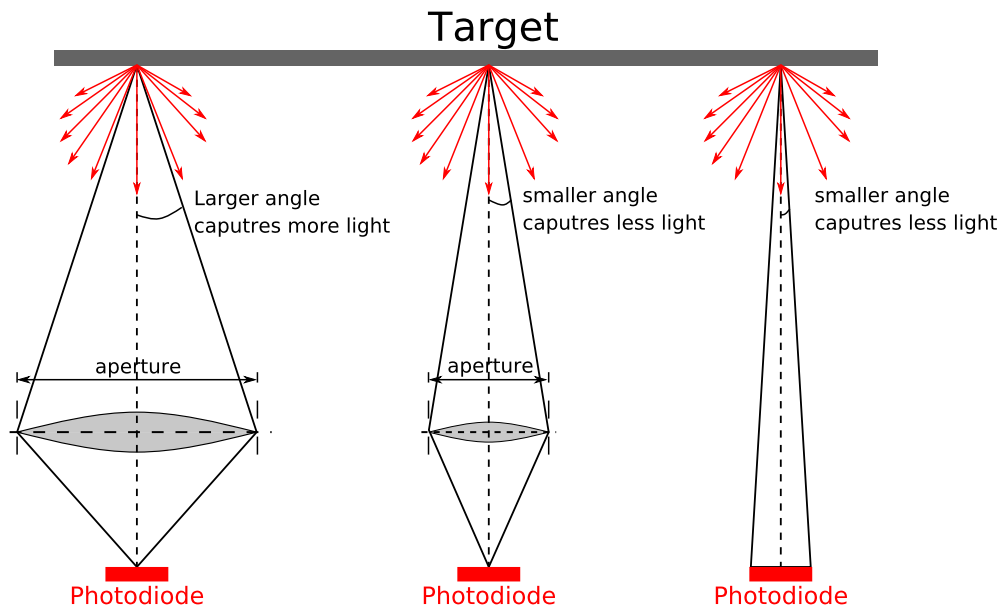


图 20. 带/不带透镜的接收器光学器件

在图 20 中，目标为朗伯体，并且使用 1mW 光学功率的激光棒进行照明。假设反射体的反射率是 100%，朗伯体反射的光线全部加起来达到 1mW，如图所示。换句话说，1mW 功率分布在来自反射点的所有射线构成的半球形中。光电二极管捕获的光量取决于光学系统与反射点形成的角度，如图所示。

图中显示了三种情况，其中 2 种使用透镜，另外 1 种未使用透镜。从图中可以看出，两个透镜的焦距（聚焦能力）完全相同，但孔径（光收集能力）不同。对于给定的目标距离，孔径最大的透镜显然能比孔径较小的透镜收集到最多的反射光量，而使用透镜所收集的光量则比不使用透镜收集的光量更多。

在实际系统中需要了解的另外一个重要事实是，孔径（几毫米）通常比到目标的距离（几百至几千毫米）要小得多，使得角度非常小。系统实际上只捕获了极少的一部分反射功率（在此示例中为 1mW）。

举一个参考示例，距离约 1000mm，孔径为 5mm 时，对于目标反射出来的 1mW 光功率，仅有 6nW 被孔径捕获。在该示例中，如果将孔径增倍到 10mm，则捕获的光功率为 25nW。

这可以通过以下公式进行计算

$$\text{subtendedHalfAngle} = \tan^{-1} \frac{\frac{\text{aperture}}{2}}{\text{targetDistance}}$$

$$\text{lightCapturedByApertureAsRatio} = \frac{(1 - \cos(2 \times \text{subtendedHalfAngle}))}{2} \quad (5)$$

它以距离的平方反比迅速减小。这也是光学系统文献中经常提到著名平方反比定律的由来。孔径面积与光电二极管面积比被称为光学增益。可以看到，光学增益与孔直径的平方成正比。

7.5.1.2 透镜焦距

焦距指示透镜的聚焦能力。该参数决定接收器系统的视场，取决于光电二极管的尺寸。另外一个决定视场的关键参数是光电二极管与透镜之间的间距。

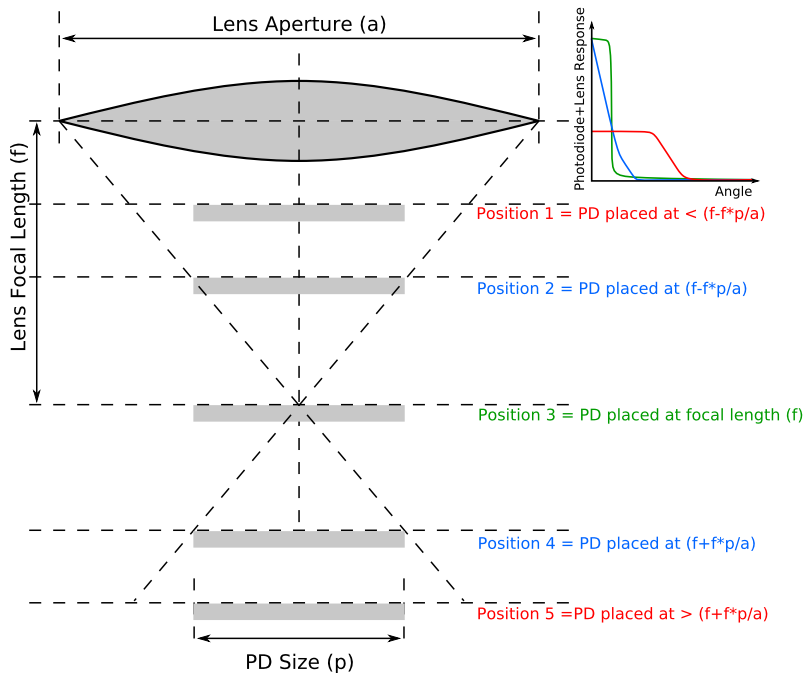


图 21. 光电二极管与透镜之间的相对位置

上图（图 21）显示接收器对光电二极管与透镜焦距之间相对位置的敏感度。放在位置 2 和 4 时的性能最佳。放在其他位置能提供光学增益，但不如放在位置 2 和 4 时获得的光学增益大。

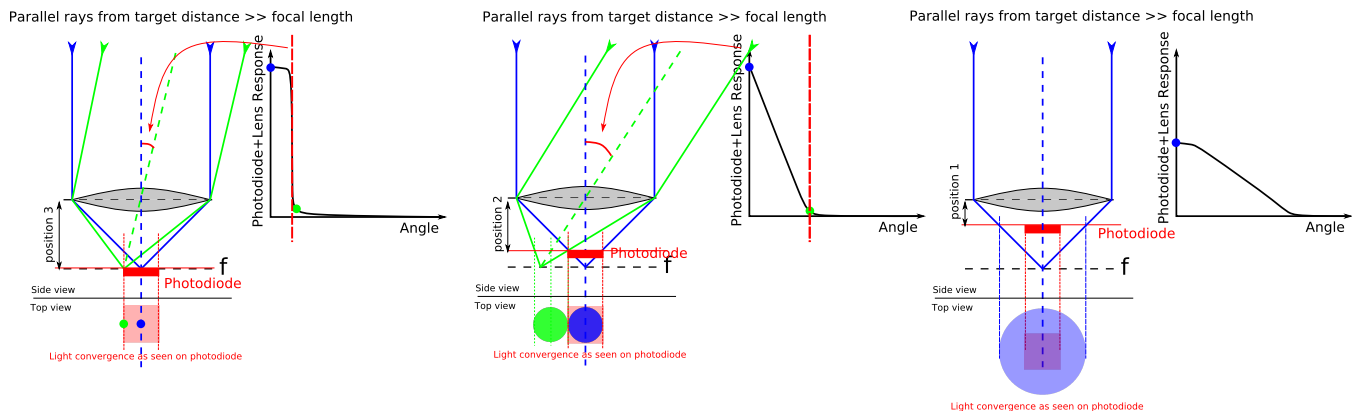


图 22. 薄透镜射线光学图

图 22 显示接收器光学器件的薄透镜射线图。在该示例中，光电二极管放在不同位置，以显示光学增益的影响和视场响应曲线。显然，只有放在位置 2 和 4 之间时，透镜才能有效地将整个孔径聚焦到光电二极管中。在其他位置，只有一部分光以特定的角度捕获。由于在特定的角度仅有部分光被捕获，因此整体光学增益下降，从而降低了系统性能。

透镜焦距（几毫米）远远小于目标距离（几百至几千毫米）。因此我们可以假定光电二极管大致放在透镜焦距位置，以便简化计算（如下一节所示）。

7.5.1.3 针孔模型

针孔透镜模型可用于在光电二极管尺寸和透镜焦距一定的情况下快速计算系统视场。从上文可知，我们可以放心假定（使用合理的近似值）光电二极管放在透镜焦距位置。从针孔透镜模型可以看出，透镜的焦距越长，则视场越小。

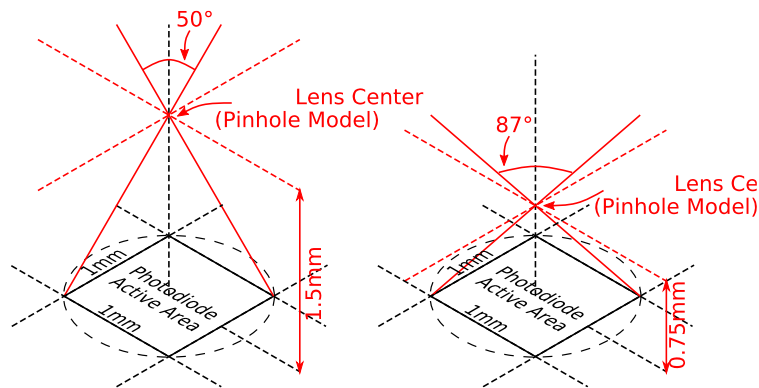


图 23. 针孔模型的视场

图 23 显示了使用 2 个不同透镜（焦距分别为 1.5mm 和 0.75mm）的 1mm x 1mm 光电二极管的计算示例。从这两个示例中可以看出视场具有显著差异（分别为 50° 和 87°）。它显示，视场更大的系统需要的透镜焦距更短。由于透镜的根本性局限，这一要求严重限制了大视场系统的性能，在下面将对此进行解释。

7.5.1.4 焦距与孔径的关系

上文已经说到，人们通常倾向于缩短焦距（以涵盖宽视场）并使用大孔径以提高光学增益。但透镜的根本性局限使得这一期望不切实际。

我们来思考图 23 的示例。假设 f/d 为 1，1.5mm 和 0.75mm 透镜的孔径分别为 1.5mm 和 0.75mm。根据前面对光学增益的计算，可以看到 87° 视场系统的光学增益比 50° 视场系统的光学增益低 4 倍。造成这一限制的原因全在于焦距不同及 f/d 限制。

值得注意的是，为了获得极高的视场，透镜焦距必须极低。在这种情况下，最后的孔径面积可能小于光电二极管面积，使得光学增益小于 1。光电二极管此时最好不使用透镜。

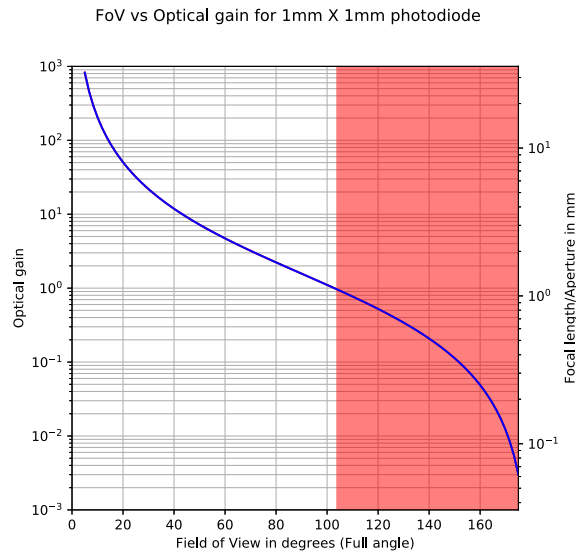


图 24. 视场与光学增益的关系

上图显示了当光电二极管面积为 1mm x 1mm，透镜 f/d=1 时，光学增益和孔径/焦距与视场的关系图。只有当视场很小时，才能获得更高的光学增益。随着视场的增加，光学增益迅速下降，以至于当视场全角大于 100° (±50°) 左右时，没有必要再使用透镜。

7.5.1.5 光学堆栈高度

我们在上文说过，将光电二极管放在透镜焦距位置附近可能让系统性能达到最佳。系统的堆栈高度取决于所使用透镜的焦距。更窄的系统能支持更大的焦距和孔径，获得更高的光学增益，同时也使得接收器组件更高。

由于这些计算涉及到薄透镜公式，因此如果加入透镜及组件的厚度，则实际堆栈高度可能会更高。在确定系统的最终工业设计前，建议进行光学仿真。

如果光电二极管组件包括集成透镜，则组件本身的数据表将指定用于确定光学堆栈高度的组件高度。

7.5.2 组件校准

在系统设计中应考虑多方面的组件容差。尤其是对于窄视场系统而言。

7.5.2.1 接收器和发射器视场

无论在任何情况下，接收器视场最好略大于发射器视场，具体取决于发射器与接收器在 PCB 上的分隔距离。可以通过简单的二维几何计算来计算所需重合，如下图所示。

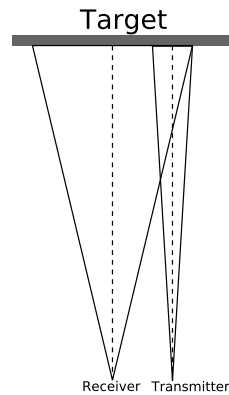


图 25. 视场重合

这也取决于目标距离范围。尽管视场被认为是硬界限，但在实际应用中，系统响应也会超出视场之外。这主要是因为光学系统的视场响应曲线没有明显的界限。这在有些情况下具有优势，使得视场覆盖范围要求可以宽松地界定为近似距离。但在有些情况下，可能会导致意外接收到来自所需视场以外的周边物体的响应，这可以通过周密的外壳设计来加以避免，例如为外壳选择非反射性材料。

7.5.2.2 安装容差

对于基于透镜的系统，在装配时透镜与光电二极管的位置和校准会影响系统性能。对此，视场较窄的系统比视场较宽的系统更加敏感。在系统设计期间，如果在为这些系统放置光电二极管、选择透镜和进行工业设计时考虑这些容差，将会有所帮助。

7.6 一般权衡标准

下面的一般权衡标准有助于衡量和了解在不同条件下的系统性能。

- 孔径对系统性能的影响：
 - 透镜孔径增加 2 倍……
 - 信号功率提高 4 倍，从而使 SNR 提高 4 倍
 - 在噪声和残留串扰一定的情况下，距离范围将增加 4 倍的平方根，即 2 倍
 - 在 f/d 以及光电二极管尺寸一定的情况下，焦距增加，因此 FoV 减小（如图 24 所示）
 - 由于焦距增加，因此堆栈高度增加 2 倍。
 - 由于 FoV 减小，因此安装容差更小
 - 减小 FoV，因此环境光收集能力减弱
 - 需要对发射器光学器件进行优化，以减小 FoV 并维持在发射器 FoV 范围内
- 视场对系统性能的影响
 - 所需的 FoV 增加 2 倍……
 - 在光电二极管尺寸一定的情况下，透镜焦距缩短
 - 在 f/d 一定的情况下，透镜焦距缩短会导致孔径减小
 - SNR 的缩小比例与孔径缩小比例的平方成正比
 - 由于 FoV 变大，环境光收集能力提高
 - 由于焦距缩短，因此光学堆栈高度减小。
 - 需要对发射器光学器件进行优化，从而使 FoV 增加 2 倍（这样一来，发射器的尺寸会导致性能进

一步降低)

8 PCB 设计

基于 OPT3101 AFE 的光学系统需要谨慎选择组件和布局隔离，从而使系统达到最佳性能。设计对 PCB 布局、放置方式和组件类型非常敏感。本节将解释其原因以及应对措施。

8.1 OPT3101 AFE 串扰

串扰是指当系统前面不存在目标时由 AFE 系统所检测到的信号。也可以指当目标太远而无法被系统检测到时，由 AFE 系统所检测到的信号。在确定系统的绝对误差和动态范围时，串扰起着非常关键的作用。

电气串扰源于从 PCB 上的发射器或数字开关网络到模拟侧的电磁耦合。光学串扰源于光学隔离或保护玻璃设计不良。7.2 节对光学串扰和装配考虑因素进行了解释。

OPT3101 AFE 主要只对与调制频率具有相同频率的开关网络敏感，即 TX0、TX1 和 TX2 引脚，以及接地和电源。

OPT3101 具有各种内置的串扰修正功能，在器件数据表和校准指南中会进行概述。但尽量最大限度地减少串扰对于实现系统的最佳性能非常重要。

尽管 OPT3101 AFE 自带各种串扰修正特性，但仍然会存在未修正的串扰，这主要来源于温度变化，即残留串扰。残留串扰才是真正限制系统误差性能的因素。

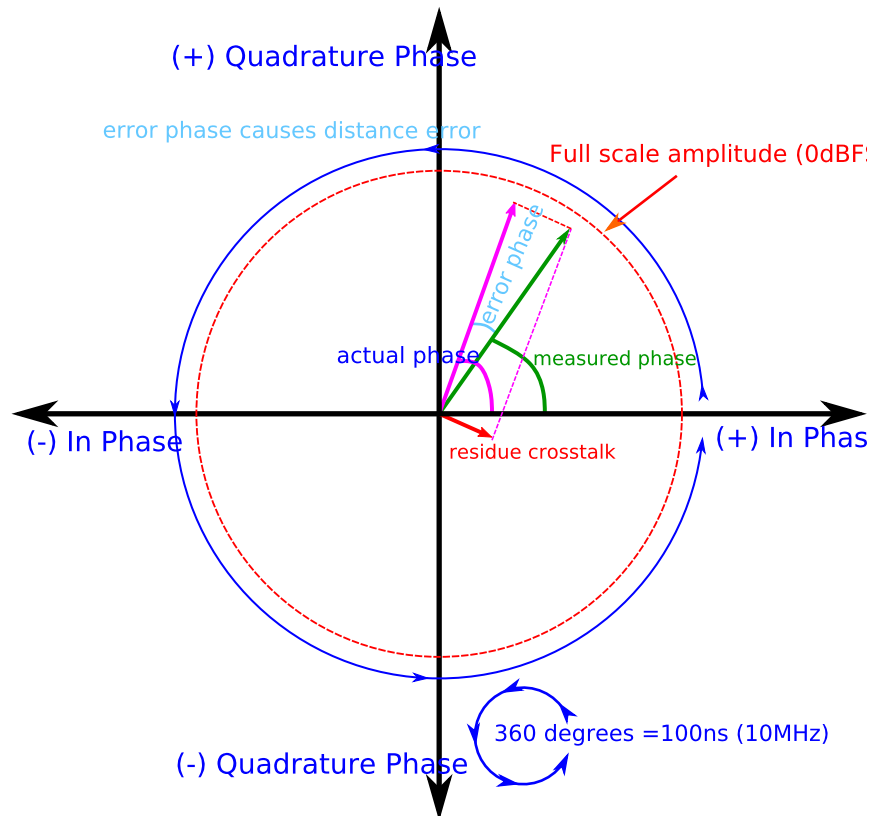


图 26. 残留串扰矢量图

上面的图 26 显示残留串扰对系统误差性能的影响及原因。减少残留串扰当然重要，但残留串扰本身是实际修正串扰的一个强函数。因此，控制并最大限度地减少串扰更为重要。本节仅讨论 PCB 设计及串扰缓解方法。

串扰以 dBFS 或振幅编码进行度量。对于满量程振幅为 32767 的 OPT3101，串扰可以通过满量程的参考编码进行表示。

8.2 功率规划

OPT3101 在电源级别上具有很大的灵活性，但模拟和数字电源必须仔细隔离。接地也是如此。有 2 种模拟电源，AVDD 和 AVDD3。两者都需要与数字电源 DVDD 和 IOVDD 进行隔离。

这同样适用于模拟接地 AVSS 和 IOVSS。第 3 个接地的噪声极大，其处理方式也有所不同，在后面将对此进行解释。

建议使用四层 PCB 进行隔离和屏蔽。如果层数较少，将会严重限制布局，给设计造成困难。

8.3 干扰源和受扰对象网络

OPT3101 AFE 输入网络 INP 和 INM 是适应电磁耦合的高阻抗网络。有 2 种耦合机制可以减少串扰 - 电压耦合和电流耦合。OPT3101 AFE 对除调制频率以外的其他频率的耦合免疫。因此来自直流/直流转换器的纹波频率或电路板上的其他时钟频率对串扰不会产生重大影响，但来自 TX0、TX1、TX2 网络的耦合即便再微弱，也会使串扰成倍增加。

受扰对象始终是 INP、INM、AVSS、AVDD 和 AVDD3 网络。干扰源为 TX0、TX1、TX2、VSSL、发射器阳极、IOVSS、DVDD。

8.3.1 电压耦合

OPT3101 AFE 将 INP 和 INM 引脚之间的差动输入检测为信号。到引脚 INP 和 INM 的任何直接寄生电容耦合都会被 AFE 视为信号。仅当对 INP 和 INM 的耦合效应相等时，耦合才会被视为共模而被拒绝。因此，保持 INP 和 INM 引脚之间的对称非常重要。所以，与光电二极管的电容值（AFE 对 INP 进行 1V 偏置）匹配的 INM 引脚上的电容器必须连接到 INP 引脚。

电压耦合的常见来源如下：

- 开/关 TX0、TX1 和 TX2 引脚
- VSSL 网络噪声（由于调制频率开关电流而反弹）
- 发射器阳极网络。即使提供大量去耦电容器，发射器阳极也会存在电压摆幅，如果不进行隔离，可能会在 INP 和 INM 之间产生差动耦合。
- 模拟和数字接地隔离不良会导致 AVSS 出现少量电压摆幅，从而在 INP 和 INM 之间产生差动耦合。
- 模拟和数字电源接地隔离不良会导致 AVDD3 和 AVDD 出现少量电压摆幅，从而在 INP 和 INM 之间产生差动耦合。

8.3.2 电流耦合

光电二极管和匹配的电容器构成受扰对象环路，对来自干扰源的磁电流感应敏感。让受扰对象环路尽量在同一平面（三维）并最大限度地减小面积，以实现最佳性能，这一点至关重要。

电流耦合的常见来源如下：

- 开/关 TX0、TX1 和 TX2 环路。TX 引脚可以承载最高 173mA 开关电流。即使是小的干扰源环路，来自干扰源的磁场也会诱发 INP、INM 受扰对象环路中的差动电流。这会被 AFE 视为串扰。
- 从电源到去耦电容器的去耦环路，尤其是对于发射器而言。

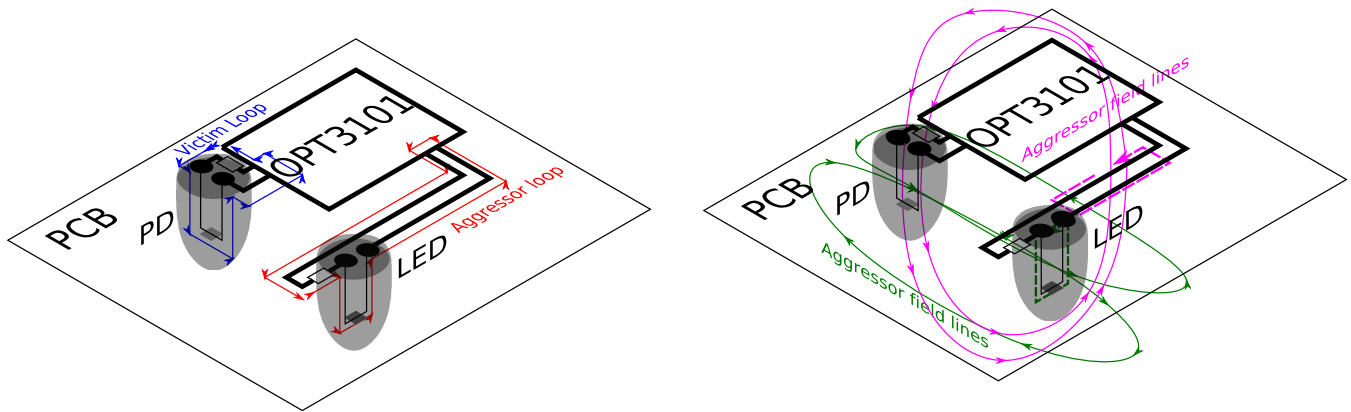


图 27. 带磁场线的 PCB 布局

上图显示在基于穿孔组件的 PCB 上形成的 3D 环路图。穿孔 LED 和穿孔光电二极管放置在底层，然后将 OPT3101 放置在顶层。红色环路表示干扰源环路，蓝色环路表示受扰对象环路。

不管如何减小 PCB 中的环路，3D 环路都仅取决于组件的引线长度，因此穿孔组件除了要满足所有布局指南的要求外，还需采用 3D 隔离结构。8.5 节对此进行了详细说明。

紫红色线条和绿色线条形象地显示了来自干扰源环路不同部分的干扰源所产生的少量磁场线。由于环路的每个分区在三个维度的方向不同，因此磁场线的行为和交互也与光电二极管受扰对象环路有区别。

由于 LED 与 PD 组件正交放置，因此绿色磁场线对 PD 环路引线的干扰最小。但紫红色磁场线会在 PCB 平面上的 PD 环路上产生感应。

8.4 有源组件选择

尽管本文 5 节中已经概述了光电二极管和发射器的选择过程，但本节将详细介绍与串扰相关的选择标准。

由于器件对串扰敏感，因此选择具有合适外形尺寸的组件有助于实现系统的最佳性能。通常情况下，使用更短的引线并进行闭合的组件有助于减少串扰。例如，SMD 光电二极管和 LED 使用极短的引线和引线间距，因此电容和电感耦合干扰较少。

引线越短，就如同电容器板越小，能够最大限度地减少电压耦合。引线越短，也相当于环路越小（因为它们伸出 PCB 板的部分较少），因此也提高了电感耦合。引线距离越近，也有助于减小环路面积。

例如，标准 T1 ¾ 穿孔 LED 和光电二极管的引线长度为 6mm，间距为 2.54mm。与之相比较，SMD 光电二极管和 LED 的引线长度仅 0.5mm，间距 3mm。垂直环路面积分别为 6 X 2.54 和 3 X 0.5，相当于减小 10 倍左右。

SMD 组件是避免串扰的理想之选，但具有集成光学器件的选项不多，因此可选择性有限。

8.5 电气隔离结构

即使十分谨慎地改进 PCB 布局，引线长度和间距也会使得环路面积较大，从而造成极高的电气串扰，降低系统动态范围。此类组件的示例包括穿孔 LED 和光电二极管。在这些情况下，建议在光电二极管周围使用与 AVSS 连接的电气隔离结构，将光电二极管与耦合隔离。

建议所使用的材料应具有良好的导电性、磁性非活动并且将外露 AVSS 焊盘焊接到 PCB 上。

一种常见的隔离结构是环。OPT3101 EVM 就在光电二极管和 LED 组件周围使用了这类环。EVM 环是带 ENIG（无电镀镍浸金）涂层的铜环，具备焊接能力和美观性。尽管只需在光电二极管周围使用，但为了美观，OPT3101 EVM 在两个组件上都使用了这种环。

SMD 组件则不严格要求使用隔离结构，但在光电二极管周围添加环可以有效地避免串扰

8.6 无源组件选择

去耦电容器和隔离磁珠对于隔离模拟和数字侧发挥着重要作用。由于 AFE 对调制频率敏感度最高，因此在进行选择前必须评估磁珠和电容器频率响应。在 10MHz 时具有高阻抗（500 欧姆或更大）的铁氧体磁芯磁珠对于有效提高性能非常重要。在 10MHz 时具有低 ESR 的去耦电容器具有更高的去耦性。

8.7 PCB 布局规划

将 PCB 分为模拟、数字和发射器分区有助于最大限度地减少耦合和串扰。

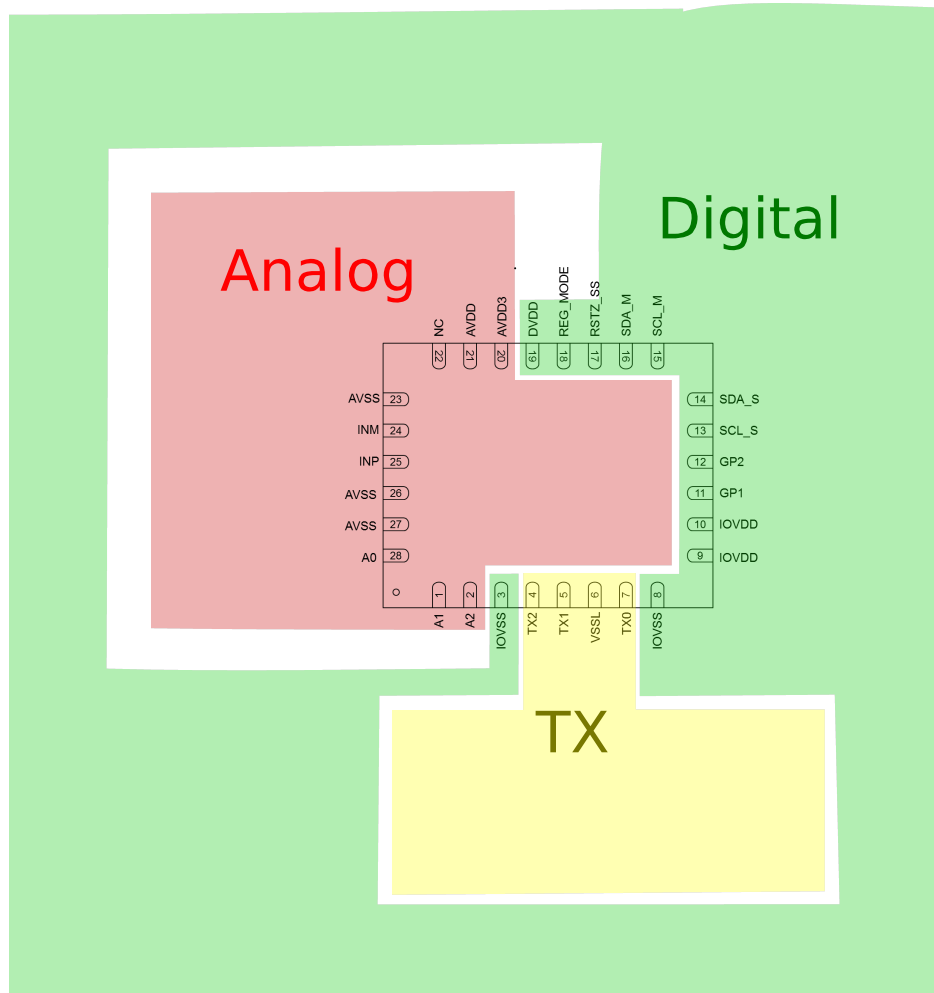


图 28. 建议的 PCB 分区

上图显示对 PCB 进行隔离的不同分区。

- 模拟分区：
 - 所有与光电二极管和输入相关的组件都必须放置在该分区并在该分区布线。
 - AVDD 和 AVDD3 去耦电容器必须放置在该分区。
 - 光电二极管周围的隔离结构需放置在该分区，并焊接到 AVSS 网络上。
 - 所有其他层也在同一分区，与 AVSS、AVDD 或 AVDD3 相关网络连接。

- 建议穿孔光电二极管组件周围的 AGND 穿孔也放置在该分区。
- TX 分区：
 - 由于 TX0、TX1 和 TX2 通道环路，这是一个产生高电流的分区。
 - 在该分区必须格外注意，尤其是与模拟分区进行隔离。
 - 发射器的去耦电容器必须放置在该分区。发射器电源的去耦电容器与 VSSL 网络连接。
 - 该分区周围必须使用 IOVSS 网络进行有效屏蔽。
 - 除了 OPT3101 AFE 器件所在的层外，其他层必须使用 IOVSS 提供更好的屏蔽。
 - 从 VSSL 到 IOVDD 的桥接去耦电容器必须放置在该分区。
- 数字分区：
 - 所有其他与 IO 相关的接地必须放置在该分区。
 - I2C 接口和其他主机 IO 与该接地连接。
 - IOVDD 去耦电容器必须放置在该分区。
 - 可以与其他 PCB 接地（主机处理器）共用同一接地。
 - 所有其他层也在同一分区，与 IOVSS 连接。

8.8 PCB 放置

放置方式必须能够优化环路区域，减小关键网络的布线长度。强烈建议遵照如下建议的放置顺序。

- 放置 OPT3101 器件
- 光电二极管和对应电容器必须尽量靠近 OPT3101 器件的 INP INM 引脚
- 将发射器放在尽量靠近 TX0、TX1、TX2 引脚的位置，以满足光学外壳限制和工业设计的要求。
- 将 OPT3101、发射器和光电二极管全部放在同一层，除非光电二极管和发射器均为穿孔组件
 - 如果发射器和光电二极管均为类似于 OPT3101EVM 这样的穿孔组件，则需将 OPT3101 放置在底层，发射器和光电二极管放置在顶层。
- 将发射器的阴极远离光电二极管放置，以最大限度地减少从发射器阴极引线到光电二极管引线的电容耦合
- 将穿孔引线和光电二极管正交放置（如示例和 OPT3101 EVM 布局中所示），使干扰源和受扰对象环路相互正交
- 将发射器的去耦电容器尽可能靠近发射器放置。
- 按照布局规划分区指南放置其他组件
- 请注意电气隔离结构中所需的间距和阻焊层开孔。

8.9 PCB 布线和填充

- 输入侧
 - 最大限度地减小光电二极管输入环路的布线面积
 - 避免在由 INP、INM 和 AVSS 网络组成的受扰对象环路上穿孔。
 - INP 和 INM 侧需尽量对称
 - 在环路 AVSS 侧的对称点进行单点连接
 - 这将使环路尽量错开。强烈建议将环路布置为独立实体，只需在从 AVSS 网络到 PCB 模拟接地的交点进行薄布线连接。下面显示了一些示例。

- 在输入环路下方填充至少 1 层 AVSS 直接层
- 修补环路周围的 AVSS 连接穿孔，以增强隔离。
- 发射器侧
 - TX0、TX1 和 TX2 线路的布线尽量与 VSSL 网络或发射器阳极紧密耦合。紧密耦合能确保最大限度地减小环路面积和电压反弹。
 - 如果是单一发射器通道，则避免在 TX 网络、VSSL 网络和发射器阳极上穿孔。
 - 如果是多个 TX 配置，则穿孔不可避免。可以在 TX 网络或 VSSL 上穿孔。
 - 使用 IOVSS 填充屏蔽这些穿孔以及其他穿孔
 - 使用 IOVSS 尽可能屏蔽 TX 和 VSSL 网络
 - 在干扰源环路周围的 IOVSS 网络上使用穿孔修补以提供更好的屏蔽
- 其他布线
 - 对关键网络进行布线后，可以使用剩余层和空间对其他网络进行布线

8.10 良好布局示例

下面几节提供实现系统最佳性能的一些良好布局的示例

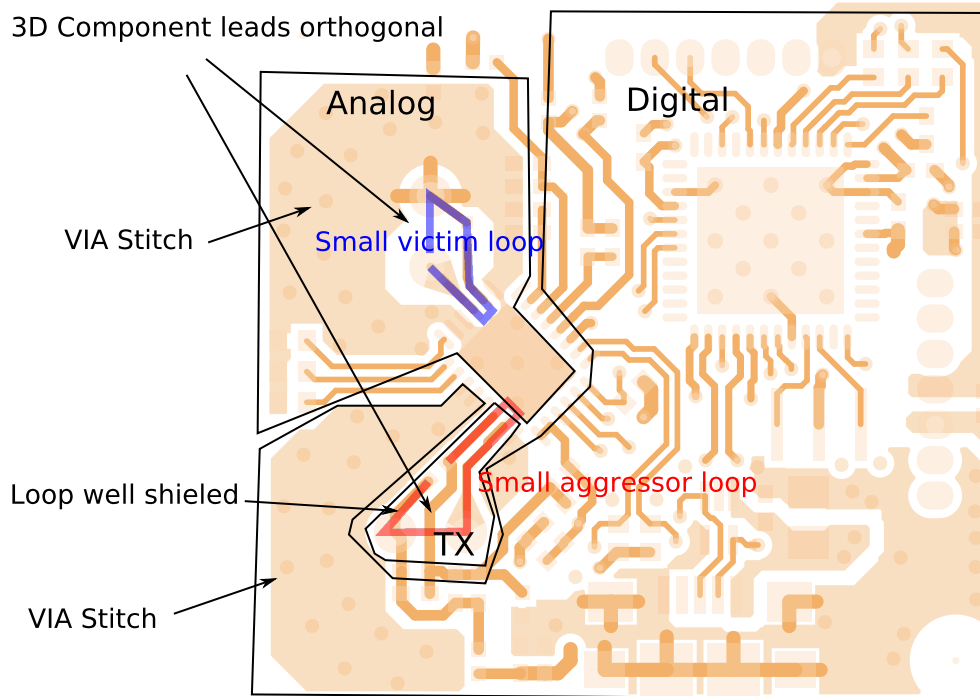


图 29. 良好布局示例 1

示例 1: OPT3101EVM 布局

- 这是一个由穿孔 LED 和穿孔光电二极管构成的 4 层 PCB
- PD 和 LED 在底层相互正交放置
- OPT3101 AFE 器件放置在顶层
- 模拟、数字和 TX 分区良好隔离

- 干扰源和受扰对象环路极小
- 通过穿孔修补增强隔离和屏蔽

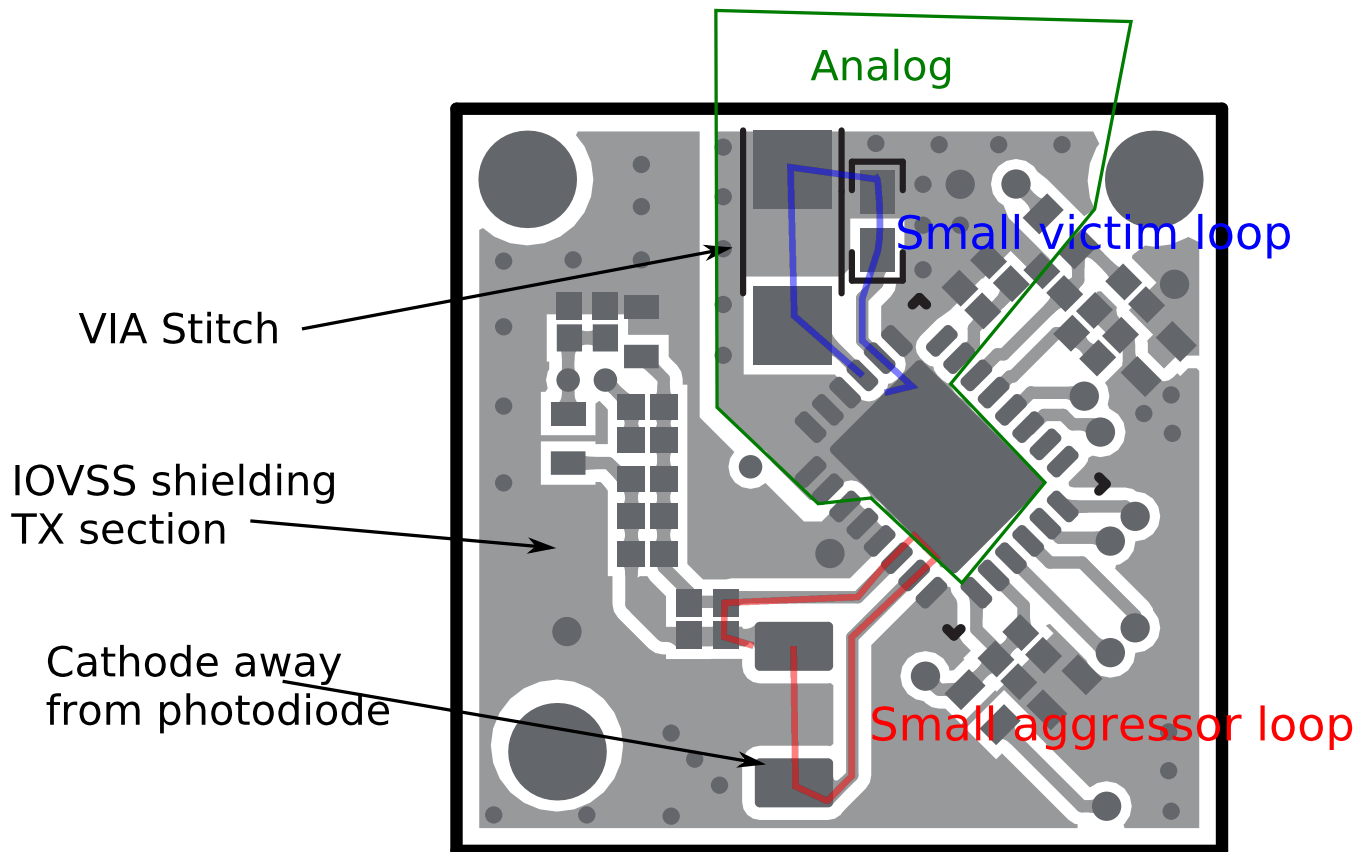


图 30. 良好布局示例 2

示例 2: SMD 组件 PCB 布局

- 这是一个由 SMD LED 和 SMD 光电二极管构成的 4 层 PCB
- PD 和 LED 放置在顶层，与背朝光电二极管的 LED 阴极对齐，以最大限度地减少电容耦合
- OPT3101 AFE 器件也放置在顶层，避开 INP、INM 和 TX 网络上的穿孔
- 模拟分区与数字分区明显隔离。
- IOVSS 屏蔽小 TX 分区和干扰源环路

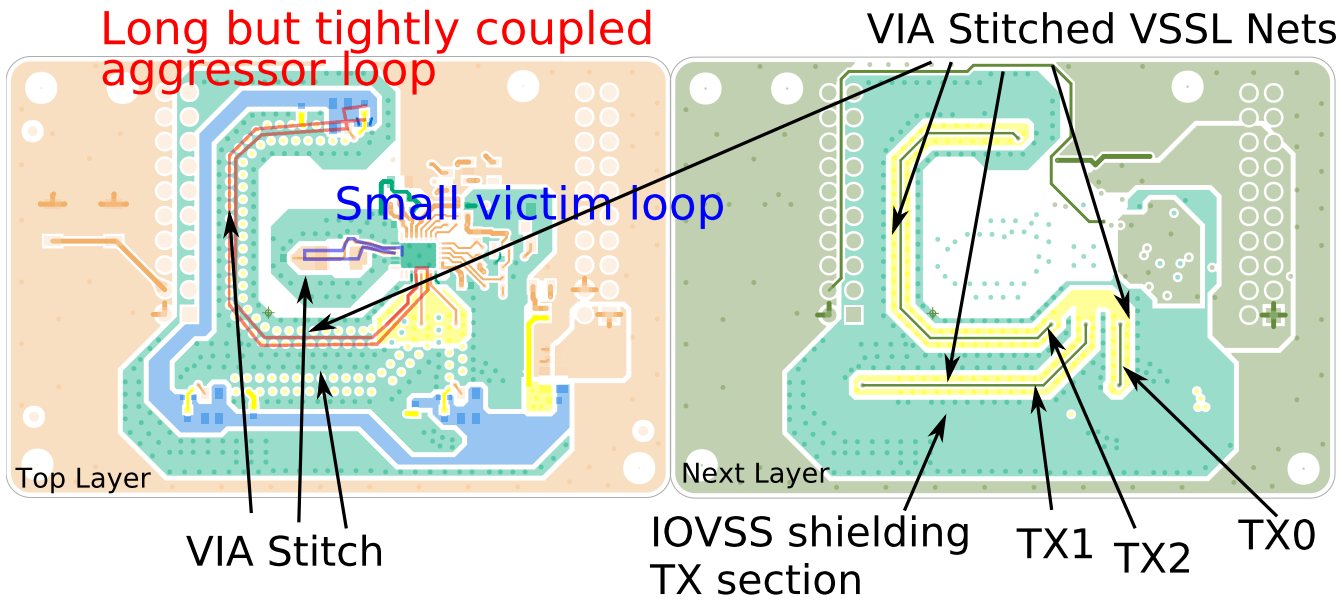


图 31. 良好布局示例 2

示例 3: 多通道 PCB 布局

- 这是一个由 SMD LED 和 SMD 光电二极管构成的 4 层 PCB。
- 在该布局中，3 个 LED 放置在角落呈三角形，将光电二极管包围在三角形中间
- 尽管在图中没有标明，但模拟分区在该布局中是一个隔离的岛
- 由于 OPT3101 AFE 和光电二极管相互靠近，因此受扰对象环路很小
- 由于 LED 的物理放置要求，干扰源环路无法控制在小范围内。
 - 为了最大限度地减小环路面积，环路通过修补穿孔在 TX 和 VSSL 网络之间紧密耦合。
 - 然后再通过穿孔修补技术由 IOVSS 网络提供屏蔽

修订历史记录

注：之前版本的页码可能与当前版本有所不同。

| Changes from Original (March 2018) to A Revision | Page |
|--|------|
| • 将“预告信息”更改成了“生产数据” | 1 |
| • 已添加 历史元素样本以供参考。 | 1 |

重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性 & 可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用 TI 产品进行设计使用。您将对以下行为独自承担全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品；(2) 设计、验证并测试您的应用；(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保或其他要求。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及 TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它 TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对 TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受 TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及 [ti.com.cn](http://www.ti.com.cn) 上或随附 TI 产品提供的其他可适用条款的约束。TI 提供所述资源并不扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122
Copyright © 2019 德州仪器半导体技术（上海）有限公司

重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用TI 产品进行设计使用。您将对以下行为独自承担全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的TI 产品；(2) 设计、验证并测试您的应用；(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保或其他要求。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及ti.com.cn上或随附TI产品提供的其他可适用条款的约束。TI提供所述资源并不扩展或以其他方式更改TI 针对TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122
Copyright © 2019 德州仪器半导体技术（上海）有限公司