

文章编号:1007-2780(2026)09-1247-08

基于空间温度扩散的 OLED 亮度均匀性补偿

周虹斌^{1,2}, 余欣蕊², 彭 聪^{2,3}, 董秋宇², 李 栋^{1,2}, 李喜峰^{1,2*}

(1. 上海大学 机电工程与自动化学院, 上海 200040;

2. 上海大学 新型显示技术及应用集成教育部重点实验室, 上海 200072;

3. 上海大学 上海市新型显示设计制造与系统集成专业技术服务平台, 上海 200072)

摘要:有机发光二极管(OLED)显示在长期电和热应力作用下,易产生亮度衰减不均匀及结构性残影现象。现有数据驱动补偿方法由于忽略像素间的空间热耦合效应,难以准确补偿静态或高频驱动条件下局部发热导致的不均匀老化。基于以上问题,本文提出了一种基于热扩散机制的亮度补偿架构,通过整合离散二维热扩散模型来近似邻近像素间的热传导,设计了一种物理增强型数据模拟方法,从而能够生成具有空间相关性的老化模式。基于该建模架构,构建了一个空间感知深度网络,该网络采用二维卷积架构并结合注意力机制,以同时捕捉局部结构特征和对退化敏感的参数。实验结果表明,与传统的像素独立模型相比,所提方法在设定条件下的亮度退化准确率与结构相似性分别提升 2.7% 与 0.273,适配长期老化和空间非均匀退化场景。结合定性视觉对比证实,所提方法能够有效抑制烧屏伪影,并在复杂区域保持图像结构一致性。

关键词:亮度均匀性;自注意力机制;OLED;数据增强

中图分类号:TP391.41;TN383.1 文献标识码:A doi:10.3724/CJLCD.2026-0127 CSTR:32172.14.CJLCD.2026-0127

Compensation of OLED brightness uniformity based on spatial temperature gradient

ZHOU Hongbin^{1,2}, YU Xinrui², PENG Cong^{2,3}, DONG Qiuyu², LI Dong^{1,2}, LI Xifeng^{1,2*}

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200040, China;

2. Key Laboratory of Advanced Display and System Applications of Ministry of Education, Shanghai University, Shanghai 200072, China;

3. Shanghai Technology Service Platform for New Display Design Manufacturing and System Integration, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: Organic light-emitting diode(OLED) displays are subject to uneven brightness decay and burn-in under prolonged electrical and thermal stress. Existing data-driven compensation methods struggle to accurately compensate for uneven aging caused by localized heating under static or high-frequency drive conditions, as they neglect the spatial thermal coupling effects between pixels. To address these issues,

收稿日期:2026-07-06;修订日期:2026-08-19.

基金项目:国家自然科学基金(No. U22A6002)

Supported by National Natural Science Foundation of China (No.U22A6002)

*通信联系人, E-mail:lixifeng@shu.edu.cn

this paper proposes a brightness compensation architecture based on thermal diffusion mechanisms. By integrating a discrete two-dimensional thermal diffusion model to approximate heat conduction between neighboring pixels, we designed a physically enhanced data simulation method capable of generating spatially correlated aging patterns. Based on this modeling architecture, we constructed a spatially aware deep neural network that employs a two-dimensional convolutional architecture combined with an attention mechanism to simultaneously capture local structural features and parameters sensitive to degradation. Experimental results show that, compared to traditional pixel-independent models, the proposed method improves brightness degradation accuracy and structural similarity by 2.7% and 0.273, respectively, under specified conditions—particularly in scenarios involving long-term aging and spatially non-uniform degradation. Qualitative visual comparisons confirm that the proposed method effectively suppresses burn-in artifacts while maintaining structural consistency in complex regions.

Key words: brightness uniformity; self-attention mechanism; OLED; data augmentation

1 引言

有机发光二极管(OLED)显示因具有自发光、高对比度、宽视角和快速响应等优势,已广泛应用于各类显示场景^[1-2]。然而,OLED在长期电学与热应力作用下会出现不可逆的亮度衰减,且该衰减过程为非均匀性的。当局部区域长期显示静态标识、固定界面或高亮区域时,面板容易形成区域性图像残留与结构性残影,从而显著降低显示一致性和视觉质量^[3]。因此,如何对长期运行后的非均匀亮度衰减进行准确补偿,已成为OLED可靠性提升中的关键问题。从机理上看,OLED老化并非单一亮度参数的时间漂移,而是薄膜晶体管(TFT)电性能退化、发光材料效率下降以及温度变化共同作用的结果。已有研究表明,驱动电压偏移、驱动电流变化和环境温度波动均会改变亮度衰减过程^[4]。同时,老化速度还与显示内容的空间分布有关^[5]。OLED老化本质上是一个具有电-热-光耦合特征的动态退化过程,而不是彼此孤立的像素点分别随时间独立衰减的简单叠加^[6-8]。

针对上述问题,现有补偿方法大致可分为3类:其一是内部补偿方法,通过增加像素级补偿电路修正TFT驱动偏差,但会提升像素结构复杂度并制约高分辨率集成^[9];其二是外部补偿方法,通过传感、检测和存储等模块估计器件状态并实施修正,但系统成本较高^[10];其三是数据驱动方法,通过构建退化变量与亮度损失之间的映射关系,直接完成补偿预测^[11]。相较于前两类方

法,数据驱动方法具有重构硬件成本低、复用性较强等优点,因而成为近年来OLED补偿研究的重要方向。该类方法在整体均匀老化场景下具有一定有效性,若仍采用独立像素的一维表示,模型便难以准确刻画区域性非均匀老化^[11]。针对OLED长期工作过程中产生的亮度不均匀和印痕问题,已有研究从器件结构优化、材料体系以及补偿算法等不同角度开展研究,从器件叠层结构及实验验证角度分析了印痕改善方法,为降低显示器件长期工作后的非均匀显示提供了相关研究基础^[12]。

本文将目标像素的退化估计由单一维输入扩展为局部二维图像块输入,并在数据构建阶段引入离散二维热扩散机制,以生成具有空间相关性的老化样本;在模型设计阶段,采用二维卷积与自注意力机制提取邻域结构信息,从而提升静态内容和高频纹理场景下的补偿精度。

2 数据特征生成与补偿

2.1 数据模拟

从显示内容出发,逐步生成等效老化退化数据电压场和驱动电流场,最终再依据亮度退化模型得到监督标签。为使内容更加全面,适合同时处理局部长亮发热,所选择的画面内容如表1所示。画面分为3个内容块,每个内容各40 min,包含各种亮度水平、画面常驻与饱和画面。由输入视频得到初始亮度、平均亮度、工作时间和温度,再进一步计算带权工作时间、退化数据电压、驱

动电流以及退化亮度,并以亮度偏差作为目标值建立数据模拟器。在保留上述物理变量链的基础上,引入二维热扩散,使其由像素独立工作转化为空间耦合结果。

表1 输入内容
Tab.1 Input data

内容块	内容
平均亮度	纪录片、体育、讲解、游戏
动态情景	动作、新闻、动画、汽车评测
饱和人像	综艺、人像、烹饪、访谈

设视频共有 N 帧,像素 (i, j) 在第 f 帧的亮度为 $B_{(i, j)}(f)$, 则其平均亮度与累计工作时间分别定义为:

$$\bar{B} = \frac{1}{N} \sum_{f=1}^N B_{(i, j)}(f), \quad (1)$$

$$t_{(i, j)} = \sum_{f=1}^N B_{(i, j)}(f) (B_{(i, j)}(f) > 0). \quad (2)$$

式(1)和式(2)分别刻画了像素在一段内容序列中的平均发光强度和累计点亮时长。首先从输入视频中提取每像素平均亮度与工作时间,

再据此生成后续退化变量。考虑到亮像素在相同工作时长下通常会表现出更快的退化速率,本文进一步引入加权工作时间:

$$t'_{(i, j)} = B_{(i, j)}(1 + \omega \bar{B}_{(i, j)}), \quad (3)$$

其中, ω 为亮度权重系数,取值为 $0.8^{[13]}$ 。式(3)的作用在于将工作时长与发光强度联合编码为更能反映退化累积程度的等效时间量。进一步地,考虑到温度会改变器件热耗散条件并加速衰减,可将温度因素并入等效老化时间,定义温度相关的等效老化时间为:

$$t_{(i, j)}^{\text{eq}} = t'_{(i, j)} \phi(T_{(i, j)}), \quad (4)$$

其中, $\phi(T_{(i, j)})$ 为温度加速因子,取值为 $1.345^{[13]}$ 。将温度因素作为等效时间的放大项。

为刻画局部发热对邻域像素的影响,图1对比了采用独立温度与考虑热扩散两种条件下对亮度退化的影响。可以看出,采用独立像素模块会存在偏差。因此引入温度扩散是非常重要的。本文在模拟器中进一步引入二维热扩散过程。设像素 (i, j) 在时刻 t 的局部热源为 $Q_{(i, j)}(t)$:

$$Q_{(i, j)}(t) = \alpha_B B_{(i, j)}(t) + \alpha_I I_{(i, j)}(t), \quad (5)$$

其中,第一项表示由发光亮度引起的热源贡献,第二项表示由驱动电流引起的焦耳热。在局部热

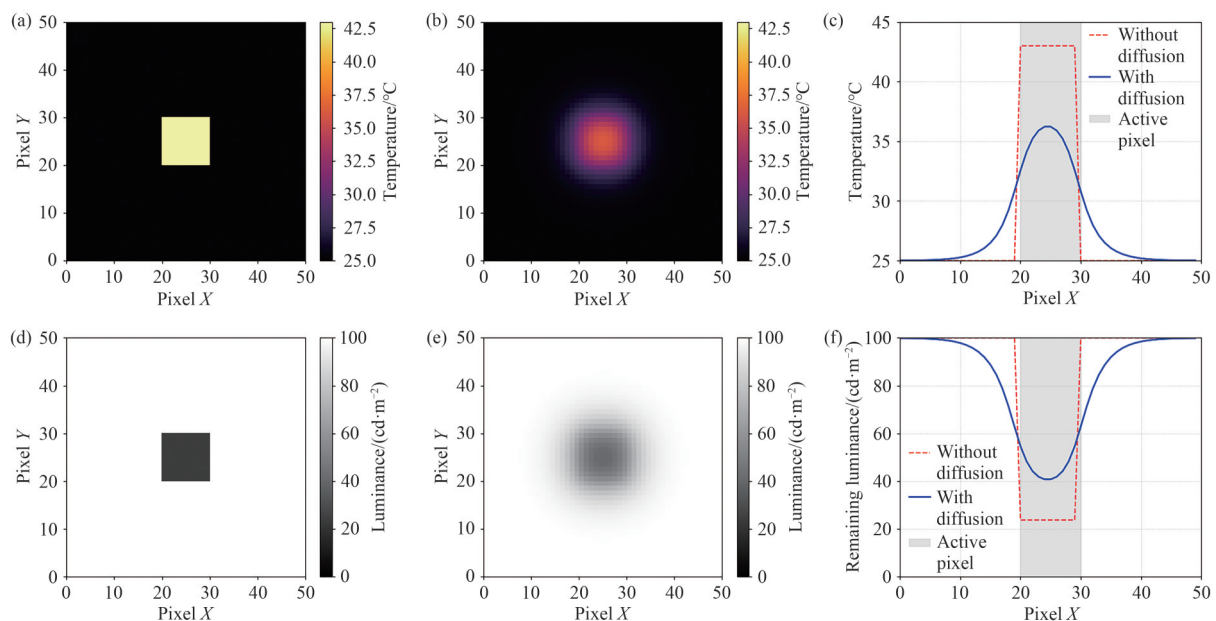


图1 温度-亮度扩散退化图。(a)无扩散温度图;(b)扩散温度图;(c)温度扩散对比图;(d)无扩散亮度退化图;(e)扩散亮度退化图;(f)亮度退化对比图。

Fig. 1 Temperature-luminance diffusion degradation Plots. (a) Non-diffusion temperature plot; (b) Diffusion temperature plot; (c) Comparison of temperature diffusion; (d) Non-diffusion luminance degradation plot; (e) Diffusion luminance degradation plot; (f) Comparison of luminance degradation.

源构造完成后,采用离散热扩散方程更新温度场:

$$T_{i,j}^{(r+1)} = T_{i,j}^{(r)} + \lambda \sum_{(u,v) \in N(i,j)} (T_{u,v}^{(r)} - T_{i,j}^{(r)}) + \rho Q_{i,j}^{(r)} - \kappa (T_{i,j}^{(r)} - T_{\text{amb}}), \quad (6)$$

其中: $N(i,j)$ 表示像素 (i,j) 的邻域, λ 为热扩散系数, ρ 为热源注入系数, κ 为散热系数, T_{amb} 为环境温度^[14-15]。式(6)表明,像素温度的更新不仅由自身热源决定,还取决于邻域温差及环境散热。后续将温度与老化时间共同作用于 TFT 阈值电压、迁移率、数据电压和驱动电流,再由驱动电流作用于 OLED 发光退化。为了适配二维场建模,本文将上述关系逐像素展开:

$$\Delta V_{(i,j)}^{\text{shift}} = (t_{(i,j)}^{\text{eq}})^{a_1}, \quad (7)$$

$$V_{(i,j)}^{\text{th}} \triangleq e^{a_2(T - T_{\text{min}})} + |\Delta V_{(i,j)}^{\text{shift}}| + \epsilon_1, \quad (8)$$

$$\mu \triangleq e^{-a_3 T} + \epsilon_2, \quad (9)$$

$$V_{d,t_p=y} \triangleq V_{\text{DD}} - \sqrt{\left(\frac{100}{100-\alpha}\right)\left(\frac{n}{l}\right)\frac{2I_{\text{max}}'}{\mu}C_{\text{ox}}\left(\frac{W}{L}\right) - |V_{\text{th},x_p=y}|} + \epsilon, \quad (10)$$

$$I_{t_p=y} \triangleq \frac{\beta}{2}(V_{\text{DD}} - V_{d,t_p=y} - |V_{\text{th}}|), \quad \beta = \mu C_i \frac{W}{L}. \quad (11)$$

式(7)~式(11)是用于计算在亮度退化过程中的中间变量。其中, V_{DD} 取值为 4.9 V, $\Delta V_{(i,j)}^{\text{shift}}$ 表示阈值漂移量, $V_{(i,j)}^{\text{th}}$ 表示阈值电压, μ 表示载流子迁移率, $V_{d,t_p=y}$ 表示退化后的 TFT 数据电压, $I_{t_p=y}$ 表示供给 OLED 的驱动电流, ϵ_1 、 ϵ_2 为噪声扰动项^[16]。

获得等效老化时间和驱动电流后,本文采用扩展指数衰减模型描述像素亮度退化。设 $L_{0(i,j)}$ 为像素 (i,j) 的初始亮度,则退化亮度定义为:

$$L_{(i,j)}^{\text{deg}} = L_{0(i,j)} \exp \left\{ - \left[\frac{t_{(i,j)}^{\text{eq}}}{\eta_1 \left(\frac{I_0}{I_{d,(i,j)}} \right)^{\beta_1}} \right]^{m_1} \right\}. \quad (12)$$

其中, η_1 、 β_1 和 m_1 为衰减模型参数^[17]。以退化亮度与初始亮度的偏差作为监督标签

如图 2 所示,首先数据模拟器从输入的视频中获取每个像素的平均亮度和操作时间,同时设置 0~80 °C 的环境温度。将获取的变量用于计算 TFT 在当前条件下的数据电压,并在其中加入白噪声以模拟现实环境。在输出退化 OLED 驱动电流、加入环境白噪声后计算当前亮度。由当前亮度值与驱动电流计算当前温升,并将其引入温度扩散模型,叠加至初始设置环境温度条件下。

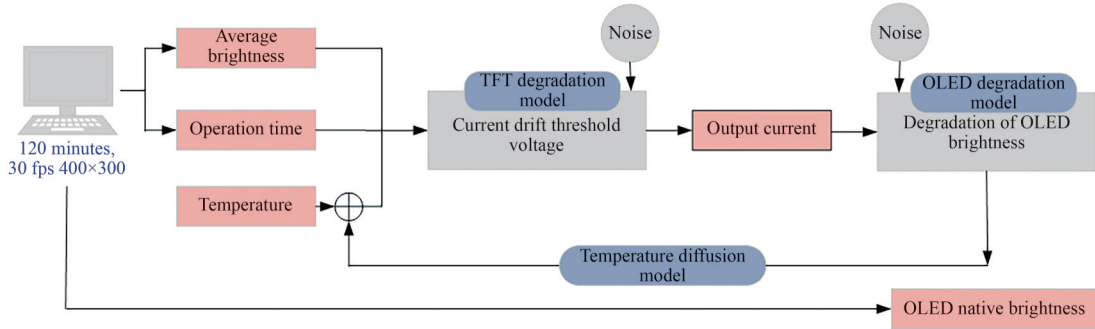


图 2 数据模拟流程

Fig. 2 Data simulation process

2.2 亮度补偿网络

对于目标像素 (i,j) ,本文以其为中心提取 5×5 局部邻域,并将等效老化时间、温度、数据电压和 OLED 驱动电流分别作为 4 个输入通道,构成尺寸为 $5 \times 5 \times 4$ 的局部特征张量。需要指出的是,亮度信息主要用于数据模拟阶段的退化计算及监督标签构建,不作为独立输入通道直接输入网络。以局部邻域特征预测中心目标像素的亮度衰减量。该输入形式能够在保留目标像素自身

退化状态的同时,引入邻域像素的热及电应力信息,为二维卷积和后续注意力机制提取空间相关退化特征提供输入基础。如图 3 所示,网络首先采用两个由二维卷积层、线性修正单元(ReLU)和最大池化层组成的卷积模块,对输入图像块进行局部特征提取,以获取非均匀老化区域的边缘信息;随后引入由平均池化层组成的卷积模块提取全局衰减特征,实现局部热点信息与整体退化趋势的联合建模。为避免特征归一化过程中空

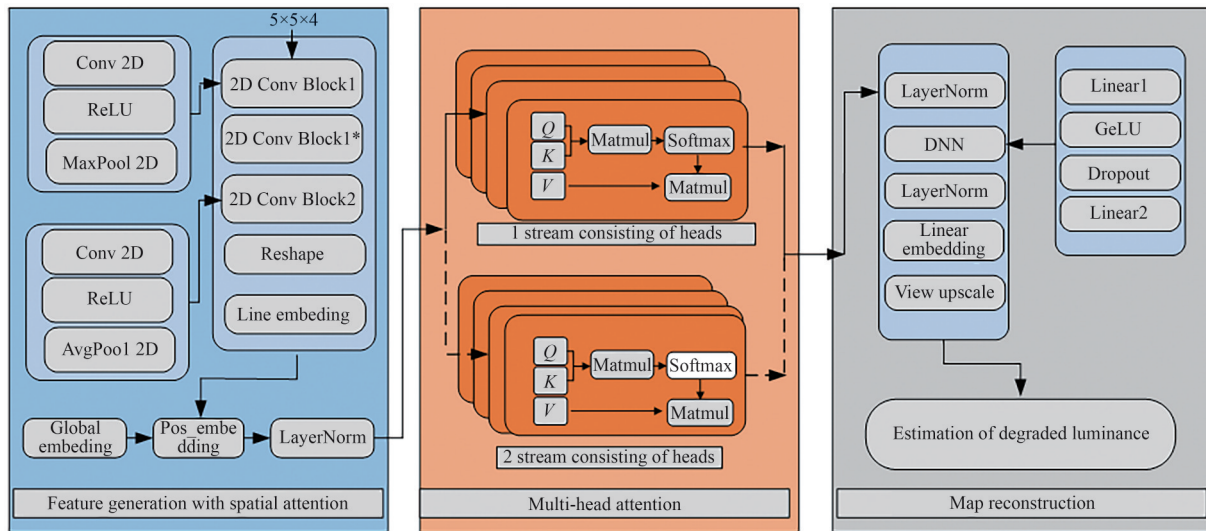


图3 网络流程设计

Fig. 3 Network flow design

间位置信息丢失,在特征融合前引入全局特征和绝对位置编码,并进行归一化处理,为后续注意力计算提供空间先验信息^[18-19]。

在此基础上,网络采用两层多头自注意力模块,每层包含4个注意力头,通过自适应调整不同特征的重要性,增强与亮度退化相关特征的响应,同时抑制冗余信息,提高模型对非均匀老化区域的特征表征能力^[20]。最后,将注意力模块输出的高层特征输入深度神经网络(DNN),重建亮度衰减估计图,实现OLED亮度退化的预测与补偿^[21]。

3 结果与讨论

为系统评估所提模型在 OLED 区域性非均

匀老化补偿中的有效性,本文分别从像素级定量指标、结构相似性指标以及视觉重建效果3个层面展开分析,并进一步通过消融实验验证二维空间建模、热扩散引导模拟以及空间注意力机制的独立贡献。考虑到 OLED 老化过程具有显著的时间累积特性,实验分别在 200 h、600 h、1 000 h 和 1 400 h 四个典型阶段进行测试,以考察模型在老化早期、中期与长期条件下的补偿稳定性和泛化能力。

图4中,本文分别在 25℃、45℃、65℃的环境温度设置下,衡量无补偿与本文补偿方法下的亮度退化程度。在 25℃条件下,无补偿时退化程度为 0.927,采用本文方法后为 0.942,提升约 1.5%。在环境温度为 45℃条件下,提升约为 2.7%。随着

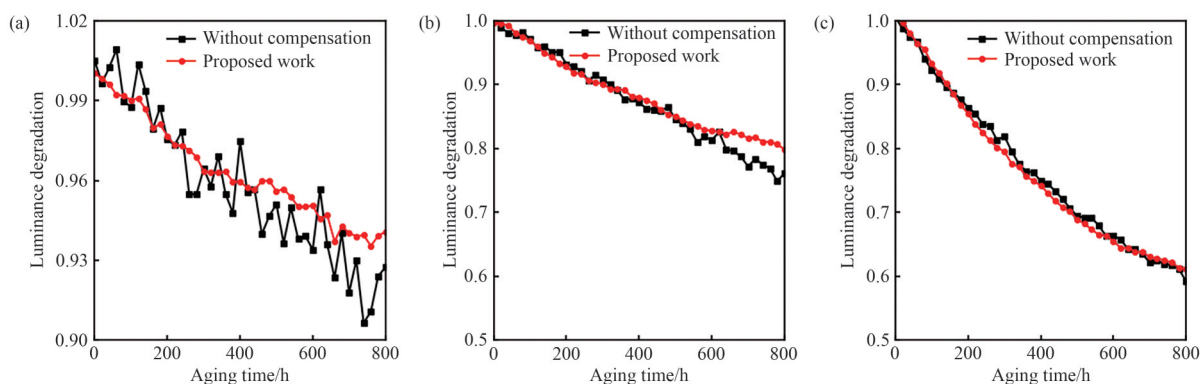


图4 不同温度条件下亮度补偿效果对比。(a) 25℃; (b) 45℃; (c) 65℃。

Fig. 4 Comparison of luminance compensation performance under different temperature conditions. (a) 25℃; (b) 45℃; (c) 65℃.

环境温度进一步升高至 65℃,OLED 整体热应力增强,温度对等效老化时间及整体亮度退化的影响进一步提高。相比之下,局部热源向邻域扩散所产生的空间温度差异对总退化量的相对贡献有所降低。因此,尽管二维热扩散模型仍能够描述局部热点与邻域像素之间的热耦合,但其相对于像素独立模型所带来的额外补偿增益有所减小,表现为 65℃条件下两种方法的性能差异不明显。

为客观量化本文亮度退化补偿算法中各模块的作用,实验在严格控制变量的条件下进行。评估不仅关注模型在初期老化的表现,更侧重于长期热应力累积下的鲁棒性。使用平均绝对百分比误差(MAPE)定义准确率,如式(13)所示:

Accuracy =

$$100\left(1 - \frac{1}{NP} \sum_{j=1}^N \sum_{p=1}^P \left| \frac{L_{t_p=0} - L_{t_p=\gamma}}{L_{t_p=0}} \right| \right) (\%). \quad (13)$$

表 2 表明,随着老化时间增加,各模型性能差异逐渐扩大,说明空间相关退化建模对中后期 OLED 补偿精度至关重要。相比 1D CNN,本文提出的空间感知模型在 1 000 h 和 1 400 h 阶段表现出明显优势,表明长期热应力累积引起的邻域热耦合已难以通过单像素回归准确描述,而二维局部建模能够有效捕获热点区域及其邻域的退化特征,从而获得更准确的亮度补偿结果。

OLED 烧屏补偿的终极目标是消除人眼可察

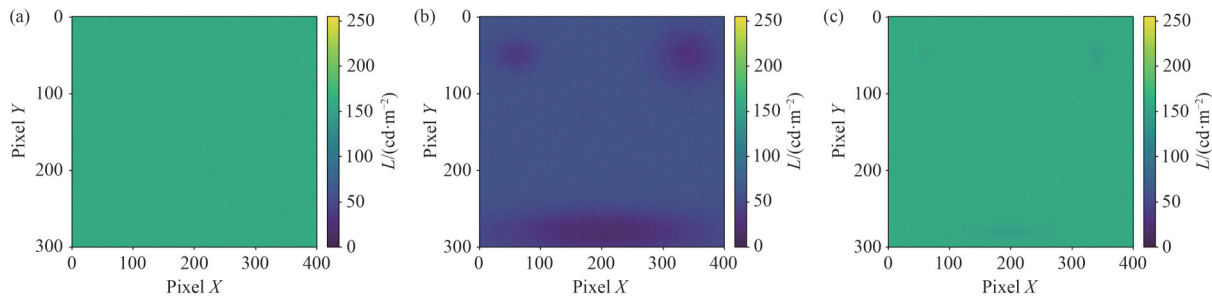


图 5 视觉对比结果。(a)初始亮度;(b)无补偿亮度衰减;(c)补偿结果。

Fig. 5 Visual comparison results. (a) Initial brightness; (b) Brightness decay without compensation; (c) Compensated result.

实验结果表明,二维卷积模型相比一维卷积取得了稳定的性能提升,说明 OLED 老化具有显著的空间相关性,而非像素独立过程。由于静态界面、固定图标及高频纹理区域持续发光产生局部热积累,邻域像素会发生耦合退化,1D 卷积神经

表 2 模型准确率

Tab. 2 Model accuracy %

Model	200 h	600 h	1 000 h	1 400 h
1D CNN	98.22	96.68	94.86	91.83
2D CNN	98.27	96.71	94.98	92.21
2DCNN+Diffusion	98.31	96.78	95.41	92.36
Proposed	98.34	96.79	95.68	92.47

觉的视觉瑕疵。因此,本节针对高强度静态视觉元素这一最易诱发严重局部烧屏的典型场景,进行了详细的视觉定性分析,结果如表 2 所示。在此基础上,引入结构相似性(SSIM)以衡量空间连贯性,结果如表 3 所示:

$$\text{SSIM}(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)}.$$

(14)

表 3 结构相似性

Tab. 3 Structural similarity

Model	200 h	600 h	1 000 h	1 400 h
1D CNN	0.382	0.370	0.344	0.318
2D CNN	0.483	0.472	0.452	0.428
2DCNN+Diffusion	0.582	0.573	0.558	0.535
Proposed	0.584	0.574	0.563	0.541

图 5 直观展示了 3 种状态下的屏幕亮度映射图像对比。

网络(CNN)缺乏空间信息建模能力,在长期非均匀老化条件下易产生补偿误差。相比之下,2D CNN 利用局部感受野提取邻域特征,能够更准确识别退化区域,其性能提升验证了本文采用 5×5 邻域图像块建模空间相关性的有效性。

在此基础上,引入热扩散引导的数据模拟后,模型在1 000 h和1 400 h阶段性能进一步提升,说明显式融入空间热传导先验有助于提高长期退化预测精度。由于模拟器能够刻画高亮区域热量向邻域扩散的过程,引入二维热扩散后,模拟数据具有更加明显的空间相关退化特征,与真实OLED非均匀老化过程中局部热点及邻域耦合退化的主要特征相一致,从而增强了模型的泛化能力。

进一步引入空间注意力机制后,模型在4个老化阶段均取得最高SSIM。结合本文的空间热扩散机制分析,注意力模块主要增强了持续高亮热点、高亮区域边缘以及静态图标等长期工作区域的特征响应。其中,高亮热点对应较强的局部热源,而热点边缘及静态结构区域具有较明显的空间退化梯度,因此对上述区域进行特征增强有助于提高非均匀退化区域的表征能力,并改善补偿结果的结构连续性和局部纹理一致性。

由于当前缺少大规模真实面板老化数据,本文尚不能从统计分布层面证明模拟数据能够覆盖所有实际OLED器件及全部工作场景。

4 结 论

针对OLED亮度衰减过程中空间热扩散导致的非均匀老化问题,本文提出了一种融合物理先验与数据驱动的亮度补偿方法。通过构建考虑空间热扩散的数据模拟方法生成高真实性训练样本,并结合空间特征建模与注意力机制提升对局部退化区域的表征能力,实现了OLED非均匀老化的有效补偿。实验结果表明,本文方法的亮度预测精度提升2.7%,结构相似性(SSIM)提高0.273,在长期老化及高频边缘场景下均表现出更优的补偿性能,进一步验证了融合空间热扩散机理与深度学习模型的有效性。

参 考 文 献:

- [1] HUANG Y G, HSIANG E L, DENG M Y, *et al.* Mini-LED, Micro-LED and OLED displays: present status and future perspectives [J]. *Light: Science & Applications*, 2020, 9(1): 105.
- [2] TAO J S, WANG R P, YU H, *et al.* Highly transparent, highly thermally stable nanocellulose/polymer hybrid substrates for flexible OLED devices [J]. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2020, 12(8): 9701-9709.
- [3] 翁乐,史大为,郭建,等. OLED显示残像研究进展[J]. *液晶与显示*, 2022, 37(9): 1140-1150.
WENG L, SHI D W, GUO J, *et al.* Research progress of OLED sticking image [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2022, 37(9): 1140-1150. (in Chinese)
- [4] TANKELEVIČIŪTĖ E, SAMUEL I D W, ZYSMAN-COLMAN E. The blue problem: OLED stability and degradation mechanisms [J]. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 2024, 15(4): 1034-1047.
- [5] HONG J, LIM J, JEON J. Reduction of short-time image sticking in organic light-emitting diode display through transient analysis of low-temperature polycrystalline silicon thin-film transistor [J]. *Displays*, 2024, 84: 102794.
- [6] KIM Y H, WEEGELS L, EICKHOFF C, *et al.* Improving lateral leakage current in OLED pixels by new hole transport materials: resolving the crosstalk issue [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2024, 55(1): 373-376.
- [7] LEE J M, KANG C H, YOO J S, *et al.* Analysis and simulation of reddish overshoot in active matrix organic light-emitting diode display with varying p-doped hole transport layer concentrations [J]. *Organic Electronics*, 2021, 99: 106328.
- [8] 丁川,姜雪松,许正印,等. 基于PtOEP分子温度探针对于OLED结温的判定及实验研究[J]. *发光学报*, 2023, 44(6): 1069-1076.
DING C, JIANG X S, XU Z Y, *et al.* Determination and experimental study of OLED junction temperature based on PtOEP molecular temperature probe [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2023, 44(6): 1069-1076. (in Chinese)
- [9] XIONG Z Y, YU S Y, CAO Q C. Driving scheme for residual image reduction in active-matrix organic light-emitting diodes display [J]. *Microelectronics Journal*, 2024, 151: 106324.
- [10] LEE K L, HSU Y P, CHAO P C P, *et al.* A new compensation method for emission degradation in an AMOLED display via an external algorithm, new pixel circuit, and models of prior measurements [J]. *Journal of Display*

- Technology, 2014, 10(3): 189-197.
- [11] PARK S C, PARK K H, CHANG J H. Luminance-degradation compensation based on multistream self-attention to address thin-film transistor-organic light emitting diode burn-in [J]. *Sensors*, 2021, 21(9): 3182.
- [12] 乐其河, 郭峰, 缪骋, 等. OLED 柔性屏印痕改善验证及叠层设计[J]. 液晶与显示, 2025, 40(7): 976-982.
LE Q H, GUO F, MIAO C, *et al.* Verification and stacking design of OLED flexible screen impression improvement [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2025, 40(7): 976-982. (in Chinese)
- [13] FAN R, ZHANG X N, TU Z T. Influence of ambient temperature on OLED lifetime and uniformity based on modified equivalent lifetime detection [J]. *Journal of the Society for Information Display*, 2019, 27(10): 597-607.
- [14] 林洋, 张静, 蔡苗, 等. 机电致发光二极管散热机理模拟研究[J]. 发光学报, 2015, 36(7): 841-845.
LIN Y, ZHANG J, CAI M, *et al.* Numerical study of heat dissipation model for organic light-emitting diodes [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2015, 36(7): 841-845. (in Chinese)
- [15] KIRCH A, FISCHER A, LIERO M, *et al.* Experimental proof of Joule heating-induced switched-back regions in OLEDs [J]. *Light: Science & Applications*, 2020, 9(1): 5.
- [16] IN H J, KWON O K. External compensation of nonuniform electrical characteristics of thin-film transistors and degradation of OLED devices in AMOLED displays [J]. *IEEE Electron Device Letters*, 2009, 30(4): 377-379.
- [17] ZHANG J P, LI W B, CHENG G L, *et al.* Life prediction of OLED for constant-stress accelerated degradation tests using luminance decaying model [J]. *Journal of Luminescence*, 2014, 154: 491-495.
- [18] HARARI A, KATZ G. Automatic features generation and selection from external sources: a DBpedia use case [J]. *Information Sciences*, 2022, 582: 398-414.
- [19] JADEJA V, RAO A L N, SRIVASTAVA A, *et al.* Convolutional neural networks: a comprehensive review of architectures and application [C]. 2023 6th International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I). Gautam Buddha Nagar: IEEE, 2023: 460-467.
- [20] ZHAO S H, LIU Z Y, YANG X Z. Spa-IHNet: sparse self-attention transformer combined with improved hybrid attention mechanisms network for image inpainting [J]. *Computers & Graphics*, 2026, 137: 104608.
- [21] CAO L Q, ZHAO Y, ZHANG F, *et al.* MDTNet: partial transformer with degradation-aware module for restoring old photos with multiple degradations [J]. *Neurocomputing*, 2025, 616: 128866.

作者简介:



周虹斌, 男, 硕士研究生, 2023 年于西南科技大学获得学士学位, 主要从事 FPGA 显示驱动设计与性能的研究。
E-mail: zhoubh@shu.edu.cn



李喜峰, 男, 博士, 教授, 2006 年于复旦大学获得博士学位, 主要从事图像采集、光电器件模拟设计及微晶硅薄膜、器件和工艺方面的研究。E-mail: lixifeng@shu.edu.cn