

DLP®技术：增强现实抬头显示系统中的太阳能负载

白皮书



Literature Number: ZHCA827
July 2018

DLP®技术：增强现实抬头显示系统中的太阳能负载

Sam Martin
Junji Watanabe

Texas Instruments Incorporated
Kuraray Co., Ltd

摘要：下一代汽车增强现实 (AR) 抬头显示 (HUD) 技术为 OEM 厂商、汽车客户和驾驶员带来诸多优势。但是，HUD系统中的光学组件可能会放大和聚焦日光到显示面板的某些部位。为了减少热故障的发生，必须进行谨慎设计和仿真。

关键词：抬头显示, HUD, 增强现实, AR, 虚像, 日光, 太阳能, 温度, 散热, 德州仪器 (TI), TI, DLP, Kuraray, 散射屏

1 ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾ 背景

光学技术的最新进步扩大了视场 (FOV) 范围并实现了更远的虚拟图像距离 (VID)，这样便可以更全面地覆盖驾驶员的前视场景并使 HUD 图形距离相关现实场景更近，因此在汽车抬头显示界“增强现实”已成为一个耳熟能详的词[1]。这些下一代显示系统通过将信息置于驾驶员的视场中，减少了目光离开道路的时间，通过将信息投影到较远的位置减少了眼睛适应时间[2]，并通过将信息与相关对象进行情景化关联降低了认知负荷[3]。

但是，该显示系统与传统 HUD 在光学结构上的不同对其带来了各种环境挑战。与目前行车中使用的传统 HUD 相比，AR HUD 系统具有更大的 FOV、更大的窥视窗 (Eyebox) 尺寸和更远的 VID。这些特质导致日光收集面积更大且所收集能量的集中度更高，很可能造成 HUD 系统在日常驾驶条件下的受到很高的太阳辐照。这些问题都是在设计过程中需要额外考虑的因素，而这对于传统 HUD 系统而言则可能是不必要的。您必须注意了解 HUD 系统在车辆寿命期间可能会受到的太阳辐照度水平，并相应地作出设计选择。此外，还需要进行详细的光学仿真和材料测试，以便准确预测日光入射到的材料上的温度上升。

德州仪器 (TI) 在 DLP® 技术的基础上设计并构建了一款原型 AR HUD 系统。此结构可在处理聚焦的日光方面提供优势。投影型 HUD 使用了一种作为中间成像平面的散射屏 (光瞳扩展器)。TI 和 Kuraray 合作开发了一款可提供出色图像质量并处理这类 AR HUD 系统中可能出现的高太阳辐照度水平的高效散射屏。

本文对 AR HUD 原型中的日光聚焦和太阳能负载进行了深入探讨，包括当前 HUD 系统所采用的入射光设定和典型光谱滤波。简单的日光建模方法涉及沿 HUD 光学器件主光线对日光进行仿真。简要的日光建模仿真沿 HUD 光学系统主光线的日光光线。此外，本文还会讨论各种可能将太阳辐照度降低到可接受水平的缓解方法。对他们的散射屏技术进行了实测，使我们可以预测屏幕材料的温度上升并确保屏幕温度保持在其允许范围内。Kuraray 还测试了直接发光显示 HUD 系统中所使用的材料，发现温度显著升高，可造成肉眼可见的损害。

2 AR HUD 的光学特性

几何光学可描述物体、透镜和成像之间的关系。将物体放在透镜及其焦点之间将会形成放大且离实际物体有一定距离的虚像[4]。这便是 HUD 生成虚像的方法。源物体 (在这里是散射屏或 TFT 面板) 在 HUD 反光镜光学系统的焦距内。这使相应虚像投射出现在观看者前方一定距离之外。

高斯成像方程表明，为了增加虚拟图像距离，我们必须使源物体更靠近光学系统的焦点，如图 1 所示。

⁽¹⁾ DLP is a registered trademark of Texas Instruments.

⁽²⁾ OpticStudio is a registered trademark of Zemax LLC.

⁽³⁾ All other trademarks are the property of their respective owners.

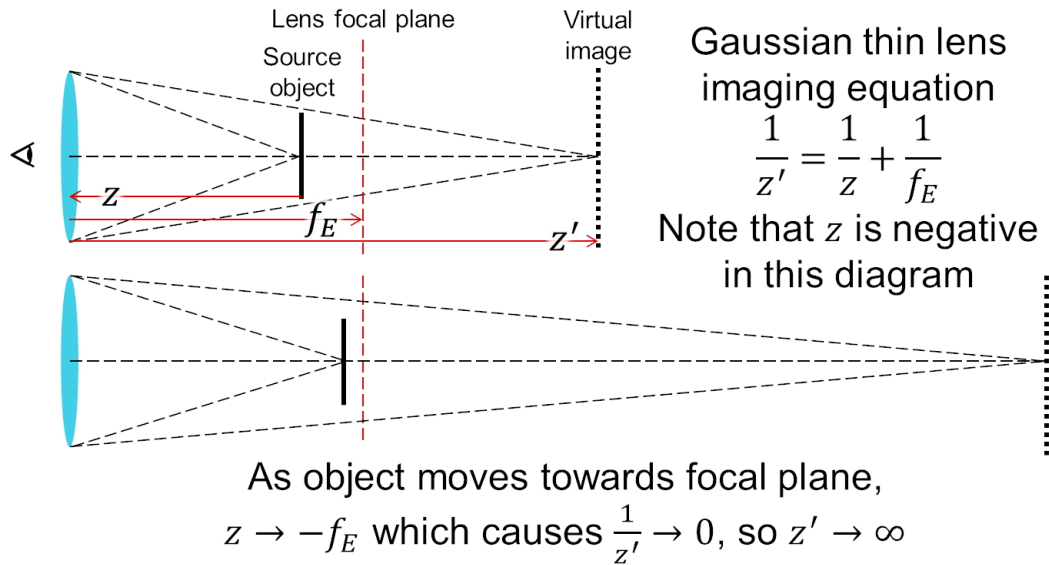


图 1. 高斯光学可描述物距 (z)、像距 (z') 和焦距 (f_E) 之间的关系 [4]。要实现更长的虚拟图像距离，就需要使物体更接近焦平面。

在进入光学系统后，日光倾向于汇聚到一个焦点，如图 2 所示。这一原理同样适用于 HUD 光学器件。对于具有较远 VID 的 HUD，源物体的位置会离 HUD 光学器件的焦点较近，这有可能会提高相应设备上的光照集中度。传统 HUD 的虚拟图像距离 (VID) 约为 2.5m，所得虚像接近汽车的前保险杠。如此短的 VID 会造成光照集中度较低，因为显示面板并不非常靠近焦平面。而 AR HUD 的较远 VID 则要求显示面板更为靠近焦平面，这会造成更多的日光聚集。AR HUD 的 VID 要求取决于具体实施情况且尚无定论，但是通常不会低于 7m 且常常需要更高[5]。

VID 对屏幕上的太阳辐照度有很大影响。例如，图 3 展示了 7m 和 15m 两种 VID 配置下 TI AR HUD 原型的太阳辐照度。15m VID 会在屏幕上造成较高的太阳辐射集中度，因为与 7m 配置相比，此时屏幕离焦平面更近。我们必须仔细进行仿真和分析，以预测可能的太阳辐照度并实施缓解技术来防止过热。以下几个部分介绍了这样一种分析方法并提供了一些可能适用的缓解技术。

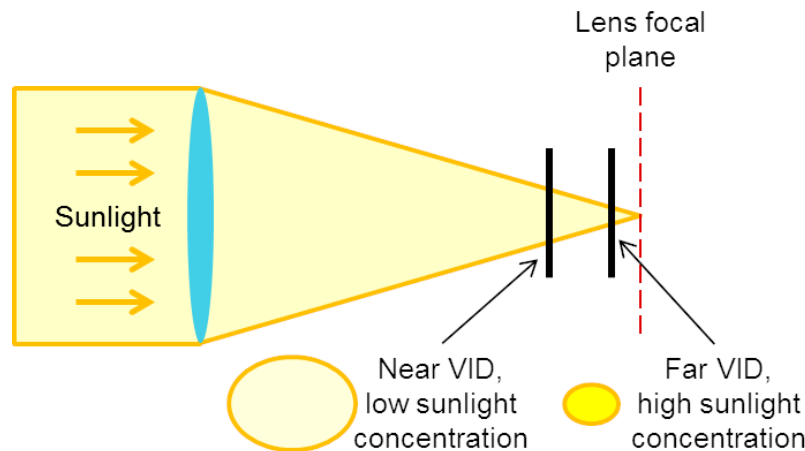


图 2. 平行日光将聚焦于焦平面上。物体离焦平面越近，日光集中度（太阳辐照度）就越高。

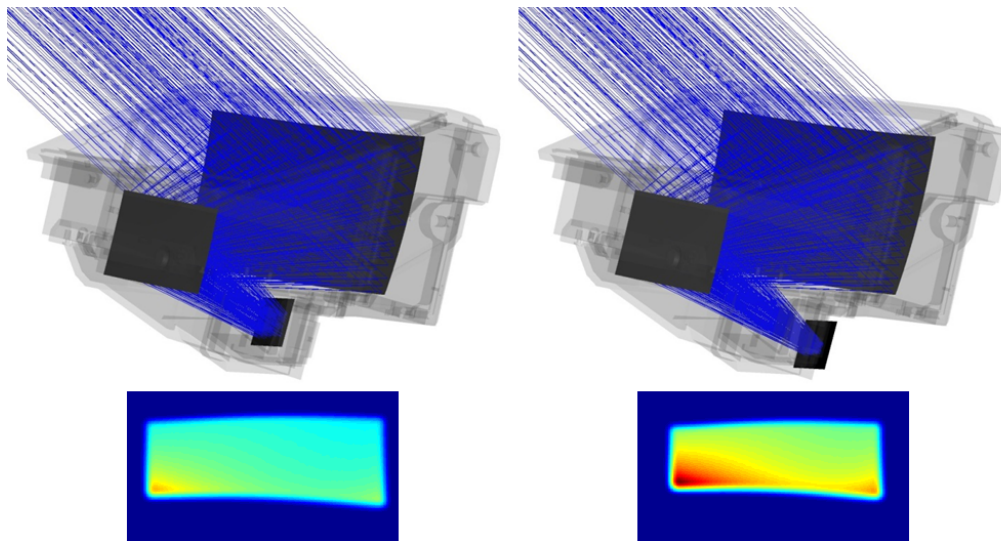


图 3. TI AR HUD 原型针对 7m VID（左）和 15m VID（右）进行了优化。在较远的 VID 配置中，屏幕上的辐照度分布明显表现出了较高的峰值辐照度。

3 在 Zemax 中进行日光建模

通过仔细的设计和仿真，可以预测 HUD 系统在室外驾驶条件下所能遇到的最高太阳辐照度水平。Zemax OpticStudio®17 用于对穿过 HUD 光学系统的日光进行仿真。该仿真依赖于具有适当角度、光谱和辐照度特性的精确光源模型。此分析中使用的太阳光谱数据（图 4）为 ASTM G173-03 参考光谱 [6]。

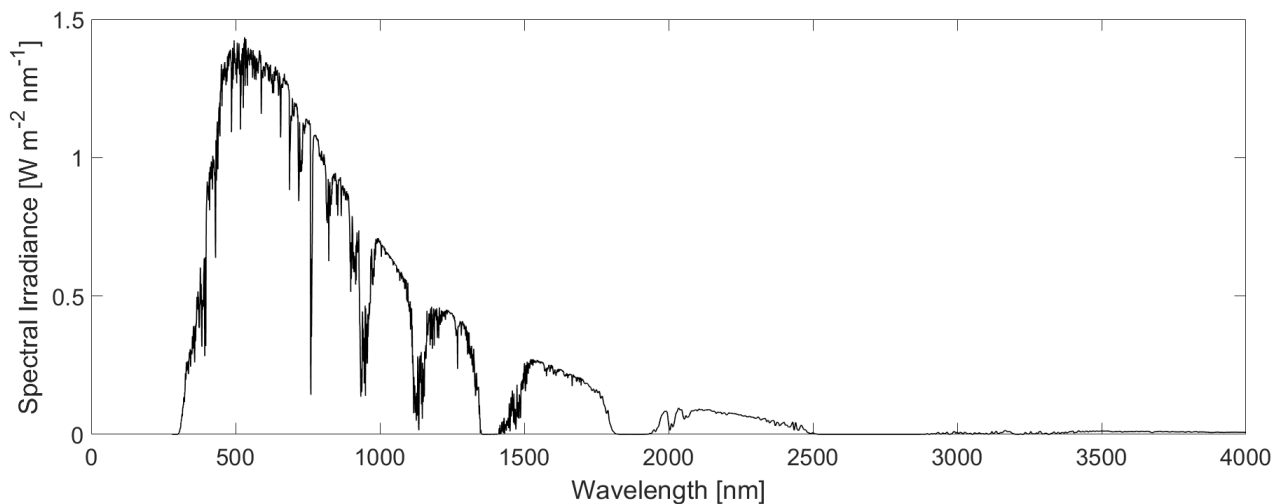


图 4. ASTM G173-03 参考光谱（直射 + 周边）[6]. 总辐照度为 900.14W/m²。

此参考光谱描述了在经过大气过滤之后地球表面辐照度的光谱分布。但是，这一数据是在光线呈 37 度角照射时获得的，直射时的太阳辐照度会更大。该参考光谱的总辐照度为 900W/m²，而地球表面可能出现的最大直射辐照度为 1050W/m²[7]，所以必须对这些光谱数据进行调整，以对应这一点。

日光会因车内的各种光学元件而衰减，其中包括（但不限于）挡风玻璃、强光挡板和热/冷反射镜。在进行日光建模时，必须将这些元件的光谱透射曲线考虑在内。由于这些 HUD 系统具有极大的设计灵活性，因此下面的仿真将作出一些假设和简化，从而对最大可能辐照度进行保守估计。首先，我们假设不可见辐射（紫外和红外）会完全衰减。当前的 HUD 结构通过挡风玻璃、强光挡板和热/冷反射镜进行光谱滤波，以减少这种不可见的辐射，但是这些元件的精确光谱曲线因设计而异。预计未来的 HUD 设计将围绕 HUD 光源的发射波长采用更先进的光谱滤波技术。例如，更为新式的挡风玻璃可以提供额外的红外/紫外滤波能力 [8]，从而减少进入 HUD 系统的不可见日光能量。在此分析中，假设滤波器消除了接近 TI AR HUD 原型系统上测得的光谱输出的波长。图 5 显示了测得的 HUD 光谱辐射以及可在不影响 HUD 虚像的情况下滤除的日光成分。

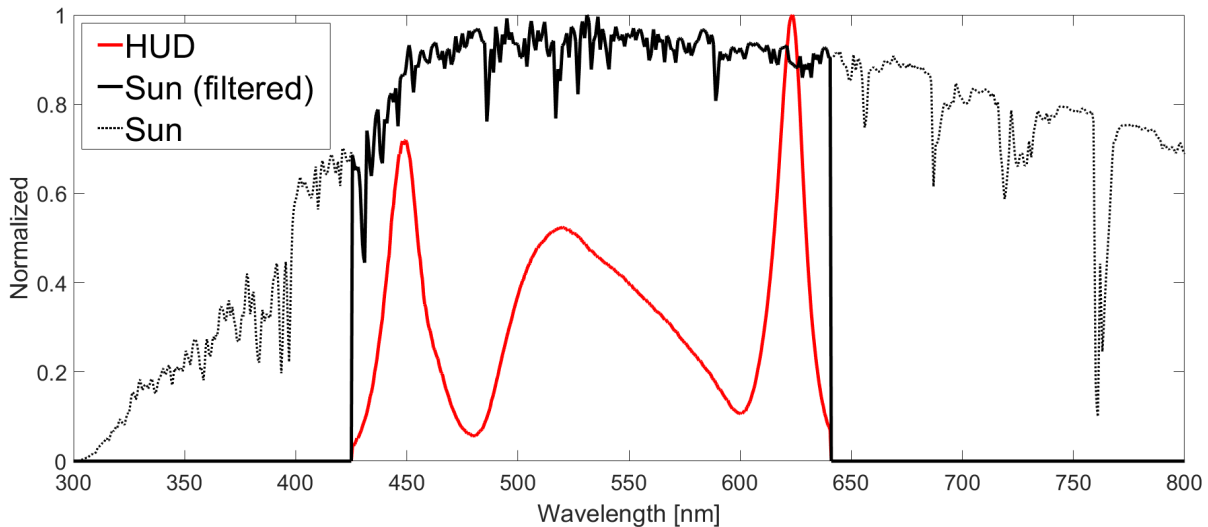


图 5. 光谱滤波可减少进入 HUD 系统的日光能量。HUD 能量限制在 420nm 至 640nm 波长之间。滤除较低和较高的波长可在对 HUD 光线影响最小的情况下减少日光能量。进行光谱滤波后，全光谱辐照度会从 $1050\text{W}/\text{m}^2$ 降低至 $325\text{W}/\text{m}^2$ 。

我们还对各种元件的相对透射率进行了预估，这又额外将总体日光负载降低了 25%。表 1 对这些损耗进行了汇总。基于这些假设，最终可能进入 HUD 系统的最大太阳辐照度大约为 $244\text{W}/\text{m}^2$ 。

表 1. 使进入 HUD 系统的日光衰减的光学元件的假设效率⁽¹⁾

光学元件	效率
挡风玻璃	83%
强光挡板	95%
反射镜	95%
总计	75%

⁽¹⁾ 挡风玻璃效率是根据 2 个面的菲涅耳方程估算得出的，其中 $n = 1.5$ ， $\text{AOI} = 60^\circ$ [9]。强光挡板和反射镜的效率则是根据测量值和常见规格进行了保守估计。这些值因系统而异，在进行具体的系统分析时，必须给出更详细的说明。

一种更精确（但计算更密集）的方法是考虑日光路径中每个光学组件的光谱透射曲线。在 Zemax 中，可以加载这些透射数据，从而获得在物理层面上更精确的光线轨迹，但是我们在这些仿真中对能量损耗进行了近似处理，以便提高光线描述速度。

您可以使用径向强度值根据 Grether、Nelson 和 Wahlig（1975 年）提出的太阳周边测量数据进行了设置的“光源径向”物体 [10]，在 Zemax 中实现日光几何建模。得到的角强度图（图 6）表明，太阳在大约呈 0.5 度的圆中发射光。或者，也可以使用 X 和 Y 半角设置为 0.25 度的“光源两角”物体。虽然这种方法没有加入整个太阳圆盘的角强度变化，但是对于这种类型的仿真来说，准确度已经足够。

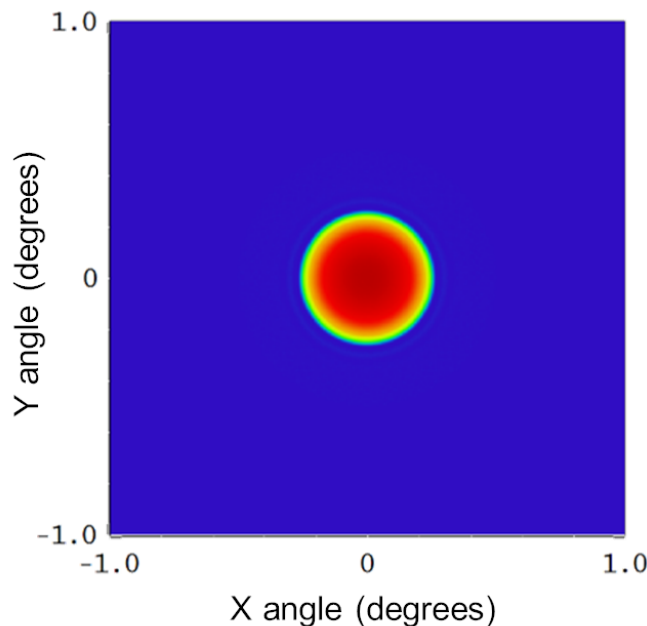


图 6. 仿真中所使用的“光源径向”光源的角强度。

在 Zemax 中，可以将光谱建模为两个波长之间包含的黑体光谱的子集 [11]。针对此分析，我们定义了一个在 400nm 至 700nm 之间具有 100 条离散光谱线的 5800K 黑体光源。为了实现需要的辐照度水平，光源功率（以 W 为单位）的计算必须基于光源区域。您可以指定一个大小为 1m x 1m 的正方形，从而使光源功率等于光源辐照度，但是这种方法的计算效率较低，因为许多光源线都不会进入 HUD。更为高效的方法是，使光源区域与 HUD 系统的入口孔径大小基本一致。在此仿真中，我们将光源定义为 0.34m x 0.2m 的长方形，从而更为贴近 HUD 光学器件的情况，此区域需要 16.6W 的光源功率才能实现 244W/m² 的辐照度。

在日常驾驶中，汽车可能会在转弯或在山路上上下颠簸行驶时遇到各种角度的入射光线。因此，必须检查适当角度范围内的射入日光。例如，如果目标车辆是敞篷车，那么与其他车辆相比，日光进入 HUD 系统的机会会比较多。在这种仿真中，我们首先使光源与穿过挡风玻璃的 HUD 主光线保持一致，但是却发现偏轴日光可能会明显产生较高的辐照度水平。为了找出将导致最高辐照度水平的入射角度，我们使用了一个脚本来检查以入口孔径为中心的一系列角度的光源。这可以通过 Zemax 宏来实现，也可以使用 Zemax 内置的各种 API 选项中的一个来实现。此分析使用了 MATLAB API，但是也可以使用 C#、C++ 或 Python 来实现该技术。图 7 显示了光源布局和旋转轴。

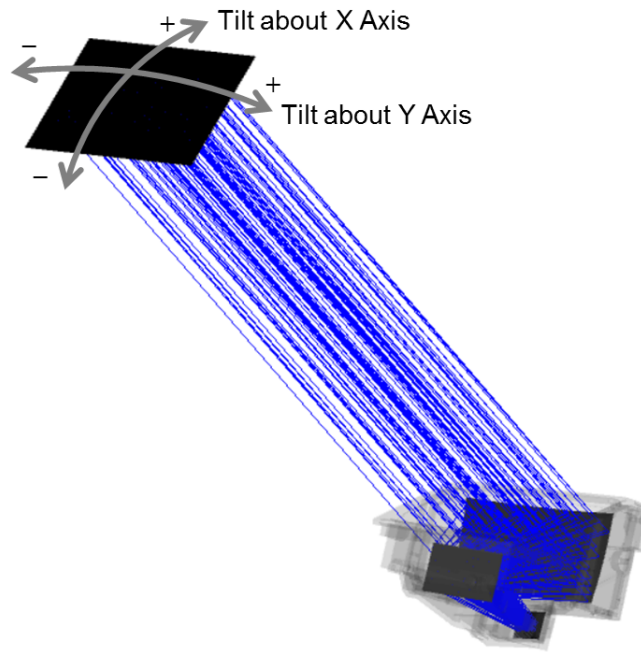


图 7. 现实世界中的驾驶条件千差万别、各不相同，因此一定要从各种入射角对仿真光源进行扫描检查。此处显示了轴上光线。

脚本以 1 度的间隔来改变 X 和 Y 的倾斜度。我们记录了屏幕表面在各种 X 和 Y 倾斜下的峰值辐照度。使用这些值制成图 8 中的图后，我们发现屏幕辐照度最坏的情况并不是发生在轴上 (0, 0) 时，而是发生在日光进入系统的角度偏离光轴 (3, 7) 度时。通过比较图 9 中轴上和偏轴情况下的屏幕辐照度分布，我们可以发现，偏轴情况下，虽然总的光通量可能会比轴上情况下少，但日光会集中到较小的区域，导致出现较为集中的辐照点。在使用 TI AR HUD 原型时，7m VID 配置下在屏幕上获得的仿真太阳辐照度峰值为 40kW/m²，15m VID 配置下则为 57kW/m²。

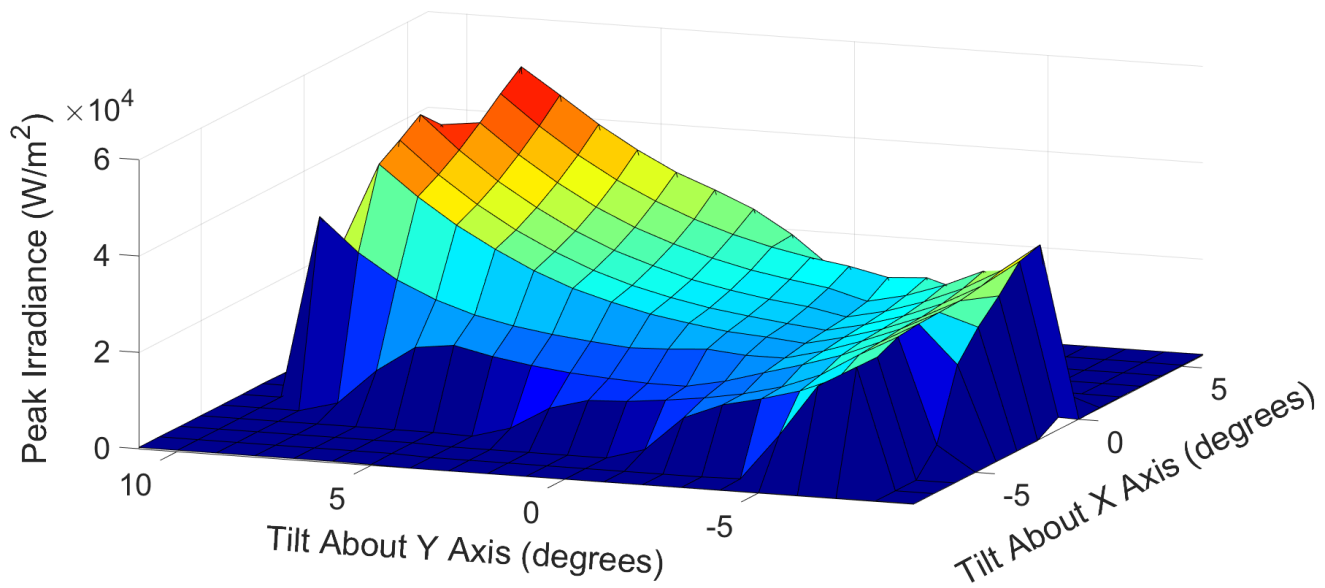


图 8. 屏幕上的峰值辐照度是射入日光角度的函数。峰值辐照度可能会远远高于偏轴日光辐照度。TI AR HUD 原型峰值辐照度的最坏情况出现在在 X 轴和 Y 轴上分别倾斜 3 度和 7 度时。

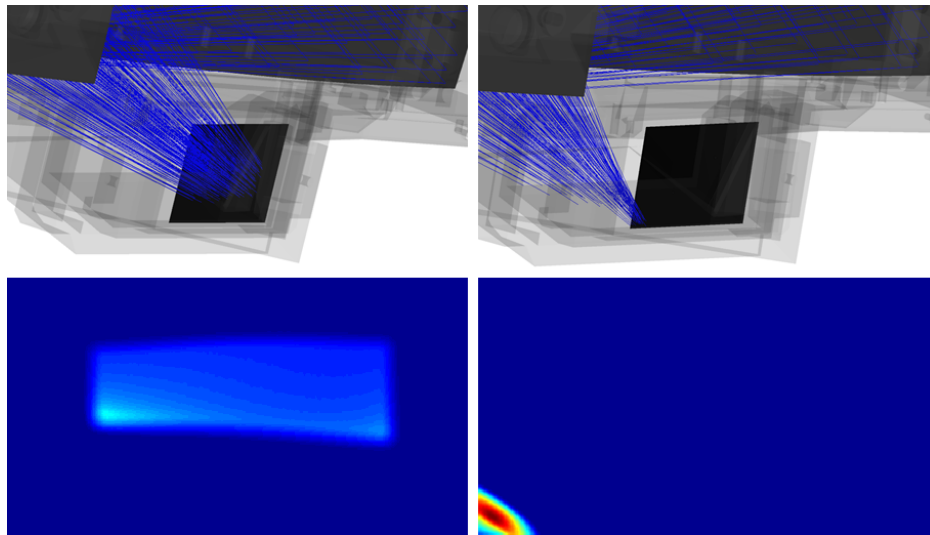


图 9. 在 TI AR HUD 原型系统中仿真得到的轴上（左）和最坏偏轴（右）太阳辐照度。在本例中，最坏偏轴峰值辐照度是轴上峰值辐照度的 2.7 倍。

需要注意的是，这些仿真只记录了屏幕区域的辐照度事件。屏幕区域以外可能会出现更高的辐照度，因此必须注意仿真和了解这种情况并选择合适的机械外壳材料。

4 太阳辐照度的热效应

对太阳辐照度峰值进行仿真只是预测和规避热故障的第一步。太阳能基于其入射到的材料的光谱吸收情况而转化为热能。

DLP HUD 中使用的微透镜阵列 (MLA) 屏幕是在 0.3mm 厚的聚碳酸酯薄膜上使用可抵抗紫外线的树脂塑模而成。图 10 中显示了 MLA 屏幕的吸收情况。根据太阳光谱辐射 (AM 1.5 G) 和 MLA 屏幕的吸收情况，得到 MLA 屏幕吸收的太阳辐射如图 11 所示。为了防止热故障，必须采取预防措施，来大幅降低 350nm 和 1680nm 附近以及超过 2000nm 的波长的吸收。

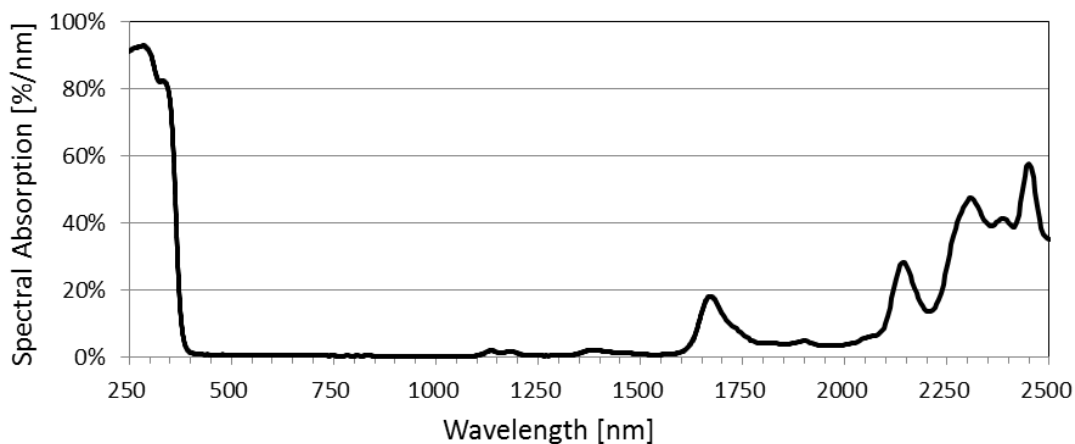


图 10. MLA 屏幕的光谱吸收情况。

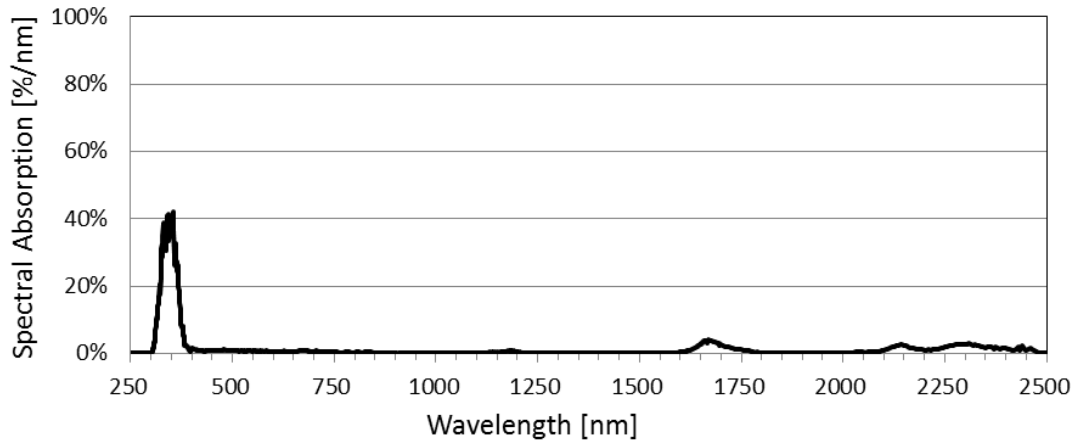


图 11. MLA 屏幕的光谱吸收乘以参考太阳光谱 (AM 1.5 G)。

5 现实世界测试

现实世界中，我们在不同的太阳辐照度水平下针对 MLA 屏幕和 TFT 面板进行了测试。MLA 屏幕是由 Kuraray 制造的，而 TFT 面板（图 12）则是从一辆 2016 BMW F30 的 HUD 模块中拆下来的。



图 12. 用于日光测试的 TFT 面板。部件号 E06030K16。

我们利用菲涅耳透镜将日光聚焦在 MLA 屏幕上（图 13）。我们使用光学功率计来测量菲涅耳透镜到 MLA 屏幕的距离与太阳辐照度之间的关系，然后对菲涅耳透镜到 MLA 屏幕的距离进行调整，以获得需要的太阳辐照度。MLA 屏幕的温度则通过热像仪测得。根据吸收光谱获得的使用热像仪测量温度的发射率为 0.902。

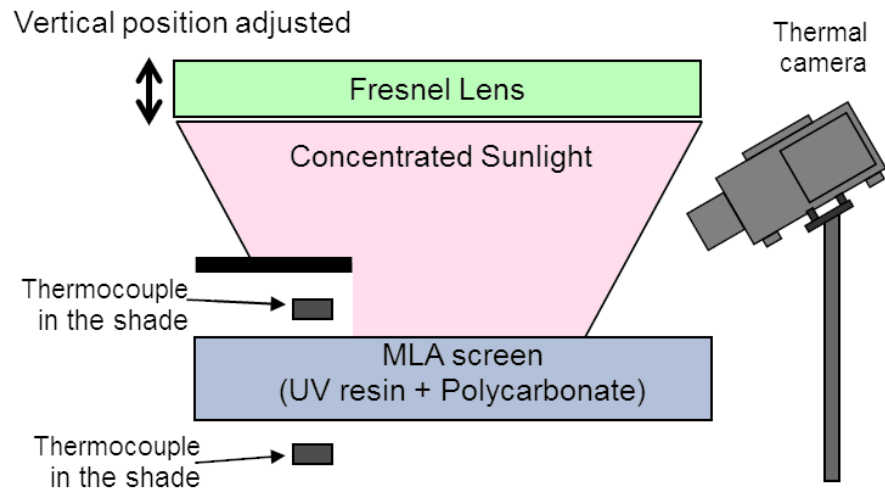


图 13. 将温度作为太阳辐照度的函数进行测量的测试装置。

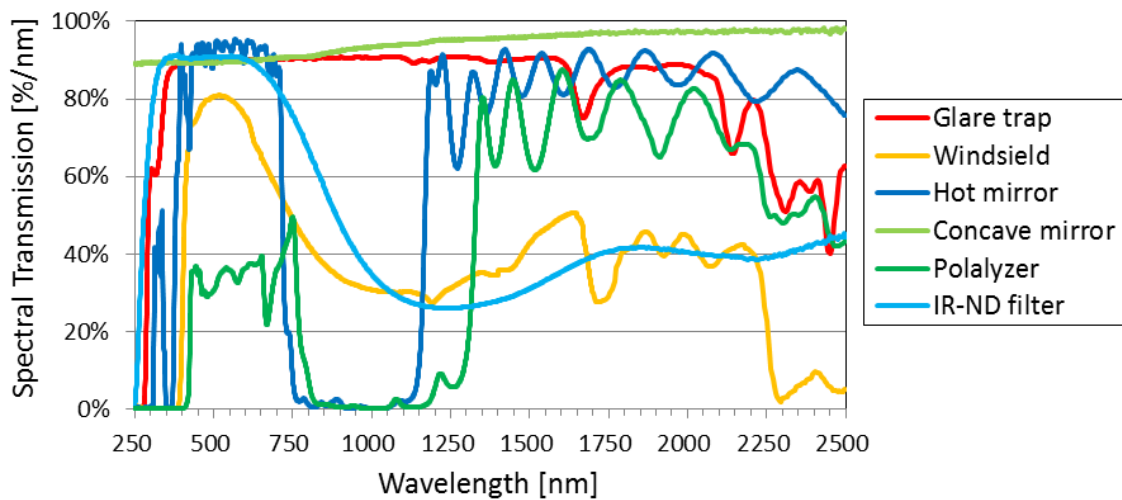


图 14. 由分光光度计 (Hitachi U-4100) 测量的汽车 HUD 系统中各种常见的光学元件的光谱透射曲线。

表 2. 用于确定太阳辐照度与温度上升之间的关系三个测试条件。

测试条件	光学元件堆栈
A	挡风玻璃、强光挡板、凹面镜、MLA 屏幕
B	挡风玻璃、强光挡板、凹面镜、热镜、IR-ND 滤光片、MLA 屏幕
C ⁽¹⁾	挡风玻璃、强光挡板、凹面镜、偏光器、TFT 面板

⁽¹⁾ 注意，条件 C 测试的是 TFT 面板。

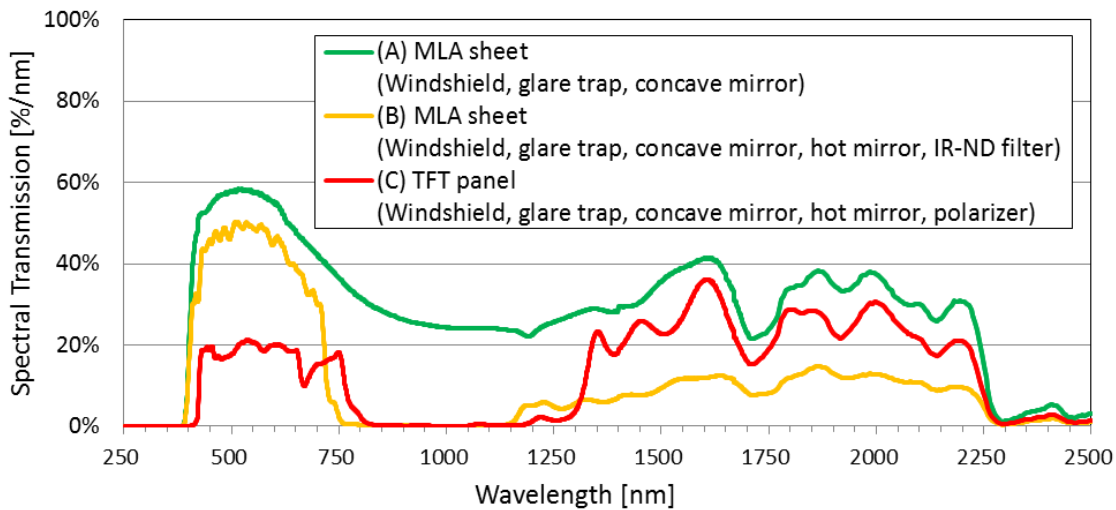


图 15. 表 2 所示三个测试条件下的光学器件叠加的光谱透射。

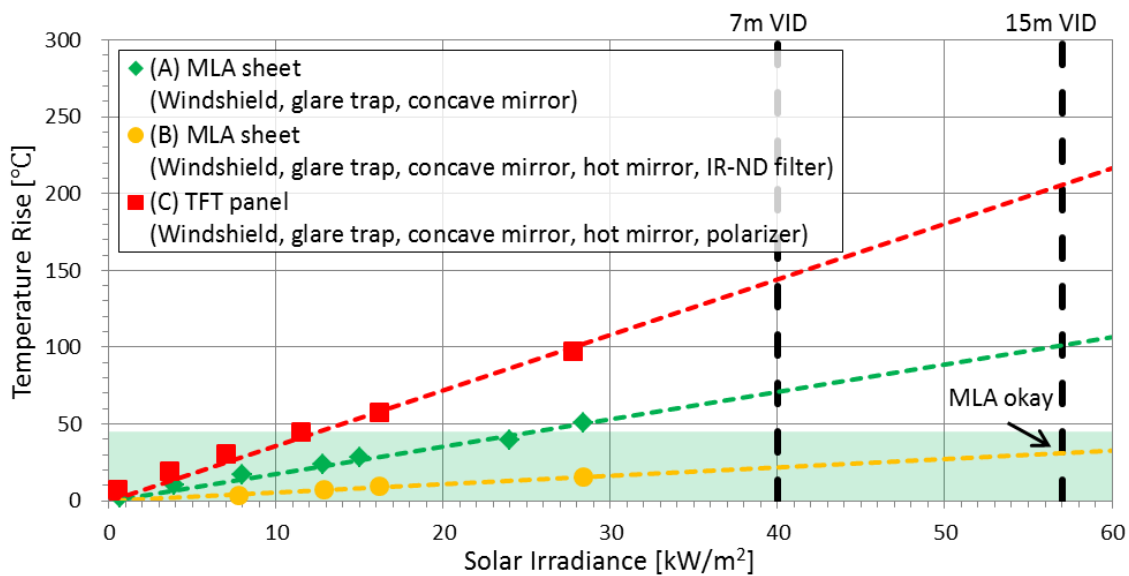


图 16. 温度上升与太阳辐照度之间的关系。垂直线表示的是 TI AR HUD 原型在 7m 和 15m VID 配置下的预测太阳辐照度。图中数据表明，在类似太阳辐照度下，TFT 的温度上升速度是 MLA 的 6 倍。绿色阴影区域表示温度上升低于 45°C。

在实验中，将 MLA 屏幕和 TFT 面板暴露在汇聚的日光下，这些日光之前穿过了表 2 中三种条件所述的各种光学组件。图 14 中展示了每种光学元件的光谱透射率，图 15 中则展示了表 2 中各条件的组合光谱透射率。通过图 16 我们可以看出，TFT 面板温度（条件 C）的上升速度要明显快于其他 2 个测试条件，即使该条件使用的偏光片抑制了大多数可见日光。

假设内部仪表板的最高环境温度为 105°C，为了使屏幕温度保持低于 150°C 的最高工作温度，由太阳能负载造成的温度上升最高不得超过 45°C。在条件 (A) 的情况下，26kW/m² 太阳辐照度会造成 45°C 的温度上升。如果最高 HUD 太阳辐照度低于 26kW/m²，MLA 屏幕的温度将会低于 150°C，因此可以避免热故障。在条件 (B) 的情况下，预计 82kW/m² 太阳辐照度会造成 45°C 的温度上升。在条件 (C) 的情况下，预计 12kW/m² 太阳辐照度即可造成 45°C 的温度上升。通过这些数据可以看出，基于 DLP 投影技术和 Kuraray MLA 屏幕技术的 HUD 架构非常适合用于处理下一代 AR HUD 系统的更高太阳能负载。

随着 VID 的增加，太阳辐照度造成温度上升的可能性显著升高。目前行车中使用的传统 HUD 没有这样的辐照度，因为它的日光收集区域较小且 VID 较短（大约为 2.5m）。AR HUD 需要更远的 VID 和更大的光学器件，从而导致太阳辐照度水平可能会更高，进而导致受到很强太阳辐照的机会更大。TFT 面板的吸收性很高，因此比透射性 MLA 屏幕更容易因太阳辐照度而受到损害。

6 缓解日光影响的技术

在某些情况下，预测的太阳辐照度水平可能会高于材料可承受的水平。在这些情况下，设计人员可能希望采用以下策略之一来降低太阳辐照度水平。投影型 HUD 结构（例如使用 DLP 技术的此类结构）支持灵活改变中间成像的大小，进而改变中间成像与虚像之间的放大倍数。放大倍数越小，屏幕上的太阳辐照度越低。但是，减小系统放大倍数会导致其他方面的弊端（例如总体 HUD 封装大小），因此这可能并不总是最佳解决方案。

变灰和偏振也可以减少入射到屏幕上的日光量。光路中不同的元件上变灰都可以达到相近的效果。但是，无论在何处应用着色，该技术都会同时将 HUD 亮度降低相同的百分比，这就导致很难达到 17,000cd/m² 的期望虚像亮度 [1] [2]。基于偏振的日光滤波方案需要同时偏振来自 HUD 的光线。即使佩戴偏振太阳镜，这也会严重影响 HUD 图像的可见性，这一点是下一代 AR HUD 系统的关键性能要求 [1]。然而，通过图 15 和图 16 中的数据我们可以看出，即使是通过偏振消除了近 50% 的可见光能量（条件 C），TFT 面板仍然会在相对较低的太阳辐照度下达到临界温度。

适合汽车应用的激光光源的可用性不断提高 [12]，这为使用窄带三通光谱滤波来抑制日光创造了机会。在直接激光照明（与激光荧光体或 LED 光源不同）的情况下，HUD 光能将限于激光发射波长对应的窄带内。假设使用如图 17 所示的 20nm 的陷波宽度，设计成仅透射这三个波段的光谱滤波器可以反射高达 92% 的太阳光能。

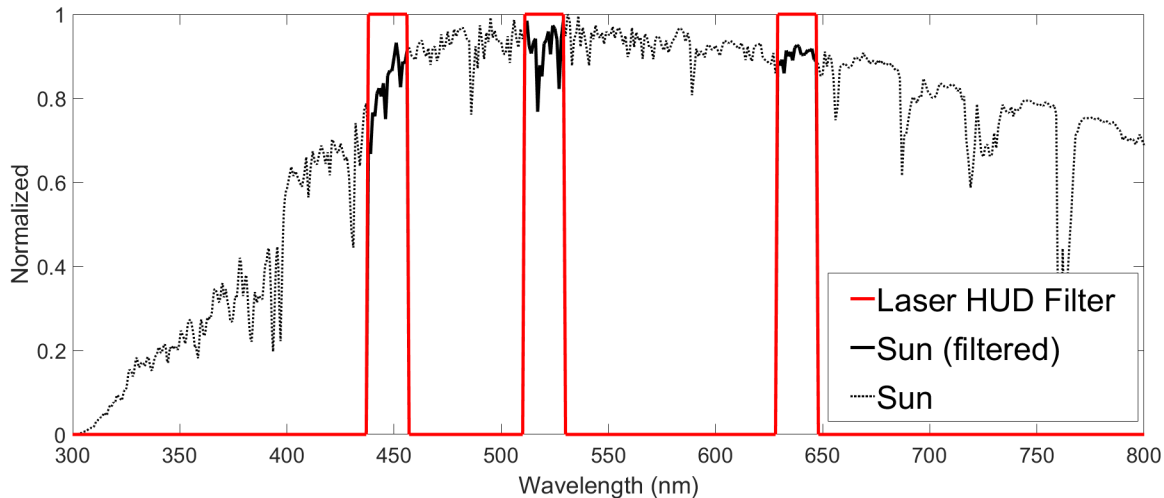


图 17. 围绕直接激光波长设计的三通 20nm 陷波滤波器可以显著减少进入 HUD 系统的日光。

在汽车应用中，直接激光光源面临着各种各样的挑战，例如温度稳定性和使用寿命。随着技术的成熟，使用窄带光源实现系统级效益将成为可能。基于 DLP 技术的 HUD 没有照明光源限制，这意味着它们可用于高效利用 LED 光源或激光光源。DLP 技术能够利用激光光源的优势来改进日光抑制能力和其他系统性能，例如色彩饱和度、尺寸减小、对比度提高和功率效率等 [12]。

7 结论

在设计下一代 AR HUD 系统时，必须在整个设计过程中谨慎考虑环境条件。与传统 HUD 设计相比，AR HUD 具有更高的放大倍数和更大的日光收集区域，因此日光会带来相当大的挑战。在 AR HUD 设计中，必须注意了解潜在的日光聚焦，并做出设计选择或采用缓解技术来将太阳辐照度控制在可接受的水平。可接受的太阳辐照度高度依赖于 HUD 图像源处的材料。对于投影型 HUD，例如基于 DLP 技术的 HUD，散射屏会首当其冲地受到这种太阳辐照的影响，因此必须能够承受预期的太阳能负载量。

由 Kuraray 打造的 MLA 散射屏技术经过特别设计，可承受这些环境条件。屏幕的透射性质可最大限度地减少能量吸收，因此温度上升幅度非常小。由于采用了适当的设计技术，这些屏幕在最苛刻条件下的预测温度上升幅度仍未超过散射屏材料的工作温度能力。这确保了该系统能够承受可能造成损害的太阳辐照度水平，同时保持明亮、高分辨率且鲜明的图像，后者已成为汽车 HUD 行业的标准。

8 参考文献

- (1) S. Martin, "Next-Generation Augmented Reality Head-Up Display: Defining and Exploring System Requirements" (下一代增强现实抬头显示器: 定义和探索系统要求), 发表于 SID Vehicle Displays, 2015 年。
- (2) K. Gish 和 L. Staplin, "Human Factors Aspects of Using Head Up Displays in Automobiles: A Review of the Literature" (在汽车中使用抬头显示器时的人为因素: 文献回顾), 美国交通部, 1995 年。
- (3) J. Gabbard, G. Fitch 和 H. Kim, "Behind the Glass: Driver Challenges and Opportunities for AR Automotive Applications" (镜片之后: 驾驶员在 AR 汽车应用中面临的挑战和机遇), Proceedings of the IEEE 第 102 卷第 2 期, 124-136 页, 2014 年。
- (4) J. E. Greivenkamp, "Field Guide to Geometrical Optics" (几何光学野外指南), 贝灵汉 SPIE, 2004 年。
- (5) T. Seder, "Automotive Augmented Reality" (汽车增强现实), 发表于 SID Vehicle Displays, 2017 年。
- (6) 美国测试与材料学会, "Reference Solar Spectral Irradiance: Air Mass 1.5" (参考太阳光谱辐照度: 大气质量 1.5), [在线] 网址: <http://rredc.nrel.gov/solar/spectra/am1.5/>。[2017 年 12 月 19 日部分]。
- (7) Newport, "Introduction to Solar Radiation" (太阳辐射简介), [在线] 网址: <https://www.newport.com/t/introduction-to-solar-radiation>。[2017 年 12 月 19 日部分]。
- (8) A. Nishimoto, "3M's Window Films Block Heat and UV Rays Without Dark Tint" (3M 窗膜可在不使光线变暗的情况下阻挡热量和紫外线), Motortrend, 2011 年。[在线] 网址: <http://www.motortrend.com/news/3ms-window-films-block-heat-uv-rays-dark-tint-77391/>。[2017 年部分]。
- (9) C. R. Nave, "Fresnel's Equations" (菲涅耳方程), 乔治亚州立大学物理与天文学系, [在线] 网址: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/freseq.html>。[2017 年部分]。
- (10) D. Grether, J. Nelson 和 M. Wahlig, "Measurement of Circumsolar Radiation" (太阳周边辐射测量), 1975 年。
- (11) Zemax, "How to Simulate a Rainbow" (如何模拟彩虹), 2009 年。[在线] 网址: <http://customers.zemax.com/os/resources/learn/knowledgebase/how-to-simulate-a-rainbow>。[2017 年部分]。
- (12) M. Firth, A. Norris, D. Segler 和 J. Thompson, "Next Generation Augmented Reality Head-Up Display with DLP Technology" (基于 DLP 技术的下一代增强现实抬头显示器), 发表于 SID Vehicle Displays, 2017 年。

注: 我们在 2018 年 2 月 28 日到 2018 年 3 月 1 日于德国纽伦堡举行的电子显示大会上展示过本文的一个版本。 www.electronic-displays.de

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 © 2018 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 & 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 © 2018 德州仪器半导体技术（上海）有限公司