

# 浙江大学

## 硕士研究生读书报告



题目 Split-Lohmann Multifocal Displays

作者姓名 陈硕

作者学号 22351041

指导教师 李启雷

学科专业 软件工程

所在学院 软件学院

提交日期 二〇二四年一月七日

Split-Lohmann Multifocal Displays<sup>[1]</sup>

A Dissertation Submitted to  
Zhejiang University  
in partial fulfillment of the requirements for  
the degree of  
Master of Engineering

Major Subject: Software Engineering

Advisor: Li Qilei

By

Chen Shuo

Zhejiang University, P.R. China

2024.01.07

## 摘要

大多数头戴式显示器缺乏呈现焦点线索的能力。传统的头戴式耳机由一个 2D 屏幕和一个透镜组成，使屏幕看起来与眼睛保持固定距离。然而，显示的图像依然是平面。而新技术 Split-Lohmann 多焦点显示器是一种可以同时将显示器的像素定位在离眼睛不同距离的地方的透镜。这个系统的优点是，我们可以创建一个虚拟的 3D 场景，它满足眼睛的调节，而无需求助于高速焦点堆栈。所有的操作都是实时进行，这对近眼显示非常有利。

**关键词：**头戴式显示器，Split-Lohmann 多焦点显示器，实时操作

## **Abstract**

Most head-mounted display lack the ability to present focal clues. Traditional headphones consist of a 2D screen and a lens, keeping the screen at a fixed distance from the eyes. However, the displayed image remains flat. The new technology Split-Lohmann multifocal display is a lens that can simultaneously position the pixels of the display at different distances from the eyes. The advantage of this system is that we can create a virtual 3D scene that satisfies eye adjustment without the need for a high-speed focus stack. All operations are carried out in real-time, which is very beneficial for close eye display.

**Keywords:** head-mounted display, Split-Lohmann Multifocal Displays, real-time operation

## 1 引言

困扰现代 VR/AR 头显的一个重大挑战是视觉辐辏调节冲突。在现实世界中，人眼可以自然地对焦一个对象，而世界的其他元素则脱离焦点。VR/AR 的问题是，无论你在数字世界中看向何方，你都只是盯着固定的屏幕，亦即看着相同的距离。换句话说，视觉调节（弯曲眼睛晶状体以聚焦不同距离的对象）永远不会改变，但视觉辐辏（眼睛向内旋转以将每只眼睛的视图重叠成一个对齐图像）却会出现，从而导致视觉辐辏调节冲突。

视觉辐辏调节冲突容易造成用户产生眼睛疲劳，恶心，头晕等问题。针对这种情况，行业厂商纷纷尝试的一个主要解决方案是能够相应地改变焦距或提供不同焦平面的变焦式头显。

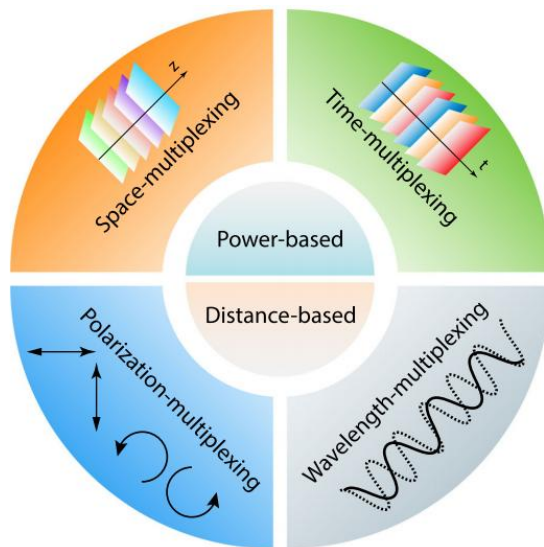


图 1.不同解决方案的分类

Split-Lohmann 多焦点显示器是一种近眼 3D 显示器，它能够通过一次曝光同时产生密集的焦平面。团队的关键创新是一种光学排列 Split Lohmann，它可以在传统显示器实现高度的深度局部控制。给定 RGBD 图像形式的场景，研究人员使用 RGB 显示器来投影彩色图像，而相位空间光调制器 SLM 则显示深度图的简单分析功能。

## 2 基本原理

基本组成部分：

- 1.多焦显示器：可在多个虚拟平面或焦平面上显示三维内容。

2. Lohmann 镜头：20 世纪 70 年代首次发展起来的概念。它由两个称为立方相板的光学元件组成，并通过相互移动两个元件来调节焦点。相位调制可以改变电信号中的相位,从而实现传输信息的目的。假设我们有两个立方板，它们堆叠在一起，带有高度图  $h_1(x)=x^3/c_0$  和  $h_2(x)=-x^3/c_0$ ，其中  $c_0$  决定了立方相板的曲率， $c_0$  值越小导致曲率越高。由于它们堆叠在一起，它们所产生的相位调制是 (1)。

$$e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}(h_1(x)+h_2(x))(\eta-\eta_{\text{air}})} \quad (1)$$

其中为  $\lambda$  工作波长， $\eta$  和  $\eta_{\text{air}}$  分别为相板材料和空气的折射率。如果两个板在相反的方向平移，如  $\pm \Delta$ ，那么得到的相位调制为 (2)，

$$h_1(x+\Delta)+h_2(x-\Delta)=\frac{(x+\Delta)^3-(x-\Delta)^3}{c_0}=\frac{6\Delta x^2+2\Delta^3}{c_0}. \quad (2)$$

忽略独立于  $x$  的常数项，(2)代入(1)，我们得到了一个相位调制 (3)。

$$e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}\frac{12\Delta(\eta-\eta_{\text{air}})}{c_0}\frac{x^2}{2}}. \quad (3)$$

平移相位板的效果是在入射波前上增加一个二次相位，这与焦距等于项的透镜的效果相同，只要改变相板之间的平移量，就可以获得不同焦距的透镜。

然而，这种方法需要机械运动以及存在较慢的操作速度。

③全息：使用相位 SLM 创建与场景相关联的波前（与本作有差异）在全息显示中，入射光通常（但不总是）空间相干的，相比之下，在分 Lohmann 的 SLM 上入射的光在空间上是非相干的.实际上，全息显示的最新结果需要使用摄像头循环优化对显示硬件的缺陷进行仔细建模和深度神经网络。相比之下，Split-Lohmann 在这两方面都是轻量级的，甚至允许交互式应用程序。

推导过程：

Split-Lohmann 多焦显示器的推导。我们从多焦显示器的传统模型开始，其中包括在目镜后面的转换显示器。

通过引入一个  $4f$  继电器和一个对焦可调谐镜头，可以避免显示器的物理运动得到新的系统。在这里，我们得到了使用 Lohmann 透镜的系统。

Lohmann 透镜的两个立方相位板的相对平移导致了显示器的光学轴向平移，为了避免显示器的物理运动，我们可以使用  $4f$  继电器来分割立方相位板，并使用线性相位斜坡来诱导光学平移，得到更进一步的系统。

需要在立方体板的傅里叶平面上引入相位斜坡。将它们放在(d)中，我们观察

到显示器距离相位斜坡有  $4f$  远，我们使用相位 SLM 来实现它。 $4f$  系统还确保显示像素现在在 SLM 上解析，调制立方相板的影响；我们可以对显示像素上诱导的焦距进行局部控制。通过实现一个具有分段恒定斜率的相位模式，我们可以在显示器上实现空间变化的轴向位移，这个最终的系统就是 Split-Lohmann 多焦点显示器。

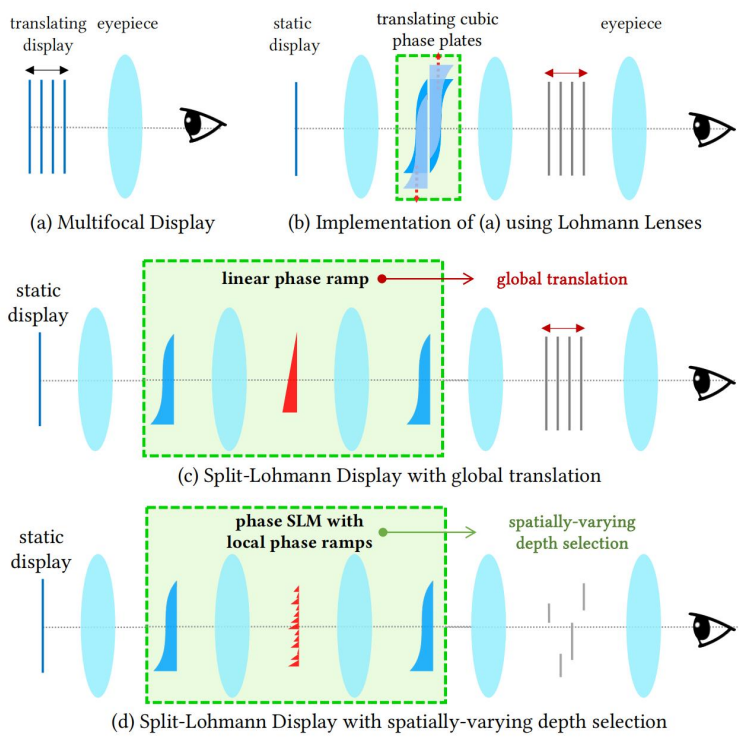


图 2.推导过程

成像原理：

图说明了波从三个不同点的传播，颜色编码的可视化。所有的点从显示器开始，作为理想的点光源，彼此不相干。第一处的相板在它们上产生立方相。在第二处的 SLM 中，每个人观察到的相位梯度都是不同的。这导致了在第三处干扰立方波面之间的位移量不同；第二个立方板后产生的波是平面的，对黄、红、绿点分别收敛二次和发散二次。因此，每个点在虚拟成像处经历了不同数量的轴向位移，在那里形成了平移虚拟显示。

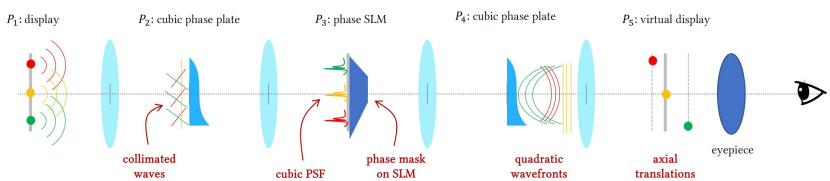


图 3.成像原理

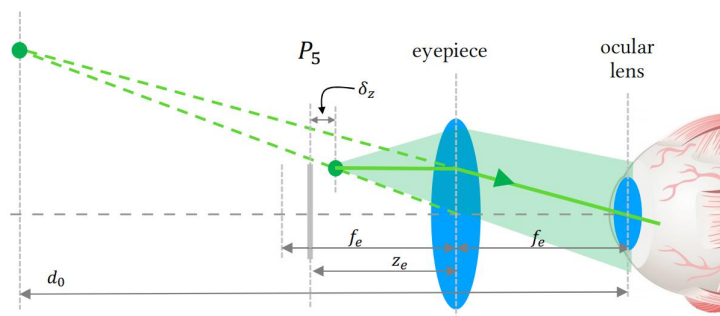


图 4.内容拟合中位置的确定

内容拟合：

需要拟合深度图和强度图到 SLM 相上。算法过程为先对输入图进行量化，再进行每个像素的偏移量到 SLM 相对应的斜率，最后得到 SLM 相的相位函数。

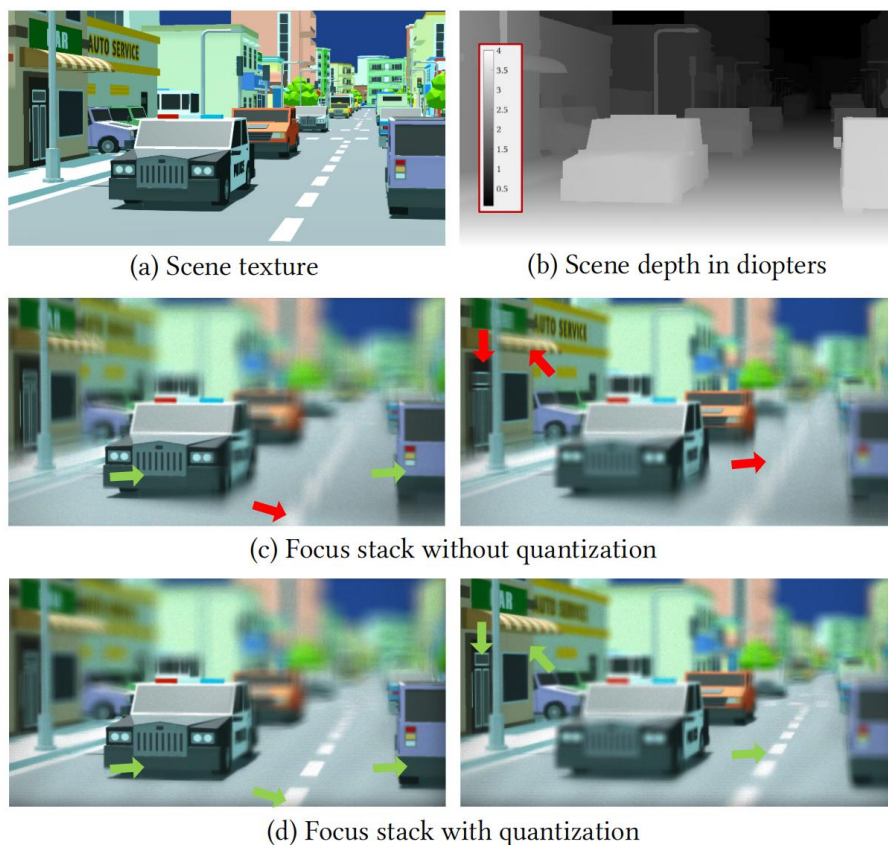


图 5.内容拟合中量化前后的效果差异

### 3 技术特点

特性：

1.是同时将显示器的像素定位在离眼睛不同距离的地方的透镜，可以在传统



显示器实现高度的深度局部控制

- 2.无需求助于高速焦点堆栈，所有的操作都是实时进行
- 3.只使用物理模型，无需追踪眼球或需求高带宽

在视场角（FOV）， 眼动范围（显示内容最清晰的区域）， 深度范围（指定设备计算的最小和最大距离。）， 深度分辨率（以长度表示的垂向分辨率）， 空间分辨率（够详细区分的最小单元的尺寸或大小），流式传输以及眼动追踪自由性 上相较先前的技术都有显著的提升。在聚焦效果上表现出更清晰的内容和更自然的离焦模糊，同时有最小的可观察噪声。

效果：

就像人眼看到的物理世界一样，当相机改变焦点时，它会在聚焦深度看到清晰的内容，在其他深度看到自然的焦点模糊。Split-Lohmann 显示器具有极其轻量级的计算足迹,用于将 RGBD 内容分别映射到 OLED 和 SLM 显示的纹理和相位图案上。这允许轻松显示视频和交互式 VR 场景，如 3D 游戏。

挑战：

散焦模糊和内容优化、在聚焦区域的锐度损失、slm 产生的伪影、深度的空间选择性、便携性

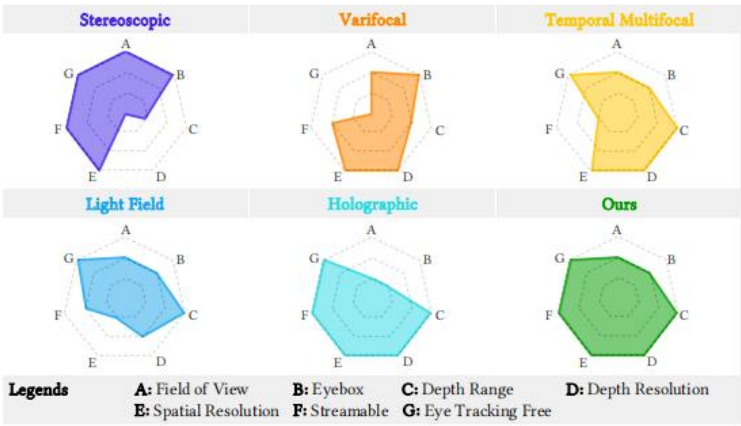


Figure 2: Comparison of common types of VR displays. Our display (in green) has a clear overall advantage in the most commonly assessed criteria of a VR display.

图 6.和各类技术的效果比对

#### 4 小结

Split-Lohmann 系统的核心技术贡献是一种光学安排，通过使用一个“分裂”

版本的 Lohmann 透镜，实现了一个空间变化的焦点可调谐透镜，能够对构成 Lohmann 透镜的两个立方相板之间的位移量进行独立的局部和非机械控制。构建的多焦显示器保持了显示器的分辨率，允许在 25-50 个焦平面上进行深度选择，而没有任何时间多路复用。

Split-Lohmann 的概念可能适用于远远超过 3D 显示器的系统。在其核心，它提供了改变与图像平面上不同空间位置相关的聚焦平面的能力；显示器和相机之间的基本对偶性原则上应该允许自适应和空间变化的对焦能力，甚至可能通过重新设计的系统进行全焦捕获。

## 参考文献

- [1] YINGSI QIN,WEI-YU CHEN,MATTHEW O ' TOOLE and ASWIN C. SANKARANARAYANAN. 2023. Split-Lohmann Multifocal Displays. ACM Transactions on Graphics 42, 4 (Aug. 2023), 1:1 – 1:18.
- [2]JEN-HAO RICK CHANG,B. V. K. VIJAYA KUMAR,ASWIN C. SANKARANARAYANAN.2018.Towards Multifocal Displays with Dense Focal Stacks.ACM Transactions on Graphics 37, 6(Nov.2018), 198:1-198:13
- [3]NATHAN MATSUDA,ALEXANDER FIX, DOUGLAS LANMAN.2017.Focal Surface Displays.ACM Transactions on Graphics 37, 4(Jul.2017), 86:1-86:14
- [4]Nitish Padmanaban, Robert Konrad, Tal Stramer, Emily A Cooper, and Gordon Wetzstein. 2017. Optimizing Virtual Reality for All Users Through Gaze-contingent and Adaptive Focus Displays. Proceedings of the National Academy of Sciences 114(2017), 9.
- [5]Douglas Lanman and David Luebke. 2013. Near-eye Light Field Displays. ACM Transactions on Graphics 32, 6, Article 220 (Nov. 2013), 10 pages. <https://doi.org/10.1145/2508363.2508366>
- [6]Andrew Maimone, Andreas Georgiou, and Joel S. Kollin. 2017. Holographic Near-eye Displays for Virtual and Augmented Reality. ACM Transactions on Graphics 36, 4(July 2017), 85:1 – 85:16.
- [7]Tao Zhan, Jianghao Xiong, Junyu Zou, and Shin-Tson Wu. 2020. Multifocal displays:review and prospect. Photonix 1, 1 (2020), 1 – 31.