

说明书摘要

本发明公开了一种双层混合液晶 OLED 显示方法及系统，该双层混合液晶 OLED 显示方法针对动态画面中光场不同步引发的拖影与色彩分离问题，在信号处理流程中嵌入动态响应延迟补偿与帧间平滑过渡环节；该方法回溯历史帧驱动状态，结合当前目标与液晶材料物理特性预测响应时间，生成过驱动电压并协调上层发光时序，使两层光效变化在人眼感知中达成同步；实际应用中，运动物体边缘轮廓清晰锐利，色彩过渡自然连贯，拖影现象得到有效抑制，动态画面流畅度与真实感显著提升。此外，本方法还可以与迷你 LED 技术相结合使用，通过 OLED 和 LCD 混合显示技术有助于实现更高的效率，使得智能手机的显示屏在户外环境中更加明亮、更易辨认。

摘要附图

接收原始图像信号，将原始图像信号分解为上层激发信号和下层透过率信号，上层激发信号用于驱动上层有机发光层，下层透过率信号用于控制下层液晶层

对分解得到的上层激发信号和下层透过率信号执行像素级空间映射与邻域关联分析，生成带有空间特征标记的映射数据，依据映射数据匹配上层有机发光层和下层液晶层的电光转换特性，计算驱动电压初值

利用驱动电压初值合成上层有机发光层和下层液晶层的多层时序脉冲，对波形进行整形优化，基于优化后的波形补偿上层有机发光层和下层液晶层的动态响应延迟，实现帧间平滑过渡

在补偿后的驱动信号基础上监测显示面板热效应，动态平衡功耗

结合平衡后的驱动信号消除上层有机发光层与下层液晶层之间的光学串扰，优化视场角，并通过光电闭环反馈对优化后的驱动信号进行校准，完成系统自我进化

1. 一种双层混合液晶 OLED 显示方法，其特征在于，包括：

接收原始图像信号，将原始图像信号分解为上层激发信号和下层透过率信号，上层激发信号用于驱动上层有机发光层，下层透过率信号用于控制下层液晶层；

对分解得到的上层激发信号和下层透过率信号执行像素级空间映射与邻域关联分析，生成带有空间特征标记的映射数据，依据映射数据匹配上层有机发光层和下层液晶层的电光转换特性，计算驱动电压初值；

利用驱动电压初值合成上层有机发光层和下层液晶层的多层时序脉冲，对波形进行整形优化，基于优化后的波形补偿上层有机发光层和下层液晶层的动态响应延迟，实现帧间平滑过渡；

在补偿后的驱动信号基础上监测显示面板热效应，动态平衡功耗；

结合平衡后的驱动信号消除上层有机发光层与下层液晶层之间的光学串扰，优化视场角，并通过光电闭环反馈对优化后的驱动信号进行校准，完成系统自我进化。

2. 根据权利要求 1 所述的一种双层混合液晶 OLED 显示方法，其特征在于，分解所述原始图像信号包括：

采集原始图像信号并完成格式标准化，获得标准化图像信号；

基于标准化图像信号执行双层能量分配，计算能量分配系数；

利用能量分配系数提取上层激发信号和下层透过率信号

对提取的上层激发信号和下层透过率信号实施缓冲存储并添加

帧同步标记。

3. 根据权利要求 1 所述的一种双层混合液晶 OLED 显示方法，其特征在于，所述像素级空间映射与邻域关联分析包括：

将分解得到的上层激发信号和下层透过率信号映射至物理像素阵列坐标，形成二维信号矩阵；

分析二维信号矩阵中各像素点邻域的亮度差异，计算局部梯度幅值，依据局部梯度幅值动态调整空间权重并执行串扰预补偿；

整合坐标映射数据、梯度分析结果与补偿参数，生成带有空间特征标记的映射数据。

4. 根据权利要求 1 所述的一种双层混合液晶 OLED 显示方法，其特征在于，所述依据映射数据匹配上层有机发光层和下层液晶层的电光转换特性，计算驱动电压初值包括：

加载上层有机发光层和下层液晶层的光电响应曲线并完成校准，获得校准后响应曲线；

基于校准后响应曲线与带有空间特征标记的映射数据执行逆向映射，获得初步驱动电平；

对初步驱动电平实施非线性失真修正与动态范围压缩，获得修正后的驱动电平，将修正后的驱动电平进行量化处理并与系统时序基准对齐，获得量化电压码值。

5. 根据权利要求 1 所述的一种双层混合液晶 OLED 显示方法，其特征在于，所述对波形进行整形优化包括：

依据量化电压码值与系统时序基准识别驱动模式，选定波形模

板；

根据选定的波形模板合成多频脉冲序列并确定占空比，对合成的脉冲序列实施波形边缘斜率整形与过冲抑制；

将整形后的上层有机发光层驱动波形与下层液晶层驱动波形进行时序交织并锁定输出。

6. 根据权利要求 1 所述的一种双层混合液晶 OLED 显示方法，其特征在于，所述实现帧间平滑过渡包括：

回溯上一帧上下两层的实际驱动状态，与当前帧目标驱动数据比对获得变化幅度；

结合变化幅度与液晶材料粘滞系数预测响应时间；

依据预测的响应时间生成过驱动电压并构建中间帧插值数据；

将过驱动指令与插值数据融入驱动时序，执行实时时序校正并锁定双层同步。

7. 根据权利要求 1 所述的一种双层混合液晶 OLED 显示方法，其特征在于，所述动态平衡功耗包括：

采集分布式温度数据，结合驱动负载重构温度场并定位热点；

依据温度场分布预估各区域因升温导致的效率衰减程度，获得效率修正因子，利用效率修正因子执行自适应电流重分配与电压微调；

评估调整后的全板功耗，若超过阈值则启动全局功耗限制与帧率动态适配。

8. 根据权利要求 1 所述的一种双层混合液晶 OLED 显示方法，其特征在于，所述优化视场角包括：

依据热平衡状态确定多层介质折射率参数，执行光路追踪；

基于光路追踪结果构建空间串扰矩阵并解算干扰权重；

利用串扰矩阵对驱动信号实施预失真处理，重构驱动信号，对重构后的信号加入视场角依赖性补偿，合成最终抗串扰驱动信号。

9. 根据权利要求 1 所述的一种双层混合液晶 OLED 显示方法，其特征在于，所述通过光电闭环反馈对优化后的驱动信号进行校准，完成系统自我进化包括：

对最终抗串扰驱动信号产生的实际显示效果进行多光谱采样，计算与目标数据的偏差；

依据偏差数据追溯误差源并分析参数敏感度，根据分析结果动态更新驱动查找表与物理参数；

验证更新后的校准效果，满足要求后锁定闭环状态。

10. 一种用于实现如权利要求 1-9 任意一项所述方法的双层混合液晶 OLED 显示系统，其特征在于，包括信号分解模块、空间映射模块、电压计算模块、波形合成模块、延迟补偿模块、热管理模块、光学优化模块和闭环校准模块；

信号分解模块接收原始图像信号并分解为上层激发信号与下层透过率信号；

空间映射模块对分解信号执行像素级空间映射与邻域关联分析，生成带有空间特征标记的映射数据；

电压计算模块依据映射数据匹配上层有机发光层和下层液晶层的电光转换特性，计算驱动电压初值；

波形合成模块利用驱动电压初值合成上层有机发光层和下层液晶层的多层时序脉冲并对波形整形优化；

延迟补偿模块基于优化波形补偿上层有机发光层和下层液晶层的动态响应延迟，实现帧间平滑过渡；

热管理模块在补偿后的驱动信号基础上监测显示面板热效应并动态平衡功耗；

光学优化模块结合平衡后的驱动信号消除上层有机发光层与下层液晶层之间的光学串扰，优化视场角；

闭环校准模块通过光电闭环反馈对优化后的驱动信号进行校准，完成系统自我进化。

一种双层混合液晶 OLED 显示方法及系统

技术领域

本发明涉及显示技术领域，具体是涉及一种双层混合液晶 OLED 显示方法及系统。

背景技术

当前平板显示领域中，有机发光二极管显示依靠像素自发光实现高对比度与快速响应，液晶显示则通过液晶分子偏转调控光线，具备结构稳定与寿命较长的特点。为融合二者优势，双层混合显示结构将有机发光层作为上层光源，液晶层作为下层光阀单元。

然而在实际动态画面呈现过程中，上层有机发光层亮度变化瞬时完成，下层液晶层因分子粘滞性存在毫秒级偏转延迟，导致两层光场在时间维度上无法同步。当显示快速运动内容时，画面边缘产生明显拖影，色彩信息因上下层响应错位而发生分离，运动图像清晰度与视觉真实感显著下降，用户观看体验受到直接影响。

发明内容

本发明旨在提供一种双层混合液晶 OLED 显示方法及系统，解决了动态画面中光场不同步引发的拖影与色彩分离问题。

为达到以上目的，本发明采用的技术方案为：一种双层混合液晶 OLED 显示方法，包括：

接收原始图像信号，将原始图像信号分解为上层激发信号和下层透过率信号，上层激发信号用于驱动上层有机发光层，下层透过率信号用于控制下层液晶层；

对分解得到的上层激发信号和下层透过率信号执行像素级空间映射与邻域关联分析，生成带有空间特征标记的映射数据，依据映射

数据匹配上层有机发光层和下层液晶层的电光转换特性，计算驱动电压初值；

利用驱动电压初值合成上层有机发光层和下层液晶层的多层时序脉冲，对波形进行整形优化，基于优化后的波形补偿上层有机发光层和下层液晶层的动态响应延迟，实现帧间平滑过渡；

在补偿后的驱动信号基础上监测显示面板热效应，动态平衡功耗；

结合平衡后的驱动信号消除上层有机发光层与下层液晶层之间的光学串扰，优化视场角，并通过光电闭环反馈对优化后的驱动信号进行校准，完成系统自我进化。

优选的，分解所述原始图像信号包括：

采集原始图像信号并完成格式标准化，获得标准化图像信号；

基于标准化图像信号执行双层能量分配，计算能量分配系数；

利用能量分配系数提取上层激发信号和下层透过率信号

对提取的上层激发信号和下层透过率信号实施缓冲存储并添加帧同步标记。

优选的，所述像素级空间映射与邻域关联分析包括：

将分解得到的上层激发信号和下层透过率信号映射至物理像素阵列坐标，形成二维信号矩阵；

分析二维信号矩阵中各像素点邻域的亮度差异，计算局部梯度幅值，依据局部梯度幅值动态调整空间权重并执行串扰预补偿；

整合坐标映射数据、梯度分析结果与补偿参数，生成带有空间特

征标记的映射数据。

优选的，所述依据映射数据匹配上层有机发光层和下层液晶层的电光转换特性，计算驱动电压初值包括：

加载上层有机发光层和下层液晶层的光电响应曲线并完成校准，获得校准后响应曲线；

基于校准后响应曲线与带有空间特征标记的映射数据执行逆向映射，获得初步驱动电平；

对初步驱动电平实施非线性失真修正与动态范围压缩，获得修正后的驱动电平，将修正后的驱动电平进行量化处理并与系统时序基准对齐，获得量化电压码值。

优选的，所述对波形进行整形优化包括：

依据量化电压码值与系统时序基准识别驱动模式，选定波形模板；

根据选定的波形模板合成多频脉冲序列并确定占空比，对合成的脉冲序列实施波形边缘斜率整形与过冲抑制；

将整形后的上层有机发光层驱动波形与下层液晶层驱动波形进行时序交织并锁定输出。

优选的，所述实现帧间平滑过渡包括：

回溯上一帧上下两层的实际驱动状态，与当前帧目标驱动数据比对获得变化幅度；

结合变化幅度与液晶材料粘滞系数预测响应时间；

依据预测的响应时间生成过驱动电压并构建中间帧插值数据；

将过驱动指令与插值数据融入驱动时序，执行实时时序校正并锁定双层同步。

优选的，所述动态平衡功耗包括：

采集分布式温度数据，结合驱动负载重构温度场并定位热点；

依据温度场分布预估各区域因升温导致的效率衰减程度，获得效率修正因子，利用效率修正因子执行自适应电流重分配与电压微调；

评估调整后的全板功耗，若超过阈值则启动全局功耗限制与帧率动态适配。

优选的，所述优化视场角包括：

依据热平衡状态确定多层介质折射率参数，执行光路追踪；

基于光路追踪结果构建空间串扰矩阵并解算干扰权重；

利用串扰矩阵对驱动信号实施预失真处理，重构驱动信号，对重构后的信号加入视场角依赖性补偿，合成最终抗串扰驱动信号。

优选的，所述通过光电闭环反馈对优化后的驱动信号进行校准，完成系统自我进化包括：

对最终抗串扰驱动信号产生的实际显示效果进行多光谱采样，计算与目标数据的偏差；

依据偏差数据追溯误差源并分析参数敏感度，根据分析结果动态更新驱动查找表与物理参数；

验证更新后的校准效果，满足要求后锁定闭环状态。

另一方面，本发明提出一种双层混合液晶 OLED 显示系统，包括信号分解模块、空间映射模块、电压计算模块、波形合成模块、延迟

补偿模块、热管理模块、光学优化模块和闭环校准模块；

信号分解模块接收原始图像信号并分解为上层激发信号与下层透过率信号；

空间映射模块对分解信号执行像素级空间映射与邻域关联分析，生成带有空间特征标记的映射数据；

电压计算模块依据映射数据匹配上层有机发光层和下层液晶层的电光转换特性，计算驱动电压初值；

波形合成模块利用驱动电压初值合成上层有机发光层和下层液晶层的多层时序脉冲并对波形整形优化；

延迟补偿模块基于优化波形补偿上层有机发光层和下层液晶层的动态响应延迟，实现帧间平滑过渡；

热管理模块在补偿后的驱动信号基础上监测显示面板热效应并动态平衡功耗；

光学优化模块结合平衡后的驱动信号消除上层有机发光层与下层液晶层之间的光学串扰，优化视场角；

闭环校准模块通过光电闭环反馈对优化后的驱动信号进行校准，完成系统自我进化。

与现有技术相比，本发明的有益效果在于：

本发明提出的双层混合液晶 OLED 显示方法针对动态画面中光场不同步引发的拖影与色彩分离问题，在信号处理流程中嵌入动态响应延迟补偿与帧间平滑过渡环节；该方法回溯历史帧驱动状态，结合当前目标与液晶材料物理特性预测响应时间，生成过驱动电压并协调上

层发光时序，使两层光效变化在人眼感知中达成同步；实际应用中，运动物体边缘轮廓清晰锐利，色彩过渡自然连贯，拖影现象得到有效抑制，动态画面流畅度与真实感显著提升，同时完整保留了双层结构在对比度表现与能耗控制方面的固有优势。

附图说明

图 1 为本发明双层混合液晶 OLED 显示方法的流程图；

图 2 为本发明双层混合液晶 OLED 显示系统的框程图。

具体实施方式

以下描述用于揭露本发明以使本领域技术人员能够实现本发明。以下描述中的优选实施例只作为举例，本领域技术人员可以想到其他显而易见的变型。

如图 1 所示，本发明提出一种双层混合液晶 OLED 显示方法，旨在通过结构创新与信号处理流程的优化，实现高对比度、低功耗以及广视角的显示效果，此外，本方法还可以与迷你 LED 技术相结合使用，通过 OLED 和 LCD 混合显示技术有助于实现更高的效率，使得智能手机的显示屏在户外环境中更加明亮、更易辨认。该方法将有机发光二极管的自发光特性与液晶分子的光调制能力相结合，构建出上下两层协同工作的显示架构。上层负责色彩生成与基础亮度输出，下层负责光阀控制与对比度增强。具体包括：

接收原始图像信号，将原始图像信号分解为上层激发信号和下层透过率信号，上层激发信号用于驱动上层有机发光层，下层透过率信号用于控制下层液晶层；

分解所述原始图像信号包括：采集原始图像信号并完成格式标准化，获得标准化图像信号；基于标准化图像信号执行双层能量分配，计算能量分配系数；利用能量分配系数提取上层激发信号和下层透过率信号对提取的上层激发信号和下层透过率信号实施缓冲存储并添加帧同步标记。

通过格式标准化统一了信号输入基准，消除了源端格式差异带来的处理误差；基于亮度感知的双层能量分配确保了上层有机发光层与下层液晶层的光能利用率最优，避免了单一层过载或欠驱动；缓冲存储配合帧同步标记则严格对齐了上下两层的数据时序，从源头杜绝了因信号不同步导致的画面撕裂或色彩错位，为后续高精度驱动奠定了稳定基础。

对分解得到的上层激发信号和下层透过率信号执行像素级空间映射与邻域关联分析，生成带有空间特征标记的映射数据，具体包括：将分解得到的上层激发信号和下层透过率信号映射至物理像素阵列坐标，形成二维信号矩阵；分析二维信号矩阵中各像素点邻域的亮度差异，计算局部梯度幅值，依据局部梯度幅值动态调整空间权重并执行串扰预补偿；整合坐标映射数据、梯度分析结果与补偿参数，生成带有空间特征标记的映射数据。

将逻辑信号精准锚定至物理像素坐标，消除了行列驱动偏差；通过邻域梯度分析敏锐捕捉画面边缘与细节特征，动态调整的空间权重有效抑制了像素间的光学串扰；预补偿机制提前修正了潜在的光场干扰，显著提升了高对比度场景下的边缘锐度与色彩纯净度，确保复杂

纹理显示的准确性。

依据映射数据匹配上层有机发光层和下层液晶层的电光转换特性，计算驱动电压初值；具体包括：加载上层有机发光层和下层液晶层的光电响应曲线并完成校准，获得校准后响应曲线；基于校准后响应曲线与带有空间特征标记的映射数据执行逆向映射，获得初步驱动电平；对初步驱动电平实施非线性失真修正与动态范围压缩，获得修正后的驱动电平，将修正后的驱动电平进行量化处理并与系统时序基准对齐，获得量化电压码值。

通过校准响应曲线与逆向映射，实现了从图像信号到驱动电平的精准转换，确保了双层光效的线性度；非线性失真修正与动态范围压缩有效消除了器件固有的响应偏差，防止了高光溢出或暗部细节丢失；量化处理与时序对齐则保证了驱动信号的精度与同步性，使上下层发光强度严格匹配目标亮度，显著提升了画面的灰阶表现力与色彩还原准确度。

利用驱动电压初值合成上层有机发光层和下层液晶层的多层时序脉冲，对波形进行整形优化，具体包括：依据量化电压码值与系统时序基准识别驱动模式，选定波形模板；根据选定的波形模板合成多频脉冲序列并确定占空比，对合成的脉冲序列实施波形边缘斜率整形与过冲抑制；将整形后的上层有机发光层驱动波形与下层液晶层驱动波形进行时序交织并锁定输出。

波形边缘斜率整形与过冲抑制有效消除了信号跳变引发的振铃噪声，保护了器件寿命并提升了驱动稳定性；多频脉冲序列结合精确

占空比控制，实现了微秒级的光强调制精度；时序交织与锁定输出确保了上下层驱动波形的严格同步，从硬件底层规避了因时序错位导致的动态伪影，显著增强了画面在高速切换场景下的平滑度与纯净度。

基于优化后的波形补偿上层有机发光层和下层液晶层的动态响应延迟，实现帧间平滑过渡；具体包括：回溯上一帧上下两层的实际驱动状态，与当前帧目标驱动数据比对获得变化幅度；结合变化幅度与液晶材料粘滞系数预测响应时间；依据预测的响应时间生成过驱动电压并构建中间帧插值数据；将过驱动指令与插值数据融入驱动时序，执行实时时序校正并锁定双层同步。

通过回溯状态与粘滞系数预测，精准量化了动态响应延迟，利用过驱动电压显著缩短了液晶层的物理响应时间，有效消除了高速运动画面的拖影与模糊；中间帧插值数据填补了帧间亮度跃迁的空白，实现了上下层光效变化的平滑过渡；实时时序校正与双层同步锁定则彻底解决了因响应速度差异导致的瞬态色彩偏差，大幅提升了动态场景的清晰度与视觉连贯性。

在补偿后的驱动信号基础上监测显示面板热效应，动态平衡功耗；具体包括：采集分布式温度数据，结合驱动负载重构温度场并定位热点；依据温度场分布预估各区域因升温导致的效率衰减程度，获得效率修正因子，利用效率修正因子执行自适应电流重分配与电压微调；评估调整后的全板功耗，若超过阈值则启动全局功耗限制与帧率动态适配。

通过重构温度场与定位热点，精准量化了热效应对发光效率的抑

制作用；自适应电流重分配与电压微调实时补偿了高温区域的亮度衰减，有效消除了因局部过热导致的“热斑”与色彩漂移，确保了全屏亮度的均匀性与一致性；全局功耗限制与帧率动态适配机制在保障显示效果的同时，防止了器件热失控风险，显著提升了面板在长时间高负载运行下的稳定性、能效比及使用寿命。

结合平衡后的驱动信号消除上层有机发光层与下层液晶层之间的光学串扰，优化视场角，具体包括：依据热平衡状态确定多层介质折射率参数，执行光路追踪；基于光路追踪结果构建空间串扰矩阵并解算干扰权重；利用串扰矩阵对驱动信号实施预失真处理，重构驱动信号，对重构后的信号加入视场角依赖性补偿，合成最终抗串扰驱动信号。

基于热平衡状态的光路追踪精准量化了多层介质间的折射率变化，通过串扰矩阵解算与预失真处理，从信号源头有效抵消了上下层间的光学耦合干扰，显著提升了画面的对比度与黑位纯净度；视场角依赖性补偿修正了大角度观看时的光强衰减与色偏，大幅拓宽了有效可视范围，确保了用户在不同视角下均能获得色彩一致、无重影的高保真视觉体验。

通过光电闭环反馈对优化后的驱动信号进行校准，完成系统自我进化；具体包括：对最终抗串扰驱动信号产生的实际显示效果进行多光谱采样，计算与目标数据的偏差；依据偏差数据追溯误差源并分析参数敏感度，根据分析结果动态更新驱动查找表与物理参数；验证更新后的校准效果，满足要求后锁定闭环状态。

多光谱采样与偏差分析实现了对显示效果的像素级精准校准,有效消除了因器件老化、温度漂移或制造公差导致的色彩失真与亮度不均;基于误差溯源的动态参数更新机制,使系统具备持续自我修正能力,能够实时补偿性能衰退并优化驱动查找表;闭环验证与锁定确保了校准结果的可靠性与稳定性,显著延长了显示面板的高画质寿命,实现了全生命周期内的色彩一致性与系统自适应进化。

另一方面,本发明提出一种双层混合液晶 OLED 显示系统,如图 2 所示,包括信号分解模块、空间映射模块、电压计算模块、波形合成模块、延迟补偿模块、热管理模块、光学优化模块和闭环校准模块;

信号分解模块接收原始图像信号并分解为上层激发信号与下层透过率信号;

空间映射模块对分解信号执行像素级空间映射与邻域关联分析,生成带有空间特征标记的映射数据;

电压计算模块依据映射数据匹配上层有机发光层和下层液晶层的电光转换特性,计算驱动电压初值;

波形合成模块利用驱动电压初值合成上层有机发光层和下层液晶层的多层时序脉冲并对波形整形优化;

延迟补偿模块基于优化波形补偿上层有机发光层和下层液晶层的动态响应延迟,实现帧间平滑过渡;

热管理模块在补偿后的驱动信号基础上监测显示面板热效应并动态平衡功耗;

光学优化模块结合平衡后的驱动信号消除上层有机发光层与下

层液晶层之间的光学串扰，优化视场角；

闭环校准模块通过光电闭环反馈对优化后的驱动信号进行校准，完成系统自我进化。

进一步的，上述系统中的各模块在执行时还用于实现上述的一种双层混合液晶 OLED 显示方法的其他步骤，如下：

第一步骤：原始图像信号接收与双层分量分解

本步骤主要任务是接收外部输入的原始图像信号，并将其解析为适合双层架构处理的两个独立分量。原始图像信号通常包含红、绿、蓝三原色的亮度与色度信息，直接驱动单层显示器尚可，但在双层混合结构中，必须将其拆解为上层有机发光层所需的激发信号和下层液晶层所需的光透过率控制信号。

步骤 1.1：原始图像信号采集与格式标准化

执行原始图像信号的采集工作，从视频接口或图形处理器获取输入的帧数据。输入的信号格式可能多样，包括不同的分辨率、刷新率以及色彩编码方式。为了确保后续处理的一致性，首先需要对采集到的信号进行格式标准化处理。标准化过程包括将非标准的色彩空间转换为本系统定义的内部统一色彩空间，并将不同位深的颜色数据量化为系统内部固定的精度等级。

步骤 1.2：基于亮度感知的双层能量分配

基于输出的标准化图像信号，对其进行亮度感知分析，并据此进行双层能量分配。在双层混合结构中，总体的显示亮度由上层有机发光层的发射亮度与下层液晶层的透过率共同决定。为了优化功耗并提

升对比度，需要将原始图像的亮度信息合理分配给上下两层。对于高亮度区域，倾向于让上层有机发光层承担主要的发光任务，而下层液晶层保持高透过状态；对于低亮度或黑色区域，则利用下层液晶层的截止特性来阻挡背景光，上层有机发光层降低发光强度甚至关闭。步骤 1.2 依据步骤 1.1 提供的标准化亮度数据，计算出一个能量分配系数，该系数决定了多少比例的亮度由上层承担，多少比例依赖下层的光阀作用。这一分配结果是步骤 1.3 进行具体分量提取的直接依据，确保了能量分配的逻辑能够落实到具体的信号分离操作中。

在此过程中，引入能量分配系数的计算公式，以量化亮度在双层之间的分配比例：

$$\alpha(x, y) = \frac{L_{in}(x, y)}{L_{in}(x, y) + L_{th} \cdot e^{-\beta \cdot L_{in}(x, y)}};$$

其中， $\alpha(x, y)$ 表示坐标 (x, y) 处像素点分配给上层有机发光层的能量比例系数； $L_{in}(x, y)$ 表示步骤 1.1 处理后该像素点的标准化输入亮度值； L_{th} 为系统预设的亮度阈值常数，用于界定高低亮度的转折点； β 为衰减调节因子，用于控制低亮度区间能量分配的平滑度； e 为自然对数的底数。该公式确保了在高亮度输入时 α 趋近于 1，主要由上层发光；在低亮度输入时 α 迅速减小，更多依赖下层的遮光能力，从而实现能效与画质的平衡。

步骤 1.3：上层激发信号与下层透过率信号提取

基于计算得出的能量分配系数，执行具体的信号提取操作，将标准化图像信号分离为上层激发信号和下层透过率信号。对于每一个像

素点，利用步骤 1.2 生成的 $\alpha(x, y)$ 系数，将原始的原色亮度值分别乘以该系数，得到上层有机发光层需要的目标激发亮度值，这部分构成了上层激发信号。同时，将原始亮度值中剩余的部分，结合下层液晶层的光学特性曲线，反推出下层液晶层需要达到的目标透过率值，这部分构成了下层透过率信号。步骤 1.3 的操作严格依赖于步骤 1.2 的分配结果，没有能量分配系数，就无法确定上下层各自应承担的具体数值。提取出的上层激发信号将直接用于驱动有机发光材料，而提取出的下层透过率信号则作为后续电压转换的基础，两者共同构成了双层显示的原始驱动数据。

步骤 1.4：双路信号缓冲与帧同步标记

对提取出的上层激发信号和下层透过率信号进行缓冲存储，并添加帧同步标记。由于上下两层物理结构的响应时间存在差异，有机发光层的响应速度极快，而液晶分子的偏转需要一定的建立时间。为了防止两层显示画面出现错位或撕裂，必须在信号进入驱动电路前进行缓冲处理。步骤 1.4 将分离后的两路信号分别写入对应的帧缓存区，并在每一帧数据的头部插入同步标记位。这些同步标记位记录了当前帧的序号以及预期的显示时间点，确保后续步骤在处理时能够准确对齐上下两层的时序。步骤 1.4 的输出是带有同步标记的双路缓冲信号，这是步骤 2.1 进行像素级映射的前提，保证了数据在进入空间处理阶段时的时序一致性与完整性。

第二步骤：像素级空间映射与邻域关联分析

在完成了信号的分解与缓冲后，系统进入像素级空间映射与邻域

关联分析阶段。本流程步骤的核心在于将一维的信号流转化为二维的空间分布，并结合人眼的空间视觉特性，分析像素点与其周围邻域的关联关系。双层混合显示不仅仅是单个像素的独立发光与透光，相邻像素之间的光串扰以及人眼对边缘细节的敏感度都需要在空间域上进行补偿与优化。步骤 1.4 提供的缓冲信号虽然包含了完整的图像信息，但尚未考虑空间上的相互影响。本步骤通过分析邻域像素的亮度差异与色彩过渡，生成空间修正参数，为后续的电电压精确计算提供空间维度的依据。

步骤 2.1: 缓冲信号至物理像素阵列的坐标映射

读取带有同步标记的双路缓冲信号，将其逻辑地址映射到实际的物理像素阵列坐标上。缓冲信号通常按照扫描顺序线性存储，而物理显示屏是由行和列组成的矩阵结构。根据屏幕的分辨率参数，将线性的数据流重新排列为二维矩阵，确定每一个上层激发信号和下层透过率信号对应的具体物理位置 (x, y) 。这一映射过程建立了逻辑数据与物理器件之间的一一对应关系。步骤 2.1 的输出是排列整齐的二维信号矩阵，这为步骤 2.2 进行邻域分析提供了空间基础。如果没有准确的坐标映射，后续关于邻域像素的判断将失去参照系，无法正确识别边缘或纹理区域。

步骤 2.2: 基于局部梯度的邻域亮度差异分析

利用生成的二维信号矩阵，对每个像素点及其周围的邻域进行亮度差异分析。人眼对亮度突变的边缘非常敏感，而在双层结构中，如果上下两层在边缘处的处理不一致，容易产生伪影。步骤 2.2 选取以

当前像素为中心的 3×3 或 5×5 邻域窗口，计算中心像素与周围像素在亮度上的梯度变化。通过比较邻域内各点的亮度值，判断当前像素是处于平坦区域、渐变区域还是边缘区域。这种分析结果直接依赖于步骤 2.1 建立的坐标关系，只有明确了相邻像素的位置，才能计算它们之间的梯度。分析得出的梯度信息将作为步骤 2.3 进行空间权重调整的依据，确保在边缘区域采取更严格的控制策略，而在平坦区域则适当放宽以减少噪声。

在此环节中，引入局部梯度幅值的计算公式，用于量化邻域内的亮度变化剧烈程度：

$$G(x, y) = \sqrt{\left(\sum_{i=-k}^k w_i \cdot [L_{up}(x+i, y) - L_{up}(x-i, y)] \right)^2 + \left(\sum_{j=-k}^k w_j \cdot [L_{up}(x, y+j) - L_{up}(x, y-j)] \right)^2}$$

；

其中， $G(x, y)$ 表示坐标 (x, y) 处的局部梯度幅值； L_{up} 表示步骤 2.1 映射后的上层激发信号亮度值； k 为邻域半径，决定了分析窗口的大小； w_i 和 w_j 分别为水平和垂直方向上的加权系数，用于强调中心像素附近的变化贡献；求和符号 \sum 表示在邻域范围内累加差值。该公式通过计算水平和垂直方向的加权差分平方和开根号，能够准确反映图像局部的边缘强度，为后续的空间修正提供量化指标。

步骤 2.3：空间权重动态调整与串扰预补偿

依据计算出的局部梯度幅值，对当前像素的空间权重进行动态调整，并执行串扰预补偿。在双层结构中，上层发出的光线可能会穿过下层液晶层的非理想截止区域，或者下层液晶分子的倾斜会导致光线折射到相邻像素，形成光串扰。根据 $G(x, y)$ 的大小，判断是否需要

增强或减弱当前像素的驱动强度。对于高梯度区域（即边缘），适当增加下层液晶层的截止深度或调整上层发光角度，以抑制光晕；对于低梯度区域（即平坦区），则维持标准驱动。这一调整过程直接引用了步骤 2.2 的梯度分析结果，梯度的大小决定了补偿的力度。经过处理后的信号，已经包含了针对空间串扰的预补偿信息，这使得步骤 2.4 在进行最终的数据整合时，能够获得经过空间优化的驱动参数。

步骤 2.4：映射数据整合与空间特征标记生成

将坐标映射数据、梯度分析结果以及补偿参数进行整合，生成带有空间特征标记的最终映射数据。这些特征标记将指导后续的电压生成步骤采用不同的查找表或计算路径。整合后的数据流包含了丰富的空间上下文信息，为第三步骤中将电信号转换为物理驱动量提供了详尽的决策依据，确保了驱动信号能够适应复杂的图像内容。

第三步骤：电光转换特性匹配与驱动电压初算

当图像信号完成了空间域的优化与标记后，系统进入电光转换特性匹配与驱动电压初算阶段。本流程步骤的主要目标是将经过空间处理的数字信号转换为能够直接驱动硬件的物理电压值。上层有机发光层和下层液晶层具有截然不同的电光响应特性：有机发光二极管的亮度与电流呈非线性关系，且受温度影响较大；液晶分子的透过率与施加电压之间存在复杂的阈值与饱和特性。直接使用数字信号驱动会导致显示偏差。因此，必须依据器件的物理特性曲线，将数字量映射为模拟电压量。这一过程需要精确匹配每一层的光电响应行为，确保数字信号所代表的意图能够准确地转化为实际的光输出。只有完成了电

压的初步计算，后续的时序校正与动态补偿才有了执行的实体对象。

步骤 3.1：器件光电响应曲线加载与校准

首先加载上层有机发光层和下层液晶层的光电响应曲线数据，并进行实时校准。这些曲线描述了输入电压与输出亮度（或透过率）之间的对应关系，通常存储在系统的非易失性存储器中。由于器件老化或环境温度变化，实际的响应曲线可能会发生漂移。步骤 3.1 利用内置的光传感器反馈或预设的老化模型，对存储的标准曲线进行微调，生成当前状态下的有效响应曲线。这一校准过程是后续所有电压计算的基础，如果曲线不准确，计算出的电压将无法产生预期的光度效果。步骤 3.1 输出的校准后响应曲线，直接供步骤 3.2 使用，确保查表或计算时所依据的模型符合器件当前的实际物理状态。

步骤 3.2：基于逆响应函数的驱动电平初步映射

利用提供的校准后响应曲线，执行基于逆响应函数的驱动电平初步映射。对于上层有机发光层，需要根据目标激发亮度反推所需的电流驱动电平；对于下层液晶层，需要根据目标透过率反推所需的电压值。这是一个逆向求解的过程，即已知期望的光输出，求解对应的电输入。将带有空间特征标记的数字信号作为输入，查找或利用逆函数计算对应的初步驱动电平。例如，若目标亮度为 L_{target} ，则通过逆函数 $V = f^{-1}(L_{target})$ 得到初步电压 V_{pre} 。这一映射严格依赖于步骤 3.1 的曲线数据，曲线的形状直接决定了映射结果的准确性。步骤 3.2 生成的初步驱动电平虽然反映了基本的电光关系，但尚未考虑动态响应延迟与非线性失真，需进一步处理。

在此步骤中，引入逆响应映射的计算表达式，用于从目标光度值

推导初步驱动电压：
$$V_{pre} = V_{min} + (V_{max} - V_{min}) \cdot \left(\frac{D_{norm}}{\gamma + (1-\gamma) \cdot D_{norm}^\delta} \right)^{\frac{1}{\epsilon}};$$

其中， V_{pre} 为步骤 3.2 计算出的初步驱动电压值； V_{min} 和 V_{max} 分别为器件允许的最小与最大驱动电压界限； D_{norm} 为归一化后的目标驱动数据（来自步骤 2.4）； γ 为线性度调节因子，用于修正曲线中段的比例； δ 为非线性修正指数，用于拟合曲线两端的行为； ϵ 为整体伽马校正系数。该公式通过复杂的幂函数组合，能够灵活地拟合各种非线性的电光响应曲线，确保数字信号到模拟电压的转换精度。

步骤 3.3：非线性失真修正与动态范围压缩

针对生成的初步驱动电平，进行非线性失真修正与动态范围压缩。在实际驱动中，特别是在电压接近阈值或饱和区时，器件的响应往往会出现非线性失真，导致低灰阶并级或高灰阶过曝。此外，双层叠加后的总动态范围可能超出单帧显示的最佳区间。步骤 3.3 分析初步电平的分布情况，对处于非线性严重区域的电平值进行拉伸或压缩，使其落在线性响应较好的区间内。同时，根据双层叠加的最大亮度能力，对过高的驱动电平进行限制，防止过驱动造成的器件损伤或功耗激增。这一修正过程直接引用了步骤 3.2 的计算结果，是对初步映射的精细化打磨。经过修正后的驱动电平更加平滑且符合人眼视觉习惯，为步骤 3.4 的最终量化提供了高质量的数据源。

步骤 3.4：驱动电压量化与时序基准对齐

将修正后的连续模拟电平值进行量化，转换为数字驱动电路可识别的离散电压码值，并与系统时序基准对齐。数模转换器（DAC）具

有有限的分辨率，因此需要将计算出的电压值舍入到最接近的量化等级。在执行量化时，会结合步骤 2.4 中的空间特征标记，对于边缘区域采用误差扩散等抖动技术，以减少量化带来的轮廓效应。量化完成后，将这些电压码值与系统的时钟信号进行对齐，确保每个电压值都在正确的时刻被送入驱动芯片。步骤 3.4 的操作依赖于步骤 3.3 的修正结果，量化是对修正后波形的数字化采样。输出的量化电压码值及对齐的时序信息，构成了第四步骤中进行脉冲宽度调制与波形合成的基础数据，标志着电光转换准备工作的完成。

第四步骤：多层时序脉冲合成与波形整形优化

在获得了量化的驱动电压码值并确立时序基准后，系统进入多层时序脉冲合成与波形整形优化阶段。本流程步骤的任务是将静态的电压码值转化为动态的驱动波形，以适应双层混合结构中不同层级的响应速度差异。上层有机发光层通常需要恒流驱动或特定的脉冲宽度调制（PWM）信号来控制亮度，而下层液晶层则需要交流（AC）电压波形以防止离子积聚并保持分子活性。简单的直流电压无法满足长期稳定显示的需求。因此，必须根据各层的物理需求，合成复杂的时序脉冲序列，并对波形进行整形，以消除毛刺、减少电磁干扰并确保切换的平滑性。只有生成了合格的驱动波形，才能真正施加到面板电极上，实现图像的可视化呈现。

步骤 4.1：分层驱动模式识别与波形模板选择

根据步骤 3.4 输出的时序基准与电压码值，识别当前帧中各像素区域所属的驱动模式，并选择相应的波形模板。由于双层结构中不同

区域可能需要不同的驱动策略（例如高刷新区、静态显示区、低功耗待机区），系统需要动态判断。分析图像内容的运动矢量（可从前序帧推断）或亮度变化率，将屏幕划分为不同的驱动区域。针对有机发光层，选择恒流脉冲模板或高频 PWM 模板；针对液晶层，选择极性反转的方波模板或正弦波模板。这一选择过程严格依赖于步骤 3.4 提供的量化数据与时序信息，只有明确了电压等级和时间点，才能匹配适合的波形模板。选定的波形模板为步骤 4.2 的脉冲合成提供了基本骨架。

步骤 4.2：多频脉冲序列合成与占空比计算

基于步骤 4.1 选定的波形模板，合成具体的多频脉冲序列，并计算每个脉冲的占空比。对于有机发光层，亮度主要由脉冲的占空比或幅度决定；对于液晶层，有效电压值由波形的均方根（RMS）决定。将步骤 3.4 中的电压码值转换为脉冲序列中的高电平持续时间与低电平持续时间。通过调整占空比，可以在不改变峰值电压的情况下调节平均亮度或有效电压。这一合成过程紧密引用了步骤 4.1 的模板结构，是在模板框架内填充具体的时间参数。计算出的占空比数据直接决定了驱动信号的能量分布，是步骤 4.3 进行波形边缘整形的前提，确保脉冲的宽度能够精确反映图像灰度。

在此过程中，引入有效电压与占空比的关联计算公式，用于确定脉冲宽度以匹配目标光度：

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{D \cdot T} V_{peak}^2 dt + \frac{1}{T} \int_{D \cdot T}^T V_{off}^2 dt} = V_{peak} \cdot \sqrt{D} ;$$

其中， V_{rms} 为步骤 4.2 需要达成的目标有效电压值（对应步骤 3.4 的量化电压）； T 为脉冲周期的总时长； D 为待求解的高电平占空比（ $0 \leq D \leq 1$ ）； V_{peak} 为脉冲高电平时的峰值电压； V_{off} 为脉冲低电平时的截止电压（通常近似为 0）。该公式简化后表明，在峰值电压固定的情况下，有效电压与占空比的平方根成正比。通过此公式反推占空比 $D = (V_{rms}/V_{peak})^2$ ，可精确控制脉冲宽度以实现预期的驱动效果。

步骤 4.3: 波形边缘斜率整形与过冲抑制

对步骤 4.2 合成的脉冲序列进行波形边缘斜率整形，并实施过冲抑制。理想的方波在物理电路中是不存在的，陡峭的上升沿和下降沿会产生高频谐波，引发电磁干扰（EMI）并可能导致液晶分子震荡或有机材料受损。在脉冲的跳变沿加入可控的斜坡，使电压变化更加平缓。同时，针对液晶层在大角度偏转时容易出现的过冲现象（即电压超过目标值后回落），在波形前端预置一个反向的补偿脉冲或调整上升斜率，以抵消惯性带来的过冲。这一整形操作直接作用于步骤 4.2 生成的脉冲序列，是对原始波形的物理适配。经过整形的波形不仅保护了器件，还提升了显示的稳定性，为步骤 4.4 的最终信号输出做好了电气特性的准备。

步骤 4.4: 驱动信号时序交织与最终输出锁定

将步骤 4.3 整形后的上下两层驱动波形进行时序交织，并进行最终输出锁定。由于双层结构的特殊性，上下两层的驱动信号在时间上可能需要微小的错位，以避免电源峰值电流叠加或光场干扰。根据系

统时钟，将上层有机发光层的脉冲序列与下层液晶层的极性反转波形在时间轴上进行精密排列，形成交织的复合驱动信号流。在确认时序无误且波形完整后，将这些信号锁定并发送至源极驱动芯片与栅极扫描电路。步骤 4.4 的执行完全依赖于步骤 4.3 提供的整形波形，是将处理好的电信号推向物理执行端的最后一道关卡。

第五步骤：动态响应延迟补偿与帧间平滑过渡

在完成驱动波形的合成与输出锁定后，系统进入动态响应延迟补偿与帧间平滑过渡阶段。本流程步骤的核心任务是解决物理器件在状态切换过程中固有的时间滞后问题。上层有机发光材料虽然响应迅速，但在低亮度下仍存在微小的建立时间；下层液晶分子由于粘滞性，其偏转过程需要数毫秒甚至更长的时间才能达到目标角度。如果直接按照步骤 4.4 输出的波形进行驱动，快速运动的图像会出现拖影、残像或色彩断裂。因此，必须基于前一帧的状态与当前帧的目标状态，预测并补偿这种时间差，通过调整中间帧的驱动参数，使两层的光场变化在人眼感知中实现同步。这一过程不仅依赖于第四步生成的波形数据，还需要调用历史帧的存储信息，构建起时间维度上的连续修正链条。只有消除了时间轴上的响应差异，动态画面的流畅度与清晰度才能得到根本保障。

步骤 5.1：历史帧状态回溯与当前目标比对

首先从帧缓存中回溯上一帧（ $t-1$ 时刻）上下两层的实际驱动状态，并将其与步骤 4.4 锁定的当前帧（ t 时刻）目标驱动数据进行比对。上一帧的状态包括上层有机发光层的实际发光强度分布和下层液

晶分子的实际偏转角度分布，这些数据在上一轮循环结束时已被记录。步骤 5.1 将这两组数据进行逐像素对齐，计算每个像素点在亮度值和透过率值上的变化幅度 ΔL 和 ΔT 。这一比对过程直接引用了步骤 4.4 输出的最终驱动信号作为当前目标，同时依赖系统内部存储的历史状态寄存器。通过比对，系统能够识别出哪些区域发生了剧烈变化（如运动物体边缘），哪些区域保持静止。识别出的变化幅度是步骤 5.2 计算所需补偿量的基础，确保了补偿措施仅针对发生状态改变的像素，避免了对静止区域的无效处理。

步骤 5.2：基于粘滞系数的响应时间预测建模

步骤 5.2 利用步骤 5.1 计算出的变化幅度，结合液晶材料的物理粘滞系数，建立响应时间预测模型，估算下层液晶层达到目标状态所需的实际时间。液晶分子的旋转速度受温度、初始角度以及目标角度的共同影响，并非恒定不变。引入一个动态预测公式，根据当前的 ΔT 和环境温度传感器读数，推算出从当前状态过渡到目标状态的理论耗时 $t_{response}$ 。对于上层有机发光层，虽然响应极快，但也需考虑电容充电带来的微小延迟。该预测过程严格依赖于步骤 5.1 提供的状态差值，没有变化幅度就无法估算过渡时间。预测出的响应时间数据将指导步骤 5.3 生成具体的过驱动电压值，确保液晶分子能在一个帧周期内尽可能接近目标位置，从而减少动态模糊。

在此环节中，引入液晶响应时间的估算公式，用于量化状态切换所需时长：

$$t_{response} = \frac{\gamma \cdot d^2}{K \cdot \pi^2} \cdot \ln \left(\frac{\theta_{start} - \theta_{eq}}{\theta_{target} - \theta_{eq}} \right) \cdot \frac{1}{1 + \lambda \cdot |\Delta V|};$$

其中， $t_{response}$ 为步骤 5.2 预测的液晶分子响应时间； γ 为液晶材料的旋转粘滞系数，随温度变化； d 为液晶盒厚度； K 为弹性常数； θ_{start} 为步骤 5.1 获取的初始偏转角度； θ_{target} 为目标偏转角度； θ_{eq} 为平衡位置角度； λ 为电压加速因子； ΔV 为施加的电压变化量。该公式表明，响应时间与粘滞度和盒厚平方成正比，与电压变化量成反比关系。通过此公式，系统能精确预判在不同电压驱动下液晶分子的运动轨迹，为后续过驱动策略提供时间基准。

步骤 5.3：过驱动电压生成与中间帧插值

根据步骤 5.2 预测的响应时间，生成过驱动电压并构建中间帧插值数据。若预测显示液晶分子在标准帧时间内无法到达目标位置，将计算出一个高于目标值的瞬时过驱动电压，施加在帧初期，以利用更大的电场力加速分子偏转。一旦分子接近目标角度，立即回落至正常维持电压。同时，对于上下两层可能出现的不同步现象，在时间轴上插入虚拟的中间帧数据，调整上层发光强度的变化曲线，使其与下层透过率的变化曲线在视觉上重合。这一生成过程完全基于步骤 5.2 的时间预测结果，过驱动的幅度和持续时间由响应时间的长短决定。生成的过驱动电压序列和插值数据构成了步骤 5.4 进行实时校正的指令集，确保动态场景下的画面连贯性。

步骤 5.4：实时时序校正与双层同步锁定

将步骤 5.3 生成的过驱动指令和插值数据融入实际的驱动时序中，执行实时校正并最终锁定双层同步。系统控制器会微调上层发光

脉冲的开启时刻和下层电压波形的相位，使得两者的光效变化在视网膜积分时间内达成一致。

例如，若下层液晶变慢，上层发光可能会略微延迟开启或降低初始亮度，以匹配下层的透过率上升曲线。步骤 5.4 的操作直接引用了步骤 5.3 的校正数据，是对原始驱动时序的动态重构。经过校正后的时序信号，消除了因响应速度不匹配导致的色彩分离和拖尾现象。至此，动态响应补偿完成，系统输出的驱动信号不仅包含了空间上的优化，也具备了时间上的平滑性，为第六步骤中的热效应管理奠定了稳定的运行基础。

第六步骤：热效应实时监测与功耗动态平衡

随着驱动信号的持续输出，双层混合显示面板内部会产生热量。上层有机发光层在大电流驱动下效率会降低并产生焦耳热，下层液晶层的驱动电路也会发热。温度的升高会改变有机材料的发光效率、色坐标以及液晶的粘滞系数和双折射率，进而导致画面亮度波动、色彩偏移或响应速度异常。因此，本流程步骤旨在建立一套实时的热效应监测与功耗动态平衡体系。该体系不依赖外部冷却设备，而是通过内部算法动态调整驱动参数，在维持画质稳定的前提下抑制温升。这一过程紧密承接第五步骤的时序校正结果，因为高频的过驱动和插值操作可能会增加瞬时功耗。只有有效地管理热积累，才能确保显示系统在长时间运行下的可靠性与一致性。

步骤 6.1：分布式温度场传感与热点定位

利用嵌入在面板边框及背板内部的多个温度传感器，采集当前的

分布式温度数据，并结合步骤 5.4 输出的驱动负载情况，重构面板表面的二维温度场。单一的传感器读数无法反映局部过热情况，通过插值算法，将离散的温度点映射为连续的温度分布图，精准定位“热点”区域。这些热点通常出现在高亮度、高运动频率或长时间显示静态高对比度图像的区域。数据来源直接依赖于步骤 5.4 确定的最终驱动负载，负载越大的区域理论上产热越多。定位到的热点坐标及温度梯度是步骤 6.2 进行局部功耗限制的直接依据，确保了温控措施的针对性，避免全局降频带来的画质损失。

步骤 6.2：基于阿伦尼乌斯方程的效率衰减预估

根据步骤 6.1 生成的温度场分布，利用阿伦尼乌斯方程预估各区域有机发光材料及液晶材料因升温导致的效率衰减程度。温度升高会导致有机发光二极管的内量子效率下降，表现为同样电流下亮度降低；同时液晶的双折射率 Δn 也会随温度变化，影响透过率。计算每个像素区域在当前温度下的效率修正因子 $\eta(T)$ 。这一预估过程严格引用了步骤 6.1 的温度数据，温度越高，预估的衰减越大。计算出的效率修正因子揭示了如果不加干预，画面将出现怎样的亮度不均或色偏。

在此步骤中，引入效率衰减因子的计算表达式，用于量化温度对发光效率的影响：

$$\eta(T) = \eta_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{k_B} \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right);$$

其中， $\eta(T)$ 为步骤 6.2 计算出的当前温度 T 下的相对发光效率；

η_0 为参考温度 T_0 （通常为 25 摄氏度）下的基准效率； E_a 为材料的热激活能，表征材料对温度的敏感程度； k_B 为玻尔兹曼常数； T 为步骤 6.1 测得的绝对温度值； T_0 为参考绝对温度。该公式描述了效率随温度升高呈指数下降的趋势。通过此公式，系统能精确量化高温带来的性能损失，为后续的电补偿提供理论支撑。

步骤 6.3：自适应电流重分配与电压微调

依据步骤 6.2 计算的效率修正因子，执行自适应电流重分配与电压微调。对于因升温而效率下降的区域，适当增加上层有机发光层的驱动电流，以补偿亮度损失；同时，针对液晶层双折射率的变化，微调下层驱动电压的幅值，以维持目标透过率。然而，增加电流会进一步加剧发热，因此必须在补偿画质与控制温升之间寻找平衡点。它会根据整体功耗预算，优先补偿视觉敏感区域（如中心视野），而对边缘区域进行适度抑制。这一调整过程直接引用了步骤 6.2 的衰减数据，补偿的幅度与效率下降的程度成正比。经过微调后的驱动参数，既抵消了热效应带来的画质劣化，又防止了热失控的发生，为步骤 6.4 的全局功耗优化提供了经过初步平衡的数据基础。

步骤 6.4：全局功耗阈值限制与帧率动态适配

对步骤 6.3 调整后的全板功耗进行汇总评估，若总功耗超过预设的安全阈值，则启动全局功耗限制与帧率动态适配机制。当局部补偿导致整体电流过大时，会按比例轻微降低全屏的最大亮度上限，或在极端情况下，动态降低非关键区域的刷新率（例如从 120Hz 降至 60Hz），以减少单位时间内的开关损耗和发热量。这一决策过程依赖

于步骤 6.3 输出的实时功耗数据，只有当累积功耗触及红线时才触发限制措施。实施限制后，系统重新锁定驱动参数，确保面板工作在安全温度区间内。至此，热效应管理与功耗平衡完成，系统输出的是经过温度补偿且符合功耗约束的稳定驱动信号，为第七步骤中的光学串扰深度消除创造了稳定的物理环境。

第七步骤：多层光学串扰深度消除与视场角优化

尽管前序步骤已经进行了空间预补偿和时序同步，但在双层物理堆叠结构中，光线在穿过不同介质界面时仍会发生复杂的反射、折射和衍射，导致深层的光学串扰。特别是当用户从侧面观看时，上层像素发出的光线可能错误地穿过下层相邻像素的液晶单元，造成色彩纯度和对比度的下降。本流程步骤专注于在信号层面进行深度的光学串扰消除，并针对广视角特性进行专门优化。它利用光路追踪原理，模拟光线在双层结构中的传播路径，计算出串扰矩阵，并从驱动信号中减去预期的干扰分量。这一过程建立在第六步骤提供的稳定热环境基础上，因为温度变化会改变介质的折射率，从而影响串扰特性。只有彻底消除多层结构带来的固有光学缺陷，才能发挥双层混合架构在高对比度和广视角方面的真正优势。

步骤 7.1：多层介质折射率建模与光路追踪

首先根据当前面板的物理结构参数（如玻璃基板厚度、封装层折射率、液晶层间隙等）以及步骤 6.4 确认的温度状态，构建多层介质的折射率模型，并进行光线追踪模拟。温度变化会引起材料折射率的微小改变，因此必须引用第六步骤的最终温度数据来更新模型参数。

拟从上层每个像素点发出的光线，经过下层液晶层、偏光片等介质到达人眼的路径，计算出光线在传播过程中发生的偏移量和能量分布。这一建模过程直接依赖于步骤 6.4 确定的热平衡状态，确保模型参数与实际物理环境一致。

步骤 7.2: 空间串扰矩阵构建与权重解算

基于步骤 7.1 的光路追踪结果，构建描述像素间相互影响的空间串扰矩阵，并解算各邻域像素的干扰权重。该矩阵是一个稀疏矩阵，其元素 M_{ij} 表示第 j 个像素的光线对第 i 个像素观测亮度的贡献比例。通过分析大量光线的落点分布，量化了主像素与周围干扰像素之间的耦合强度。特别是在大视角方向，这种耦合会显著增强。构建矩阵的过程严格引用了步骤 7.1 的模拟数据，光路的偏移量直接决定了矩阵中非零元素的分布和数值。解算出的权重系数明确了哪些邻居像素会对当前像素造成干扰以及干扰的程度。

步骤 7.3: 逆向滤波预失真与信号重构

利用步骤 7.2 构建的串扰矩阵，执行逆向滤波操作，对原始驱动信号进行预失真处理，以抵消预计的光学串扰。其核心思想是：既然已知像素 A 的光会泄漏到像素 B，那么在驱动像素 B 时，就预先减去这部分来自 A 的预期光亮；同时，为了补偿像素 A 自身因泄漏而损失的亮度，适当增加其驱动强度。通过求解线性方程组 $S_{corrected} = M^{-1} \cdot S_{original}$ （其中 M 为串扰矩阵， S 为信号向量），计算出经过修正的驱动信号 $S_{corrected}$ 。这一重构过程完全依赖于步骤 7.2 的矩阵数据，矩阵的准确性直接决定了预失真的效果。经过逆向

滤波后的信号，在经过物理面板的光学传输后，能够在人眼处还原出纯净的图像，有效消除了重影和色彩混叠。

步骤 7.4：视场角依赖性补偿与最终信号合成

针对步骤 7.3 重构后的信号，进一步加入视场角依赖性补偿，并合成最终的抗串扰驱动信号。不同视角下，人眼接收到的光强和色彩特性不同（即视角特性）。根据预设的视角补偿曲线，对大角度观测时的色偏和亮度衰减进行额外修正。例如，在侧视方向，蓝色光往往衰减较快，系统会相应提升蓝色子像素的驱动权重。这一补偿步骤引用了步骤 7.3 的抗串扰信号，是在消除串扰的基础上进一步优化视角表现。将视角补偿数据叠加到驱动信号中，生成最终的控制指令。至此，光学层面的深度优化完成，输出的信号不仅消除了层间串扰，还保证了全视角下的色彩一致性，为第八步骤中的闭环反馈与自我进化提供了高质量的执行对象。

第八步骤：光电闭环反馈校准与系统自我进化

本步骤建立了从输出端到输入端的光电闭环反馈机制。显示面板在实际工作中会受到器件老化、环境光变化以及制造公差等多种因素的长期影响，固定的驱动参数难以永远保持最佳状态。因此，系统利用内置的高精度光传感器阵列，实时捕捉屏幕的实际发光表现，并与预期目标进行比对。通过计算误差，系统自动生成校准参数，更新前序步骤中的查找表、补偿系数及模型参数。这一过程不仅修正了当前的显示偏差，还将经验数据积累下来，使系统具备“自我进化”的能力，随着使用时间的推移，显示效果反而更加稳定和精准。

步骤 8.1: 多光谱实时采样与目标偏差计算

利用分布在屏幕四周及背光模组内的多光谱光传感器，对步骤 7.4 输出的驱动信号所产生的实际显示效果进行实时采样。传感器不仅测量亮度，还分离出红、绿、蓝三原色的光谱功率分布。

将采样得到的实际光度数据与系统内部存储的理想目标数据进行逐点对比，计算出亮度偏差 ΔL 和色度偏差 $\Delta u'v'$ 。这一采样过程直接反映了步骤 7.4 最终信号的执行结果，任何前序步骤的残留误差都会在此处显现。计算出的偏差值量化了当前显示状态与理想状态的差距，是步骤 8.2 进行误差源分析的输入数据，确保了校准工作有的放矢。

步骤 8.2: 误差源追溯与参数敏感度分析

根据步骤 8.1 计算的偏差数据，结合系统当前的运行日志，追溯误差产生的根源，并分析各可调参数对误差的敏感度。偏差可能源于有机材料的老化（导致效率下降）、液晶阈值的漂移、温度模型的失准或串扰矩阵的偏差。通过扰动观察法或基于历史数据的回归分析，判断哪一个环节的参数变化最能解释当前的误差模式。

例如，若全屏亮度均匀下降但色坐标不变，可能指向有机层老化；若边缘出现彩色条纹，则可能指向串扰矩阵失效。这一分析过程严格引用了步骤 8.1 的偏差特征，偏差的模式决定了溯源的方向。分析得出的敏感度排序指导步骤 8.3 优先调整哪些参数，以最小的代价获得最大的校准收益。

步骤 8.3: 驱动查找表动态更新与模型参数迭代

依据步骤 8.2 的误差溯源结果，对系统中的关键驱动查找表（LUT）和物理模型参数进行动态更新与迭代。若确认为有机层老化，则更新步骤 3.1 中的光电响应曲线；若为串扰变化，则修正步骤 7.2 中的串扰矩阵权重；若为温度模型偏差，则调整步骤 6.2 中的激活能参数。步骤 8.3 采用增量学习的方式，将新的校准数据平滑地融入原有参数中，避免突变导致的画面闪烁。这一更新过程直接依赖于步骤 8.2 的分析结论，只修改被确认为误差源的参数。更新后的查找表和模型参数立即生效，使得下一帧的驱动信号生成过程能够自动补偿已发现的缺陷，实现了系统的自我修复。

步骤 8.4：校准效果验证与闭环状态锁定

在步骤 8.3 完成参数更新后，再次控制光传感器进行快速验证采样，确认校准效果是否达到预期标准。系统将新的采样数据与目标值进行二次比对，若偏差在允许范围内，则锁定当前的闭环状态，将新参数固化存储，并结束本轮校准循环；若偏差仍未消除，则触发更深度的诊断程序或逐步加大补偿力度，直到满足要求。

这一验证步骤是对步骤 8.3 更新操作的直接检验，确保了校准的有效性和安全性。通过锁定，系统完成了从信号输入到光电输出再到反馈修正的完整闭环。该方法通过层层递进的信号处理、时空补偿、热管理、光学优化及闭环反馈，实现了显示性能的极致优化，为用户提供了清晰、稳定、节能且逼真的视觉体验。

以上显示和描述了本发明的基本原理、主要特征和本发明的优点。本行业的技术人员应该了解，本发明不受上述实施例的限制，上

说明书

述实施例和说明书中描述的只是本发明的原理,在不脱离本发明精神和范围的前提下本发明还会有各种变化和改进,这些变化和进步都落入要求保护的本发明的范围内。本发明要求的保护范围由所附的权利要求书及其等同物界定。

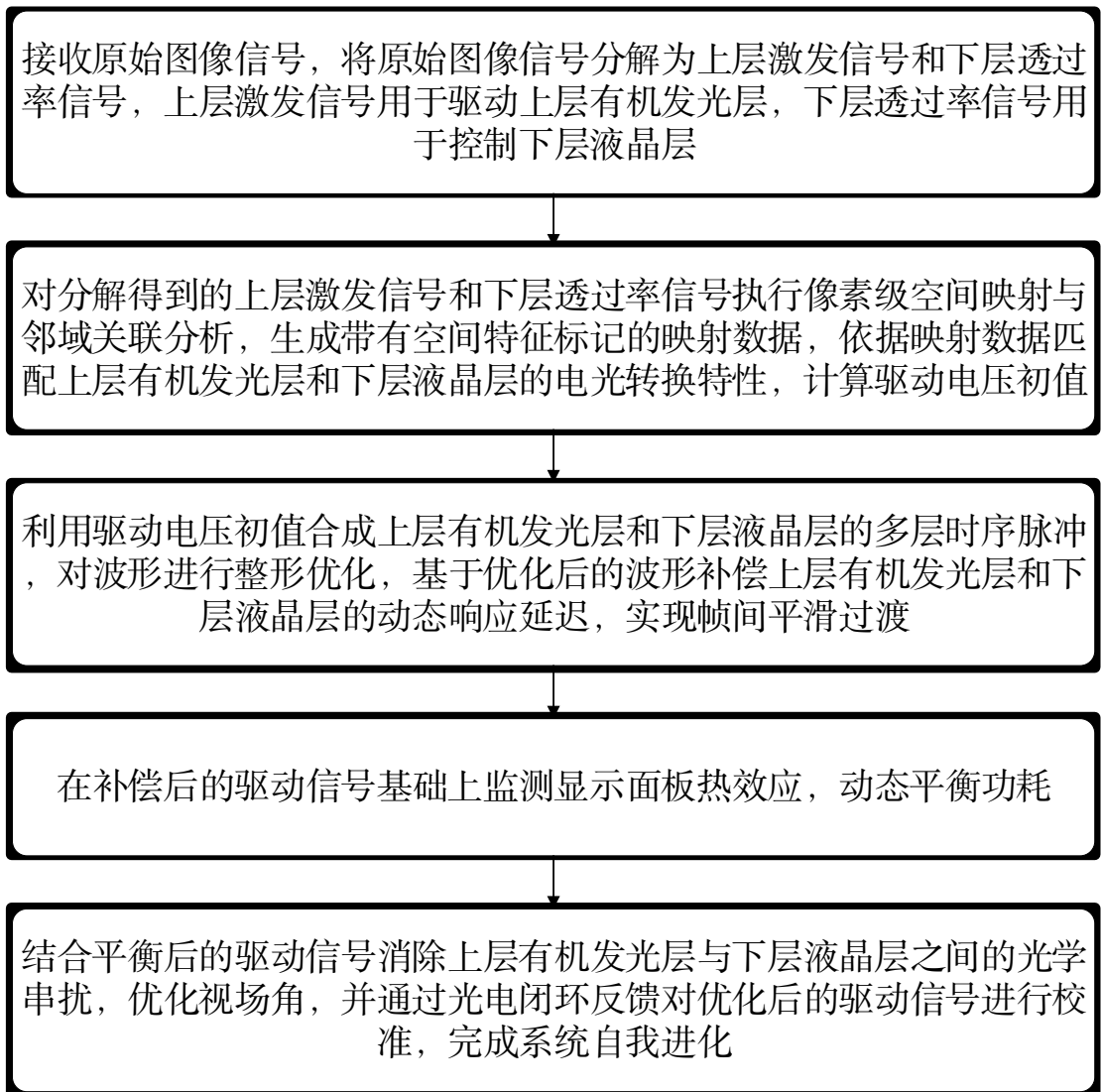


图 1

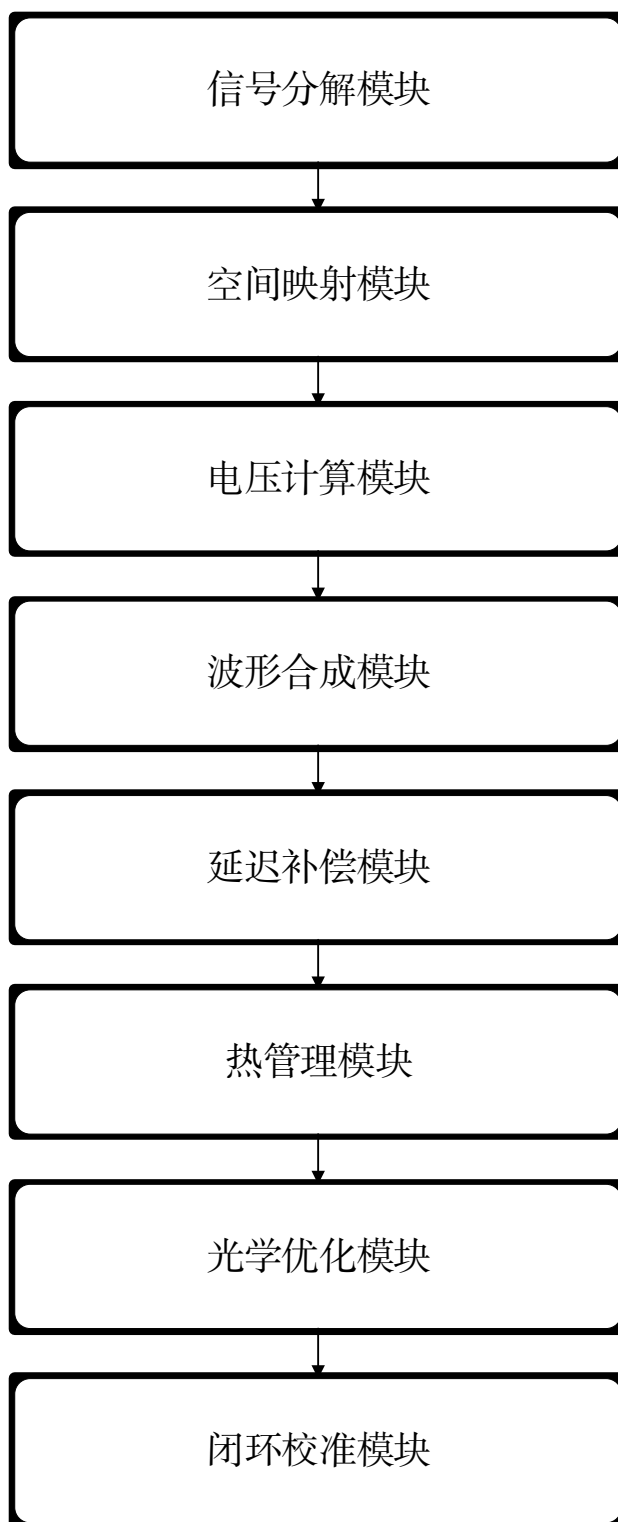


图 2