

## Application Brief

# 在 RGB 和 XYZ 颜色传感器之间进行选择，以实现自适应照明调节



## 简介

随着客户需要利用有吸引力的显示界面提供更好的用户体验，全球色光传感器市场正在迅速增长。这种增长出现在各种工业、汽车和消费类应用中，例如笔记本电脑、平板电脑、汽车显示屏、电器、医疗设备和人机界面 (HMI)。色光传感器可检测入射光的亮度和色波长，使应用能够根据环境光照条件调整颜色和亮度。使用的颜色传感器技术类型会影响检测性能。本文比较了 RGB 和 XYZ 颜色传感器的技术差异，并提供了有关为应用选择传感器的指南。

## RGB 和 XYZ 颜色传感器概述

有两种类型的颜色传感器，即 RGB 和 XYZ。XYZ 传感器可检测完全标准化的颜色空间，而 RGB 可读取标准颜色空间的非标准化子集。然后，RGB 间接映射到标准化颜色空间以进行颜色校正或校准，从而导致不准确。选择一种颜色传感器而非另一种颜色传感器取决于应用的精度要求。

- **RGB**：如图 1 所示，RGB 颜色传感器可检测非标准化颜色空间，其中红色 (R)、绿色 (G) 和蓝色 (B) 值组合在一起以表示各种颜色。通常，R、G 和 B 值的范围为 0 到 255。所有三种颜色的值为 255 时会生成白色，所有三种颜色的值为 0 时会生成黑色。RGB 颜色空间没有通用标准，从而使 RGB 颜色传感器依赖于器件。不同的器件检测到的 RGB 值不同，测量的颜色因制造商而异，甚至在同一器件中也会随着时间的推移而变化。
- **XYZ**：RGB 面临的挑战之一是，未标准化的颜色空间无法观察所有颜色，从而导致该颜色空间不完整。CIE 1931 XYZ 颜色空间标准（如图 1 中的大曲线所示）有助于缓解此问题。这个标准化的颜色空间代表所有可见的颜色。该标准是绝对标准，不受器件或制造商差异的影响，与基于 RGB 颜色空间的传感器相比，该标准更准确、对颜色变化更敏感。此外，XYZ 传感器的 Y 通道具有视觉响应，可提取一个照度或亮度值。

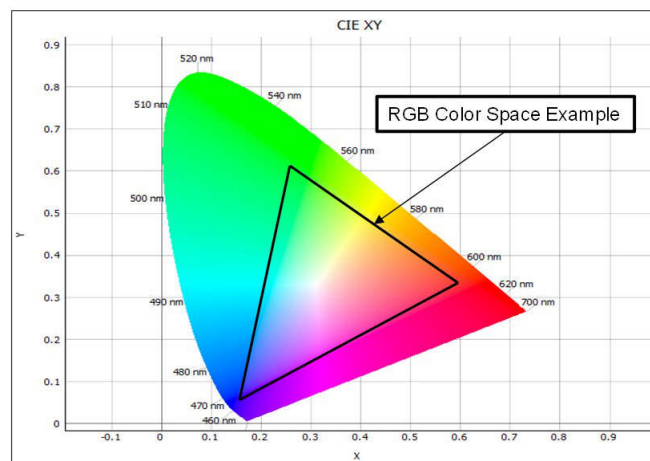


图 1. RGB 和 XYZ 颜色空间坐标

## RGB 和 XYZ 颜色传感器的比较

两种颜色传感器之间的选择取决于应用对颜色测量精度的要求。本节讨论了颜色传感器用例，并比较了每个用例的 RGB 和 XYZ 颜色传感器。

## 环境光颜色检测

环境光颜色检测是环境光相关色温 (CCT) 的检测，是颜色传感器的最常见用例之一。测量 CCT 非常重要，因为我们的眼睛会不断自动适应环境光颜色的变化，但电子显示屏和摄像头则不具备这种能力。如果不进行校正，它们会产生与周围环境相比看起来不自然或不和谐的图像。因此，显示或照明系统的色温会根据检测到的环境光颜色进行调整。摄像机可以使用 CCT 来校正输出视频或图像中的色温。大多数情况下，所需的颜色传感器输出是白光。不过，例如，在日落时，室外的光温较高，而午时的光温较低。显示应用使用 CCT 值（如图 2 中所示）来调整显示屏的色彩配置，以便通过与环境的光温相匹配而使图像看起来自然。此调整可改善显示或摄像头馈送的视觉外观（如图 3 所示），而不会在不进行调整的情况下导致光温产生强烈的对比度。

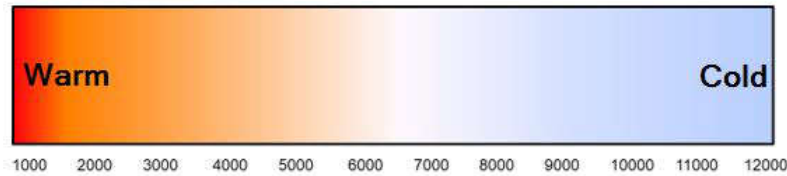


图 2. 相关色温 (CCT) 频谱

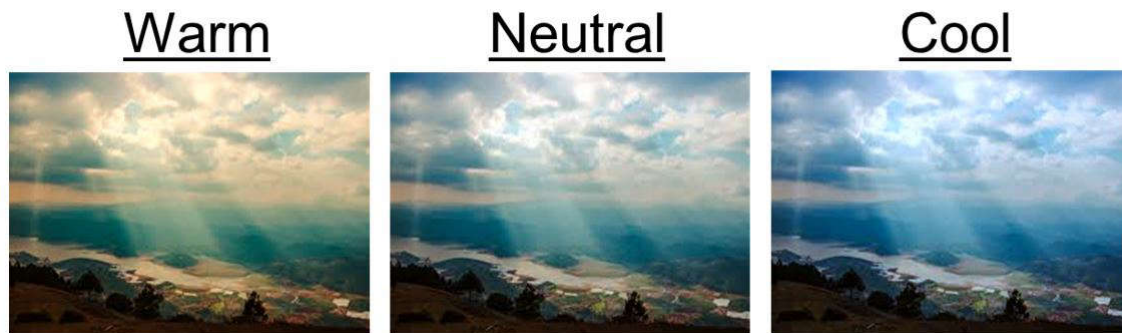


图 3. 热色、中性（一张纸）、冷色 CCT 示例

RGB 传感器没有标准化，通常需要校准才能将 RGB 坐标转换为 CCT 频谱。无法直接确定色点是否映射到 CCT 频谱。虽然一些制造商提供转换矩阵或简单的线性方程来将 RGB 颜色坐标转换为 CCT 频谱，但转换精度不同。此外，非白光通常映射到最接近的 CCT 值，并提供无效结果。由于这些原因，XYZ 传感器是 CCT 测量的首选。

XYZ 传感器可在未校准的情况下映射到最近的 CCT 值。为了确定色点是否映射到 CCT 频谱，通常的做法是将 XYZ 坐标转换为 UV 颜色空间。借助一个简单的公式，确定色点与黑体曲线之间的距离。黑体曲线表示人眼在 CIE YX 和 CIE UV 空间中看到的颜色，如图 4 中所示，某些开尔文的黑体发出辐射。带有各种开尔文标记的交叉线是表示相同色温的等温线，为 CCT 值。CCT 通常仅在黑体曲线周围有效，在偏差过大时无意义。任何接近黑体曲线的颜色坐标都可以表示特定的 CCT。

如果光传感器上方有玻璃之类的盖板材料，则需要校准 RGB 和 XYZ 传感器。

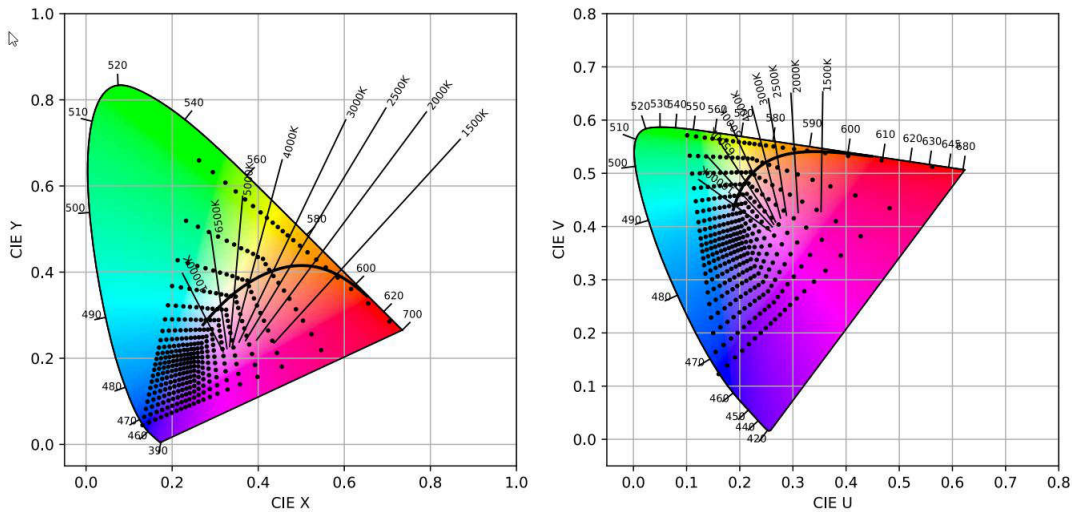


图 4. 颜色坐标的 CIE XY 和 CIE UV 空间图

### 相对颜色匹配

许多应用需要使用颜色传感器作为反馈，以使照明颜色随着时间的推移保持恒定。这称为相对颜色匹配。该传感器不是测量环境光的绝对色温，而是监测光源的颜色输出是否偏离已知参考点，并触发校正以使其恢复一致。

高架照明控制是相对颜色匹配应用的常见示例。在这些系统中，颜色传感器持续监控光输出，并将该信息反馈回照明控制器。如果传感器检测到与所需参考点的任何颜色变化，控制器会调整照明输出以进行校正，从而确保在整个空间内保持一致的光颜色。

基于 LED 的照明系统就是另一个例子。温度、驱动器电流、PWM 调光和老化等因素会导致 LED 的颜色随时间漂移。为了进行补偿，许多 LED 照明系统在白光 LED 旁边增加了额外的蓝色和红色 LED。颜色传感器持续监控光输出，并将该信息反馈回系统。如果传感器检测到色点偏离了原始工厂校准，系统会混合使用彩色 LED，直到检测到的颜色再次与工厂校准匹配。

RGB 和 XYZ 传感器在相对颜色匹配应用中有效，无需颜色校准。由于应用只需要在同一颜色空间内检测到相对于已知参考点的偏移，因此标准化 XYZ 颜色空间没有显著的优势。因此，对于这些类型的应用，RGB 传感器是更实用的选择。

### 绝对颜色匹配

某些应用需要测量精确的色点，这时需要在两种颜色之间实现客观匹配，而无需直接比较它们。这称为绝对颜色匹配。与仅需要检测已知参考点偏移的相对颜色匹配不同，绝对颜色匹配需要精确和客观的颜色测量，能够在不同的系统和制造商之间可靠地传达和重现。

例如，颜色传感器可以确定油漆颜色。由于暴露在高温和阳光下，油漆会随着时间的推移而变色。经过一段时间后，漆面的某些部分需要修补。整体漆色与原色相比发生了变化。新油漆与当前颜色匹配，以避免突出。如果颜色传感器使用传感器自己的颜色空间（例如 RGB 传感器），则无法让油漆颜色与其他颜色空间进行通信。油漆制造商很可能使用不同的颜色空间。将检测到的 RGB 颜色与特定制造商的油漆颜色进行匹配是个难题。

XYZ 传感器可检测标准化 CIE 1931 XYZ 颜色空间中的颜色。因此，即使油漆制造商在不同的颜色空间中工作，他们的颜色空间也可以转换为标准化 XYZ 空间。

相反，RGB 传感器通常需要复杂校准才能匹配两个空间。RGB 传感器的颜色精度受到限制。

### 环境光照度检测

在许多光感应应用中，需要测量光强度值（勒克斯）。为了获得尽可能好的用户体验，可使用照度值调整显示亮度以匹配环境光亮度。

对于大多数 RGB 颜色传感器，检测照度更复杂且更有限，因为通常任何通道都不会提供真正的明视响应，需要校准和矩阵。但是，OPT4060 等某些 RGB 传感器可以直接从绿色通道中导出照度，无需校准或矩阵。

相比之下，所有 XYZ 颜色传感器都提供与照度的直接映射，其中 Y 通道具有明视响应并且与照度呈线性关系。颜色传感器制造商通常提供比率或简单的单点校准来确定 Y 和照度比。

## 总结

总结一下，RGB 颜色传感器（如 TI 的 OPT4060）和 XYZ 颜色传感器（如 TI 的 OPT4048）能够检测并区分不同的颜色。与 XYZ 颜色传感器不同，RGB 颜色传感器不能表示整个可见光谱，而取决于光源和类型。虽然大多数应用都使用 RGB 颜色传感器或 XYZ 颜色传感器，但使用任一颜色传感器类型都有优缺点。虽然 RGB 传感器通常更具成本效益，但需要额外的校准和转换，与 XYZ 传感器相比，其精度通常较低。表 1 根据本文档中讨论的精度要求和颜色空间需求，总结了为每个常见用例推荐的器件。

**表 1. RGB 与 XYZ 比较表**

用例	OPT4060 (RGB)	OPT4048 (XYZ)	推荐器件
环境光 CCT 测量	需要额外校准才能将 RGB 值转换为 CCT	CIE XYZ 到 CCT 的直接映射	OPT4048
相对颜色匹配/LED 反馈	可有效检测相对于已知参考点的色移，而无需进行颜色校准	可有效检测相对于已知参考点的色移，但标准化的 CIE XYZ 颜色空间对于此应用没有显著的优势	OPT4060
绝对颜色匹配	使用非标准化颜色空间，因此很难在不同的颜色测量上进行通信或重现颜色测量	CIE 1931 XYZ 是一个通用标准，可实现与任何颜色空间的互操作性	OPT4048
环境照度测量	照度源自绿色通道	照度源自 Y 通道	任一
医疗/工业色彩关键型	非标准化 RGB 颜色空间限制了准确性和互操作性	标准化 XYZ 响应可为精密应用提供高精度	OPT4048

有关 TI 光传感器的更多信息和培训，请访问[精密实验室培训视频：光传感器](#)。

## 重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（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，不保证没有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、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(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、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月