

文章编号: 1006-6268(2006)12-0035-05

用 LED 光源的单片式 LCOS 彩色投影机

H.Zou, A.Schleicher and J.Dean

(飞利浦美国研究中心, 美国纽约)

摘要:介绍一种以 LED 作为光源的单片 LCOS 全彩色投影机。证实由于偏振光转换导致的光输出限制是可以克服的,就是通过 LCOS 面板小的工作 F# 和 LED 与偏振光回收兼容性设计,而且避免了光源光束扩展量的增加。介绍 LCOS 投影 HDTV 在光收集元件和驱动方式等方面关键技术的进展。实例采用常规 LED,得到大于 40lm 的屏幕流明光通量。

关键词:LED 光源;LCOS;单片式投影机

中图分类号:TN949.191

文献标识码:M

Single-Panel LCOS Color Projector with LED Light Sources

Hans Zou, Adam Schleicher, John Dean

(Philips Research USA, NY, USA)

Abstract: We report a full color projection display based on a single LCOS panel using LED light sources. We have demonstrated that light output limitation due to polarization conversion can be substantially overcome by the small working F/# of the LCOS panel and LED compatibility with polarization recycling without increasing source etendue. We are presenting key technology developments in light collection optics and driving strategies for an LCOS based projection HDTV. Our demonstrator with currently available LEDs produces more than 40 screen lumens.

Keywords: LED light resource; LCOS; single panel projector

1 引言

过去 10 年,LED 的亮度迅速增长,这种增长预计在今后几年里还会继续^[1]。这种进步使得用 LED 作光源的投影显示成为可能。对于投影显示来说,使用 LED 光源最具吸引力的特性在于高达 10 万小时的寿命,而且驱动电压低、响应速度快、色域宽、没有

紫外或红外辐射以及非相干性。因此,使用 LED 光源的高性能投影机,成本低且整机效率高。虽然目前 LED 还没有达到背投电视所期望的亮度,但差距正在缩小。目前,LED 光源定位在外形尺寸小和无需高亮输出的应用领域。这开启了一个新的市场机遇,例如能够和移动设备相结合的迷你投影机。

因为 LED 是单色光源并且可以高速开关,所以使用 LED 光源在单片显示中可以实现场序彩色方

式。单片系统是实现低成本和较高图像质量的首选。为了输出足够的光通量, 显示面板必须能够兼容高的帧频。德州仪器(TI)的 DLP 是一种高速的微显器件, 有人已经将它用于 LED 光源的投影显示中^[2]。

液晶显示面板成本更低, 灰度等级更好, 但是通常响应速度太慢而无法支持实现场序彩色工作。但有两个例外, 一是铁电液晶显示, 响应速度很快, 但因直流平衡, 有效占空比低; 另一种就是飞利浦的高速硅基液晶(LCOS)显示, 基于薄液晶盒和向列相液晶, 响应时间小于 1ms。飞利浦的 LCOS 显示结合该技术的一般优点和令人满意的高响应速度, 给使用 LED 光源的单片投影显示提供了一种极具吸引力的选择。

LCOS 显示需要偏振光照明, 相对 DLP 而言, 存在光束扩展量限制。但是, LCOS 能够实现的 F# 可以小到 1.8, 而 DLP 典型的 F# 是 2.8。而且 LED 作为一种固体光源, 更适合保持光束扩展量的偏振光回收方案。从长远来看, LCOS 分辨率的增加并不依赖于面板尺寸, 对于高分辨率面板和光学引擎就意味着进一步降低成本的潜力。

本文介绍以 LED 作为光源的 LCOS 高清电视投影系统。为了表现 LED 光源的全部优点并得到最大化的光输出, 重点阐述光收集, LED 驱动, 显示面板写入和系统集成。

2 照明模组

2.1 LED 驱动

在场序彩色显示中, 不同色的子帧数据顺序加载到相应色光照明的面板。理想情况下, 子帧传输时间为零, 对基于三基色的时序彩色系统, 每个色光平均照明的占空比是 33%。但是对于实际的显示面板, 子帧之间的过渡需要一定时间。在过渡段内, 由于面板照明状态不确定而未被照明。这个因素给照明占空比带来了限制。

因 LED 只在需要时点亮, LED 光源不发出光使得低占空比会减少可用的平均光输出。补偿低照明占空比的一个方法是增加瞬时光输出, 用高于直流工作点的电流驱动 LED。

我们研究了用不同占空比的脉冲电流驱动 Lumileds 公司 Luxeon 系列 LED 的特性。在 33% 占空比和 66Hz 重复频率的驱动下, 与直流 350mA 工作时的光输出相比, 绿色和蓝色 LED 可实现的光输出增益是 3.5, 红色 LED 的增益是 2.5, 如图 1 所示。但是, 这种方法的不足是得到的增益与占空比的倒数不成线性比例。

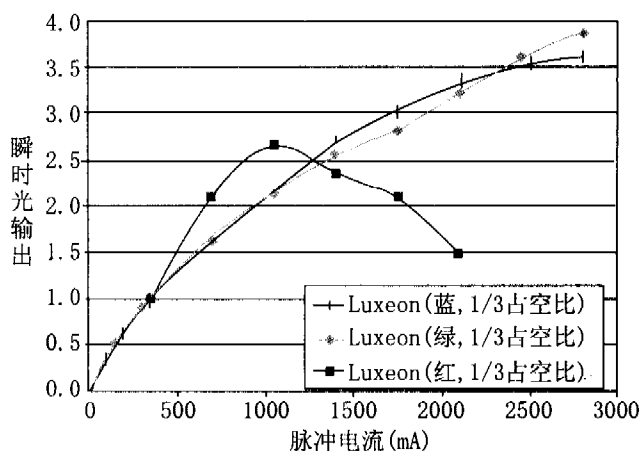


图 1 脉冲电流驱动 Luxeon LED 的瞬时光输出, 未采取有效冷却

值得注意的是, 高脉冲电流工作对 LED 寿命可能产生影响。幸运的是, 在前 1,000 小时寿命测试数据中, 与 Lumileds 发布的寿命数据相比, 没有表现出因高脉冲电流所致的光输出加速衰减。

我们同样观察到, 在使用高峰值电流驱动时, LED 输出光的峰值波长偏移。目标色平衡可通过适当调整照明色光的比例完成, 因此偏移也不是问题。我们的 LED 驱动电路就是基于这些实验结果设计的。电路的核心部分是以视频驱动板的帧同步信号为源的触发开关。电路的开关时间小于 $1\mu\text{s}$, 每个 LED 的剩余峰值电压小于 7V。

2.2 光收集和偏振光回收

为了充分利用系统光束扩展量, 照明光源需用多个 LED 芯片。可以把这些 LED 芯片密集封装在一起, 再用一个光学元件收集; 也可用光学元件阵列, 每个 LED 芯片对应单独的透镜。出于更好的热管理考虑, 选择光学元件阵列方式。光束扩展量守恒和系统效率是光学设计的主要出发点。

对于 Luxeon 公司 1mm 的 LED, 蓝色和绿色芯片在封装内的光束扩展量大约是 $10\text{mm}^2 \cdot \text{sr}$, 可能的 LED 数量为系统光束扩展量和 LED 光束扩展量的比值。如果 LED 直接暴露在空气中, 其光束扩展量会降低 2.25(假设封装的折射率 $n_e=1.5$) 倍, 原因是光束扩展量和 n_e^2 成比例。另一方面, 对于从 LED 一个表面发出的光, 可实现的光提取效率 η_{ext} 估计如下:

$$\eta_{\text{ext}} = \frac{4n_e}{(ne+1)^2} \cdot \frac{1 - \sqrt{1 - (n_e/n_s)^2}}{2} \quad (1)$$

其中 n_s 是 LED 芯片的折射率, 蓝色和绿色 LED 芯片的 n_s 等于 2.5。按照式(1), 对于蓝色和绿色 LED 而言, 带封装 LED 的提取效率是未封装 LED 的 2.3 倍。对于有确定光束扩展量的系统, 可用光通量由 LED 数量与提取效率的乘积决定, 基于这种考虑, 封装与否好像没有太大的区别。但是, 封装在能量利用效率上有 2.3 倍的优势, 从而缓解导致 LED 输出降低的温升问题。因此, 模组所用 LED 芯片都埋在折射率为 1.5 的封装里面。

为了收集 LED 发出的光并耦合到系统结构里, 使用一种复合抛物面收集器(CPC)。CPC 收集 LED 芯片发出的光, 同时还基本上保持光束扩展量。由于 LED 芯片和显示面板都呈矩形, 理想的 CPC 也应有矩形入口和出口, 并且呈圆形的角分布。CPC 收集器具有非旋转对称的孔径, 必须采用复杂的星状横截面排列, 尽管不够完美, 但还是很好地保持了光学扩展量。为避免制造过于复杂, 决定使用横截面形状相同的 CPC, 这样面临两种选择: 一种有正方形的输入输出及角分布, 另一种有圆形的输入输出及角分布。使用正方形 LED 芯片时, 正方形 CPC 虽然不因几何面积而使光学扩展量变大, 但角分布却会使之变大。圆形 CPC 不会因角分布而使光学扩展量变大, 但几何面积却会使之变大。以可用光束扩展量为衡量尺度, 根据模拟结果, 方形 CPC 和圆形 CPC 的效率分别为 85% 和 71%。因此, 方形 CPC 的效率仍然高出 20%。使用金刚石车床很难加工正方形 CPC 初样, 因此初样使用金刚石车床加工的圆形 CPC, 以后再使用注塑加工的正方形 CPC。

CPC 反射器的另一个好处就是与可能设置的偏

振光循环回收的良好兼容性。基于 CPC 的几何形状, 每一条在出射面经镜面反射的光线都要返回到入口。实验室里测量的 LED 芯片具有 60% 的有效反射率, 进一步增加了非偏振光被回收的可能性。为了实现偏振光回收, 将 3M 的 DBEF 以及 1/4 波片耦合到 CPC 的出口面。平均而言, 测到偏振光输出增加了 25%, 模组输出光的消光比为 10:1。系统光束扩展量允许使用 12 只 LED, 包括 10% 的溢出率。但是, 圆形 CPC 无法做到无缝拼接。每种颜色的 LED 多装 2 只。图 2 所示的就是基于上述设计的 LED-CPC 阵列模块。

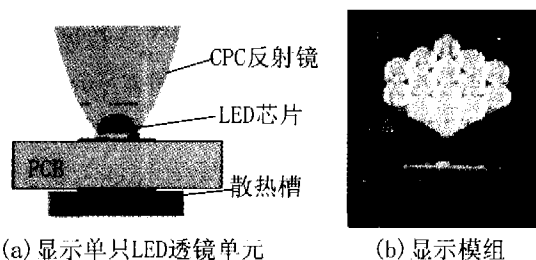


图 2 LED 照明模组。(a)显示单只 LED 透镜单元, (b)显示模组

2.3 均匀和中继光路

如图 2 所示, CPC 阵列的出口面上, CPC 之间有缝隙。需要均光积分和中继光学器件来实现对 LCOS 面板的均匀照明。因为 CPC 阵列出口与 LCOS 面板之间较大的形状差异, 使用光棒的传统方式不利于紧凑的结构。作为替代, 用一个透镜作为积分器。如图 3 所示, 在 CPC 入口面处的 LED 芯片的像重迭在积分透镜的焦平面上, 形成均匀照明光斑。在这种方式下, 透镜既起到积分器的作用又起到中继镜的作用。透镜的焦距和孔径尺寸需适当选择, 使得照明光斑尺寸匹配 LCOS 面板尺寸, 照明锥角匹配系统 F#。

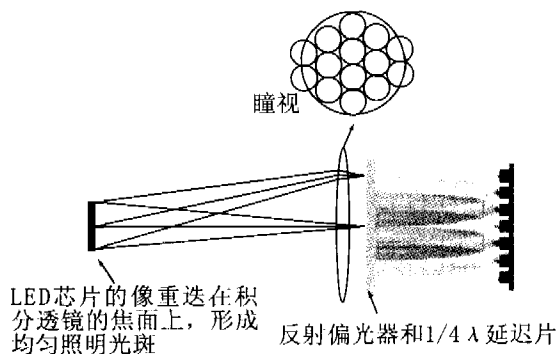


图 3 积分和中继光学构架

与 Luminileds 公司商品 Luxeon LEDs 的光输出相比,测得的 LED-CPC 阵列的光收集效率约为 85%。LCOS 面板中心到四角的均匀性约为 70%。

3 LCOS 面板的驱动

投影机所用 LCOS 面板是为卷进式彩色工作方式设计的。因此,视频数据写进 LCOS 面板采用逐行扫描方式。表 1 列出投影机所用 LCOS 面板的主要参数。为显示图像,面板首先通过称为“预写”的方式复位,这有助于确保 LC 响应不受过去数据的影响。LED 照明同步于面板写入序列,如图 4 所示。由表 1 可见,有效时间全部用于对面板写入视频数据。对于 100Hz 的帧频率,每种颜色可能的照明占空比只有 10%,而理想情况是 33%。但是,如果 LCOS 面板特别为时序彩色工作进行设计,在照明时间内,视频数据

表 1 LCOS 面板的主要参数

LCOS 参数	数值
分辨率	1,024x1,280
像素尺寸(mm)	0.02
显示面积	524
数据分辨率	8
数据输入	64
最大时钟频率	75,000,000
最大模拟寻址行数	24
每行写入时间(S)	2.27E-06
每帧写入时间(S)	2.32E-03
液晶响应速度(S)	8.00E-04

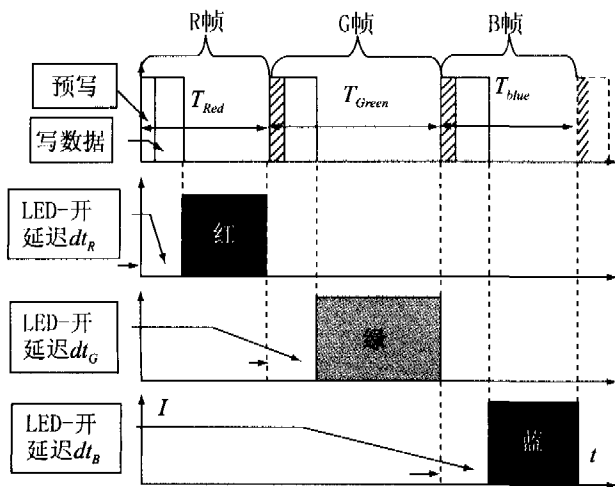


图 4 帧时序彩色 LCOS 的工作时序,每种颜色照明的延迟和持续时间可按需调整

能被写入到每一个像素存储,然后很快载入整个显示区域。在这种情况下,只有 LC 响应时间限制着照明占空比。为展示现有 LCOS 结构限制较少的可用性能,采取几个措施使照明占空比最大化,并抑制伪差。

3.1 选择性两行写入

飞利浦的 LCOS 面板支持多行写入,比如两行,在同一时间写入相同信息。但是,应用这种方法通常会降低垂直解像度,大多数应用并不接受这种解决方案。众所周知,人类视觉系统对亮度(灰阶)的分辨力相对于色差(彩色)的分辨力更为敏感,不同的色彩对亮度的贡献也不同。对 NTSC 基色系统而言,D65 白光标称亮度的百分比为,30%红色、59%绿色、11%蓝色。基于这一事实,可以两行模式选择写入蓝色和红色子帧,而绿色子帧则以全分辨率模式写入。为进一步减少分辨率损失,可在相邻的图像帧内,交替使用奇行或偶行信息写入。通过采用这种措施,不会损失蓝色和红色的总分辨率,只是降低了最高分辨率对应的 MTF。当蓝色和红色同时使用两行模式时,减少写入时间约 33%,在帧率 100Hz 条件下,照明占空比从 11% 提高到 17%。

检验了选择性两行写入模式的视觉效果。裸视没有观察到明显的图像质量下降。

3.2 驱动电压极性变换

在给定的写入时间内,较低的帧频率有利于实现高照明占空比。但是,低帧频率会引入伪差,其中之一就是闪烁。

为避免离子迁移损害电极,加在 LCOS 单元的电压不应有净直流电压。因此,驱动 LCOS 面板的电压应该在相邻的两帧之间变换极性。难免的缺陷使得液晶响应呈非对称性,导致调制率为 1/2 图像帧频率的闪烁。实际上,认为高达 100Hz 的图像帧频率是抑制恼人的闪烁的最低频率。

如果在当前子帧的中间切换驱动电压的极性,闪烁调制率和帧频率就相同了。面板高速写入,允许以相反极性,在当前子帧时间内,对面板写入与当前相同的信息。由于 LC 只响应 RMS 电压,且因液晶响应慢,故

极性变换不会带来任何不良后果。极性变换已经成功应用,而且通过调制率加倍基本上抑制了可见闪烁。

随着在子帧上极性变换的应用,照明占空比从两行模式和帧率 100Hz 条件下的 17%,提高到在帧频率 60Hz 条件下的 22%并抑制了闪烁。

4 系统集成及性能

整个系统设计如图 5 所示,完整的系统照片如图 6 所示。与传统光引擎相比,投影机非常紧凑,元件较少,没有可移动部件。成像场镜用来匹配照明孔径和投影镜头孔径,投影镜头使用商用相机物镜。为了散热,每一个 LED 阵列安装了 2in x 2in 带风扇的热沉。系统的参数列于表 2。

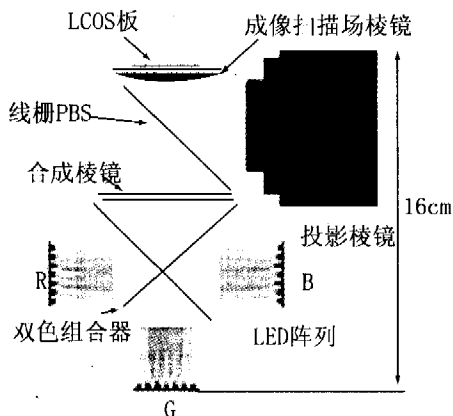


图 5 LED 光源 LCOS 投影机系统设计

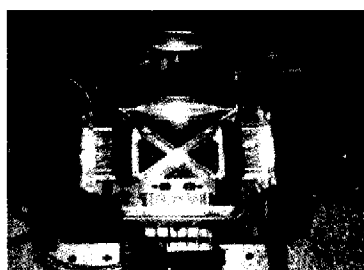


图 6 LED 光源的 LCOS 引擎

表 2 LED 光源 LCOS 投影机系统参数

通光量 F/#	投射棱镜	PBS	基于系统的 光束扩 展量	ratio of LED on -time (CCT=8K)	屏幕输出
1.8	MAMIYA -SEKOR 80mm,F20	Moxtek wire-grid	103mm ² Sr	R:G:B 0.76:1.00: 0.40	= 44lumen with contrast

基于系统的光束扩展量,LCOS 投影机的光输出似乎比不上采用 DLP 技术的投影机。这主要归因于逐行扫描架构限制了可用的照明占空比。但如果考虑面板尺寸,两者的差距并不那么大。LCOS 面板具有更低的工作 F#,允许更大的光束扩展量,反过来对偏振光转换损耗有所补偿。

5 结论

我们示范了一种以 LED 为光源的单板 LCOS 彩色 HDTV 投影机,输出高于 40lm,按面板尺寸计算,接近 0.1lm/mm²。设计充分利用了 LED 的特性,如高瞬时输出,兼容高效率光收集器和保持光束扩展量的偏振光回收。也改进了驱动方式,以便克服由现有 LCOS 逐行扫描架构带来的限制。投影机提供的光输出进一步提高到 0.24lm/mm²,包括使用更有效的光收集器增加 25%,采用更有效的 3M 公司的 Cartesian PBS 增加 35%,使用帧加载方式的 LCOS 面板增加 40%。

6 致谢

非常感谢 Duncan Anderson 在 LCOS 投影机系统设计上的贡献,Jill Goldenberg 在完成功能测试中的努力。

参考文献

- [1] M. H. Keuper, et. al.: SID'04 DIGEST, 2004, 943-945.
- [2] A. Leiter, et. al. LED-based Projection Displays, Symposium Innovative Beleuchtung mit LED, Dusseldorf,2003.
- [3] J. A. Shimizu: SID'01 DIGEST, 2001, 1072-1075.
- [4] K. Shahzad and D. Anderson: SID'05, to be presented (2005).
- [5] N. Shatz, et, al.: SPIE Vol. 3428,1998,176-183.
- [6] C. L. Bruzzone, et. al. SID'03 DIGEST, 2003.

(四川瑞诚科技公司 楚 鹏
译自 SID 05 Digest)