

文章编号:1007-2780(2007)03-0336-06

大屏幕投影拼接系统的设计

柴海峰^{1,3},高国保^{1,2},郝大收¹,李学东¹,王 中¹,杭 力¹,刘召军¹,孙鹏飞¹,吴春亚¹,孟志国¹,熊绍珍¹

(1. 南开大学 光电子所,天津市光电子薄膜与技术重点实验室,天津 300071, E-mail: chaihafeng2008@163.com;

2. 中国人民解放军 62201 部队 通讯科,青海 西宁 810008;

3. 兰州大学 物理科学与技术学院,甘肃 兰州 730000)

摘 要: 设计了一个可实现无缝拼接系统的研究示例:将一个高分辨率的图像分为两个分图像,按两部分在边缘交叠的方式分别投影。在投影之前,选用简单的线性函数关系,对待重叠部分进行了淡入淡出的处理,经这样叠加后重叠部分的重叠痕迹可适当消除。但鉴于像素信号与亮度之间还应满足伽马(Gamma)关系,故在处理过程中同时进行了 Gamma 校正的设计。研究过程中,考虑到不同成像终端之间,在色度表征方式以及 Gamma 校正已有自身规则,可方便转换,文章从简化研究出发,首次采用当前计算机监视器的液晶屏为投影成像的终端,研究它的融合结果,并实测融合图像部分的光强,以检查融合的实际效果。发现采用简单的线性函数并选择 2.15 的 Gamma 校正值,较之未作伽马校正前的,能改善融合区与未处理区的亮度差异达两个量级。最后给出了经这样处理后在液晶显示屏上获得较为良好的拼接效果。

关 键 词: 数字光处理;无缝拼接;边缘融合;Gamma 校正

中图分类号: O753.2

文献标识码: A

1 引 言

近几年来,随着投影显示技术的不断发展,大面积拼接技术已广泛应用于指挥控制、虚拟仿真培训、工业制造设计、科学研究和复杂决策等过程,并且在展览展示、广告、娱乐领域的应用越来越流行。早期的拼接系统主要是以 CRT 拼接墙为主,但 CRT 的拼接墙不仅成本高、显示效果也很差。现在研发出采用 LCD 的投影机拼接,虽因某些原因尚存在不尽人意之处,使得 LCD 投影技术尚难占据拼接显示领域的主流位置^[1],但仍然期待它今后的发展。美国 TI 公司主导的以数字微镜器件(Digital Micro-mirror Devices, DMD)为基元的数字光处理(Digital Light Processing, DLP)技术近年来得到长足进步, DLP 投影机的市场也因此迅速扩展开来^[2],其背投式拼接系统亦受到普遍关注。DLP 投影技术可能是未来 3~5 年拼接墙系统的主流。然而硬拼接的拼接墙技

术常导致边沿缝隙,影响观瞻,因此无缝拼接技术伴随着投影显示需求迅速发展起来。

在无缝拼接系统中,除了屏幕、投影机、处理器等硬件外,无缝拼接软件是无缝拼接应用中最重要的一部分。无缝拼接软件多采用的是边缘融合技术,即在两个分图像中划分一个相互重叠的区域,对此重合区内的信号,分别进行某种“融合”处理,使得直接重叠的“亮带”效应尽量消除,以便达到真正的无缝效果^[1,3]。虽国外已有无缝拼接产品面世,且国内有代理公司销售,但价格昂贵。为保密起见,其具体融合函数的选取与相应的其他处理,报道极少。为发展我国自己产品,我们依据边沿融合概念,自主进行了硬件^[4]和处理软件的研发,以期为民用显示工业的发展做点微薄工作。考虑到对于液晶屏和投影屏,它们的亮度和像素数据之间电光特性关系的规律,具有可类推性,在研究的初期阶段,为简便计,我们选用常用计算机液晶显示终端进行融合处理,待各方面研

收稿日期:2006-12-13; 修订日期:2007-04-07

基金项目:国家重点基金(No. 60437030);天津市基金(No. 05YFJMJC01400);国家出国留学人员回国基金资助

究成熟、合适后,再转移至正式的投影机上予以考验及相应修正,以期获得快捷的技术转移。它的好处是可以在不受投影终端的限制下先掌握基本规律,再针对各种投影屏的特色修正,有利于在短时间内在不同屏幕上的技术推进。

2 无缝拼接的核心是边缘融合技术

本文主要介绍自主研制的无缝拼接的设计思路及相关考虑。此处以试选 2 个分辨率为 1 024×768 的投影机为例,描述进行横向拼接的示例。重合区选择拼接 128 个像素点,构成一个 1 920×768 的整幅屏(如图 1(a)所示)。为便于今后横方向上的无限拼接,我们对每幅图像的左右两侧均进行了边沿融合处理。以后实际应用中再依据需要进行左、右、双边的融合选择。图 1 示出的仅为对左边的图像进行右侧的融合处理、而右边图像进行左侧处理的说明。

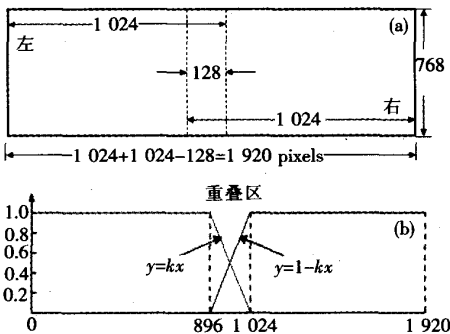


图 1 采用边沿融合拼接法的示意图
Fig. 1 Principle of edge-blending

大屏幕拼接投影显示系统是由多台投影机、图像控制器以及特大屏幕构成的显示系统。所有输入信号先全部通过图像控制处理器进行图像分割之后,再分配输出到各台子投影机上,然后各子机对输入图像做边缘淡入淡出处理,之后再予以合成。鉴于图像的分割与分配系统在拼接墙中已经成熟,在此不多赘述。本文所含内容仅涉及对子机图像进行处理合成的部分。

2.1 重叠像素的处理

对重叠像素的处理,是将子图像中位于边沿重叠区中的每个像素值都乘以某个数,从而使得当它被叠加到另一幅子图像中、与其相对应的像素叠加的时候,能得到期望的像素值。按照边沿

融合概念,所乘的“某个数”,实际是用一个取值范围介于 0 和 1(归一化)之间的函数 $f(x)$ 来实现(其中 x 为所在列的位置)。例如将图 1(a)左侧子图像中重叠区的像素乘以 $f(x)$,对应右侧子图像相应重叠区图像中的像素,则乘以 $1-f(x)$ 。为简单计,设像素信号为 $\Phi(x)$ (这是一个跟随输入信号变化的值),将这样的两区重叠,重叠区内各点叠加后的像素值,则为如式(1)所示的,仍为 $\Phi(x)$,参见图 1(b)。

$$f(x)\Phi(x) + [1-f(x)]\Phi(x) = \Phi(x) \quad (1)$$

2.2 数据处理系统

可见,无缝拼接的关键是对重合部分的图像数据进行处理,然后合成。因此拼接系统的研究应包括融合函数的选取、图像数据的处理以及输入、输出部分,共 3 大部分。其核心是对数据的处理,它由硬件和软件共同完成。

为了不破坏原显示屏,我们拟采用“机顶盒”方式制作拼接控制系统^[4,5]。图 2 示出边沿融合处理系统的硬件部分框图,它分为 3 部分:输入信号解码部分、数据处理部分和编码输出部分。现分别简单阐述^[4]。

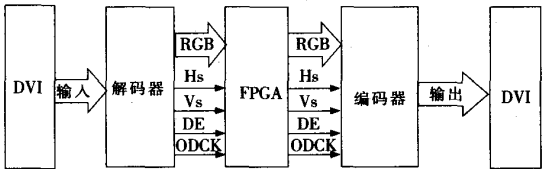


图 2 系统框图
Fig. 2 Schematic diagram of the system

(1)输入解码器部分

若选用数字投影(这是发展趋势),在所设计的接口电路系统中,输入解码器主要完成的任务是将输入的 DVI 格式的信号分解为 24 位的 RGB 像素数字信号、同步信号及控制信号。此项工作的重点在于如何选得所需满足性能要求的器件,它应具有普适性、易于升级以及如何更好地能为后续信号的编码提供方便。鉴于系统所接收的输入信号是采用 TMDS 传输协议的 DVI 信号,因此解码器要将接收的 TMDS 协议信号解调回到原本的数字信号。对于本文来说,分辨率是 1 024×768,我们选用 TMDS 的发明者,也是业界的领先企业 Silicon Image 公司生产的解码芯片,这有利

于相容性和升级换代。

(2)FPGA 部分,由它实现控制功能,为硬件部分的核心。

FPGA 能够提供设计、实现多功能电路的能力,故此能通过对它的设计、仿真与校验,来完成边缘融合的功能^[6,7],这部分的工作是本文的重点。实现的方法是在 FPGA 内通过编程将解码后的 RGB 像素信号及控制信号进行处理,先分解为非重叠区像素数据和重叠区像素数据,并对重叠区的像素数据按函数调变法进行处理^[7],经处理后的像素数据还应按亮度的函数关系进行衰减或相应增加的相应处理。

(3) 输出解码器部分,此供图像信号输出合成之用。

为使系统具有同一性,易于调整,合成的显示屏亦应为数字屏,它的接口也需通过 DVI 接口接入,所以经上述处理好的融合信号还要再次进行编码,以便送到拼接用数字屏的 DVI 接口去。此处的编码器主要完成的任务是将经 FPGA 进行边缘融合处理后的像素信号、同步信号及控制信号进行 TMDS 编码,产生符合 DVI 接口标准的信号输出^[8],并被送到拼接用合成屏上去进行合成。这部分的编码器同样选用 Silicon Image 公司的产品为宜。

3 融合处理及其结果

我们依据上述边缘融合思路进行了融合处理。即,先对获取的图像数据进行解码,之后分出要融合和无需融合的图像数据,仅对需融合的那些边沿列的图像按选取的相应融合函数进行处理;最后再编码变回到拟选择的投影终端(如 DLP 或 LCD)能够识别的数据,以实现无缝拼接^[5]。

我们选用的 FPGA 器件是 Altera 公司的 ACEK1K 系列的器件。ACEK1K 器件具有高性能、低价格的特性。开发语言使用的是 Verilog HDL 语言。将实现融合函数的程序下载到试验板。

为了实现如上所述横向任意数目的屏的拼接原则,我们对屏的左右两边的信号均进行了融合处理,以提供左右两边展宽的功效。此处选用的融合函数为线性函数。两端分别采用 DVI 输入、输出,如观察到了图 3 所示的边沿处理结果。鉴

于各种屏幕的色度与伽玛(Gamma)校正关系各有各自的归一性,当对某一类屏幕的融合规律真正掌握之后,则能方便地实现到其他投影终端屏的转化。所以在研究阶段初期,将融合结果显示于液晶显示器屏幕上,然后从屏上拍摄处理结果。图 3(a)、(b)分别是数据处理前后白色液晶屏的对比图像。其中(a)为未处理屏的照片,(b)为图像数据经融合处理过的显示屏照片,在它的左右两边,我们可以清晰看到两个分别由暗到亮、由亮变暗的待重叠的区域。

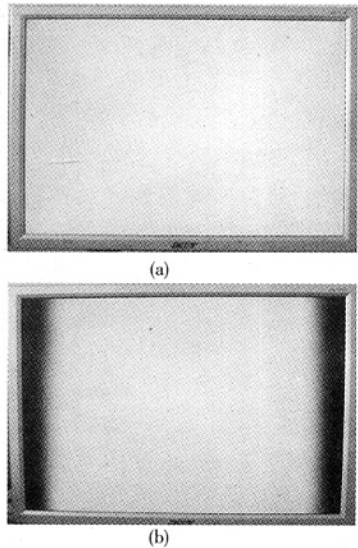


图 3 数据处理前后全亮显示屏的对比。(a)处理前;(b)处理后。

Fig. 3 Testing result. (a) Before treatment; (b) After treatment.

为了观察重合区得到的处理效果,使用 PR-650 光谱扫描色度计测量处理区域的亮度。因为测量仪器的最小孔径尺寸为 0.511 mm(大致可覆盖所使用液晶屏上的 2 个像素),其灵敏度为 10.3 cd/m²,所以可以测出被处理区域内 96 个点的亮度值分布(所测点占据的面积大约为被处理区面积的 75 %,因此认为能正确描述处理结果)。由于被测点与像素点不可能一一对应,故所测各亮度值不能完全表述对应像素点的亮度,但是仍能准确描述被处理区域内经处理后各点亮度的变化情况。测得图 3(b)右端融合区内各点亮度的“淡出”(逐渐变暗)变化曲线如图 4 所示。实测左端区内的亮度数据与右端相似,只是变化趋势

相反(从右至左,逐渐变亮的淡入模式),故省略之。

当将左、右两区域的处理部分相叠加(鉴于只有一个屏,且处理数据为全白的均值,故将处理部分移至屏中央),发现重叠部分出现了一个暗灰色的条带(如图 5(a))。灰色条带亮度分布的测试值如图 5(b)所示。可看出在融合区域的中间,其

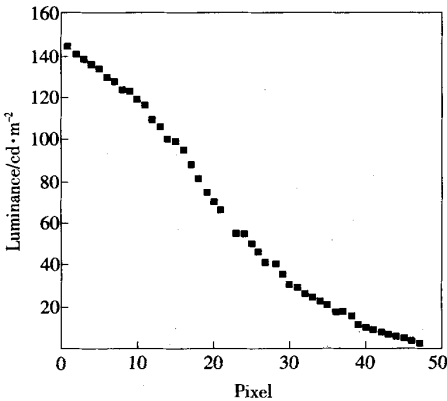


图 4 融合区内实测亮度的变化曲线
Fig. 4 Luminance of the blending region

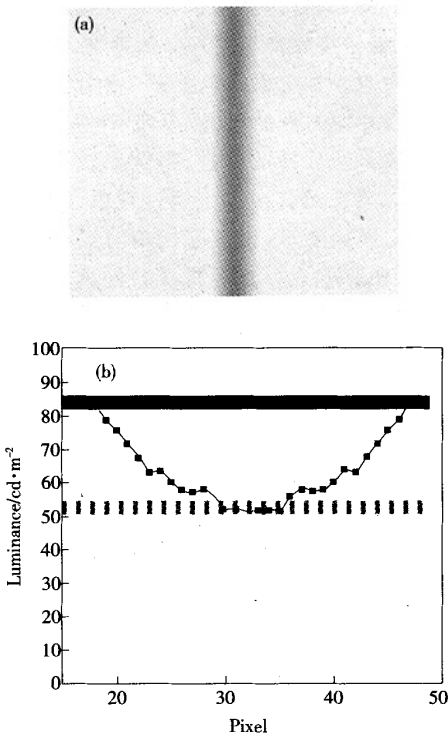


图 5 (a)合成后的屏幕照片;(b)重叠区实测亮度分布。
Fig. 5 (a) Picture of the screen after composed; (b) Luminance of the composing region.

亮度值分别从两端逐渐变低,中心和两边亮度差异达 30 cd/m^2 , 相对于最高点约为 84.5 cd/m^2 而言,差别非常明显($\sim 35\%$)。分析此结果我们认为,在重叠区仅仅修饰像素值是不够的。按照电视发射图像规律,亮度与图像数据成平方关系,这就是常说的一种伽马(Gamma)关系。对于任一显示屏亦存在着自身特性的 Gamma 关系,故还需对显示于所选显示屏(此处为液晶显示屏)上的融合图像的数据进行 Gamma 值调整,才有可能达到预期效果^[9,10]。

4 Gamma 校正

正因为到目前为止只是改变像素值,上述按融合函数处理后合成图像,中间会出现有一个灰色条带。也就是说像素数据融合后,还应该调整图像的亮度级。考虑到人的视觉系统对于亮度,或者说对于 RGB 三基色的感觉,大致成对数关系,而并非是线性关系,故显示还原的像素要映射成亮度的主函数,就是所谓的显示屏的伽玛函数(其典型值介于 $1.8\sim 2.2$)^[10]。故拼接处理时,当考虑了对像素值处理之外,再进行与亮度相关的 Gamma 校正之后,显示屏的亮度就是像素值(被归一化为介于 $0\sim 1$)的 γ 次幂。可见 Gamma 校正,正是为了克服这种视觉与像素值($\Phi(x)$)之间的非线性而引入一种传输函数^[11,12]。

人的视觉能够适应亮度从暗到亮的对比度的常规值为 $100:1$ 。在这个范围内,视觉对于亮度的反应大致呈对数关系。经过对上述未校正前结果的计算,可以推算出本研究所使用液晶显示器的伽玛值大约为 2.2 (选 γ 为 2.15)。将对图 3 所示区域进行融合处理后的数据,经 γ 校正再予以合成,对此时合成区域的亮度再度进行测量,得到了如图 6(a)所示的亮度分布曲线(红色空心圆点)。为便于比较,图中同时示出图 4 中的亮度曲线(黑色方块)。从这两条曲线的对比可以看出,经伽玛校正处理后的中部,其亮度比 γ 校正前有明显凸起,处理结果得到改善。而由图 6(b)实测合成之后的亮度分布曲线,其亮度均匀性得到很大改善,中心和两边的差异仅为 0.3 cd/m^2 , 相对于峰值为 148.7 cd/m^2 而言,亮度差异仅为 0.2% ,与图 4 中未予以 γ 校正的相比较改善了两个数量级。

对用液晶显示屏幕的简单拼接试验而言,我

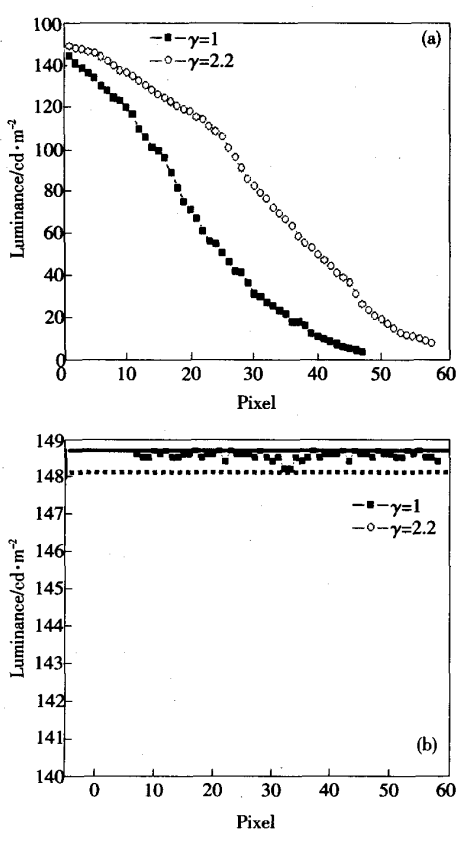


图 6 伽马校正后融合区的亮度曲线
Fig. 6 Luminance of the blending region after Gamma correction

们选取了一幅 1 920×768 的图像(如图 7(a)所示),通过融合处理来观察在实际屏幕上图像的拼接效果(如图 7(b)所示)。可以看出,经融合并伽马校正后合成的结果,灰色条带现象导致中间变暗的现象虽隐约可见,但相对图 5 全白色图像处理后的暗带而言有了很大的提高,效果是较为理想的(两幅照片色彩的差异,与相机拍照时的

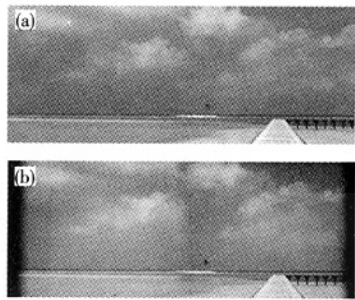


图 7 (a)1 920×768 的图像;(b)经处理并拼接后的图像。
Fig. 7 (a) 1 920 × 768 image; (b) overlapped image treated by blending function and Gamma correction

背景状态亦有关系)。我们将在此基础上,就融合函数的选取与再度协调 Gamma 数值上进行深入研究,以期获得更好结果。上述结果还待继续在函数与色度设计上继续研究,以期获得更好的图像质量。

5 结 论

在无缝拼接系统中,图像融合处理器是系统的核心部分,其处理图像的结果直接影响拼接效果;而无缝拼接软件是处理器的关键,是实现无缝拼接的重点。本文根据自主设计的边沿融合控制系统以及相应软件的调试,得到了一些实验结果。通过对硬件和软件的改进,得到了较为良好的拼接效果。但在无缝拼接应用过程中,既可能出现对横向的拼接要求,也可能出现对纵向的拼接要求,有时还要求进行弧形拼接。各具体应用对拼接都可能不一样,甚至出现多层拼接效果的要求。本文仅对横向拼接进行了描述,且仅以液晶屏的拼接为例。但是相信,掌握对液晶屏拼接示例的融合处理规则,对其他终端屏幕的拼接移植应有可借鉴之益,但仍有很多的工作要继续做。

参 考 文 献:

[1] Ramesh Raskar, Jeroen van Baar. Low-cost multi-projector curved screen displays [J]. *SID*, 2005, 36(1): 884-887.
[2] 邹静娴,吴荣治. 数字光处理顺序彩色获取 [J]. *液晶与显示*, 2005, 20(6): 581-575.
[3] Aditi Majumder. Luminance management for seamless multi-projector displays [J]. *SID*, 2005, 36(1): 1056-1057.
[4] 高国保,柴海峰,郝大收,等. 拼接投影的边缘融合处理问题 [J]. *现代显示*, 2007, (3): 49.
[5] 高国保. 大屏幕投影显示系统的无缝拉研究[D]. 天津:南开大学硕士生毕业论文, 2005.
[6] 邱欣,徐奕斐,余峰,等. 利用 FPGA 的全彩色 OLED 显示器的控制电路 [J]. *液晶与显示*, 2006, 21(5): 571-573.
[7] 孙德坤,梁延德,王祖成. 采用 FPGA 实现的 8 位高速并行乘法器 [J]. *微电子学*, 2002, 32(3): 209-211.

- [8] 陈沛文,邓彬. 图像 DVI 输出的 FPGA 实现 [J]. 现代电子技术, 2005, 28(8): 64-65.
- [9] Majumder A, Stevens R. Color non-uniformity in projection-based displays: analysis and solutions [J]. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2004, 10(2): 177-188.
- [10] Stone M. Color and brightness appearance issues in tiled displays [J]. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 2001, 21(5): 58-66.
- [11] Gonzalez Rafael C. *Digital Image Processing* [M]. 阮秋琦, 阮宇智, 译. 第二版, 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [12] Rogers D F. 计算机图形学的算法基础 [M]. 石教英, 彭群生, 译, 北京: 机械工业出版社, 2002.

Design of Seamless Tiling of Large-screen Projection Display System

CHAI Hai-feng^{1,3}, GAO Guo-bao^{1,2}, HAO Da-shou¹, LI Xue-dong¹, WANG Zhong¹,
HANG Li¹, LIU Zhao-jun¹, SUN Peng-fei¹, WU Chun-ya¹, MENG Zhi-guo¹, XIONG Shao-zhen¹

(1. Tianjin Key Laboratory of Photoelectronic Thin Film Devices and Technology, Institute Photo-electronics,
Nankai University, Tianjin 300072, China, E-mail: chaihafeng2008@163.com;

2. Communication Section of 62201 Unit, People's Liberation Army of China, Xining 810008, China;

3. School of Physical Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract

The technology of seamless tiling of large-screen projection display system was introduced. A high-resolution image was divided into two sub-images in which there is the same overlap part at the superposition edge of each sub-image. The image signals on the overlay parts of the sub-images were processed according to the fade-out and fade-in principle using the simple linear function. The superposition trace in the overlap parts would be properly eliminated when the two sub-images through this treatment were composed and projected. The main function that controls how pixels are mapped to brightness is the so called gamma function of the displays, so we can apply Gamma correction. Considering that different display terminals have their own shows of chroma and principle of Gamma correction, the LCD was adopted to check the result and research the actual effect of the seamless tiling. It is found that brightness of the overlap area can be largely improved when using the Gamma value of 2.15. This paper have gotten a better result of over two orders of magnitude by adjusting Gamma value compared to the one without Gamma treatment.

Key words: digital light processing; seamless tiling; edge-blending; gamma correction

作者简介:柴海峰(1973—),男,河北涿州人,硕士研究生,主要从事大屏幕投影无缝拼接的融合数据片/拼接处理器的设计制作方面的工作;

熊绍珍(1939—),女,湖北武汉人,教授,从事薄膜膜光电子材料、器件以及显示技术的研究。

作者：[柴海峰](#)，[高国保](#)，[郝大收](#)，[李学东](#)，[王中](#)，[杭力](#)，[刘召军](#)，[孙鹏飞](#)，[吴春亚](#)，[孟志国](#)，[熊绍珍](#)，[CHAI Hai-feng](#)，[GAO Guo-bao](#)，[HAO Da-shou](#)，[LI Xue-dong](#)，[WANG Zhong](#)，[HANG Li](#)，[LIU Zhao-jun](#)，[SUN Peng-fei](#)，[WU Chun-ya](#)，[MENG Zhi-guo](#)，[XIONG Shao-zhen](#)

作者单位：[柴海峰](#)，[CHAI Hai-feng](#)(南开大学光电子所,天津市光电子薄膜与技术重点实验室,天津300071;[兰州大学物理科学与技术学院](#),[甘肃兰州](#),730000)，[高国保](#)，[GAO Guo-bao](#)(南开大学光电子所,天津市光电子薄膜与技术重点实验室,天津300071;[中国人民解放军62201部队通讯科](#),[青海西宁](#),810008)，[郝大收](#)，[李学东](#)，[王中](#)，[杭力](#)，[刘召军](#)，[孙鹏飞](#)，[吴春亚](#)，[孟志国](#)，[熊绍珍](#)，[HAO Da-shou](#)，[LI Xue-dong](#)，[WANG Zhong](#)，[HANG Li](#)，[LIU Zhao-jun](#)，[SUN Peng-fei](#)，[WU Chun-ya](#)，[MENG Zhi-guo](#)，[XIONG Shao-zhen](#)(南开大学光电子所,天津市光电子薄膜与技术重点实验室,天津300071)

刊名：[液晶与显示](#) **ISTIC** **PKU**

英文刊名：[CHINESE JOURNAL OF LIQUID CRYSTALS AND DISPLAYS](#)

年，卷(期)：2007，22(3)

被引用次数：2次

参考文献(12条)

1. [Ramesh Raskar](#). [Jeroen van Baar](#) [Low-cost multi-projector curved screen displays](#) 2005(01)
2. [邹静娴](#). [吴荣治](#) [数字光处理顺序彩色获取](#)[期刊论文]-[液晶与显示](#) 2005(06)
3. [Aditi Majumder](#) [Luminance management for seamless multi-projector displays](#) 2005(01)
4. [高国保](#). [柴海峰](#). [郝大收](#) [拼接投影的边缘融合处理问题](#)[期刊论文]-[现代显示](#) 2007(03)
5. [高国保](#) [大屏幕投影显示系统的无缝拉研究](#) 2005
6. [邱欣](#). [徐奕斐](#). [余峰](#) [利用FPGA的全彩色OLED显示器的控制电路](#)[期刊论文]-[液晶与显示](#) 2006(05)
7. [孙德坤](#). [梁延德](#). [王祖成](#) [采用FPGA实现的8位高速并行乘法器](#)[期刊论文]-[微电子学](#) 2002(03)
8. [陈沛文](#). [邓彬](#) [图像DVI输出的FPGA实现](#)[期刊论文]-[现代电子技术](#) 2005(08)
9. [Majumder A](#). [Stevens R](#) [Color non-uniformity in projection-based displays:analysis and solutions](#) 2004(02)
10. [Stone M](#) [Color and brightness appearance issues in tiled displays](#) 2001(05)
11. [Gonzalez Rafael C](#). [阮秋琦](#). [阮宇智](#) [Digital Image Processing](#) 2004
12. [Rogers D F](#). [石教英](#). [彭群生](#) [计算机图形学的算法基础](#) 2002

引证文献(2条)

1. [张凤琴](#). [白钢](#). [张青凤](#). [沈迪](#) [基于粗糙集的大屏幕系统故障诊断研究](#)[期刊论文]-[微计算机信息](#) 2009(19)
2. [耿卫东](#). [刘会刚](#). [商广辉](#) [MEMS显示技术](#)[期刊论文]-[液晶与显示](#) 2008(2)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_yjyxs200703020.aspx

授权使用：北京信息职业技术学院(xxzyjs)，授权号：8ef7cdda-8343-4233-9932-9e380150740c

下载时间：2010年11月24日