

文章编号: 0253-2239(2004)04-460-5

阵列像素器件投影显示系统中自动对焦评价函数研究

邱胜根 周 杰 刘 旭 李海峰 魏 欣 徐 咏
(浙江大学现代光学仪器国家重点实验室, 杭州 310027)

摘要: 数字投影显示已成为现代数字显示领域的主流,阵列像素器件投影成像的精确会聚,直接决定了显示的效果。阵列像素器件的自动对焦,是实现生产自动化的关键技术。以 CCD(电荷耦合器件)采集阵列像素器件的局部投影图像为基础,试验和分析了梯度算子、拉普拉斯算子、Sobel 算子、Prewitt 算子、方差函数和熵函数评价方法在阵列像素器件大屏幕投影显示系统中自动对焦的作用及性能。实验表明,方差算子具有良好的稳定性和对噪声的不敏感性,调节效果较好,可以作为这一特殊系统中的评价方法。

关键词: 图像处理; 自动对焦; 评价函数; 投影显示
中图分类号: TP391 文献标识码: A

Research of Sharpness Evaluation Function in Array Pixel Device Projection Display's Auto-Focusing System

Qiu Shenggen Zhou Jie Liu Xu Li Haifeng Wei Xin Xu Yong

(State Key Laboratory of Modern Optical Instrument, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

(Received 24 December 2002; revised 19 June 2003)

Abstract: Digital projection display has become the mainstream in modern display field. Accurate focusing of the array pixel devices in these systems determines the quality of the displaying effect. Auto-focusing of the pixel devices is the key technique to rise the productivity. Based on the images captured by CCD (Charge Coupled Device) in array pixel device projector, several sharpness evaluation functions, such as gradient operator, Laplacian operator, Sobel operator, Prewitt operator, variance method, and entropy method, are analyzed. Using these evaluation functions, automatic focusing is realized. The characteristics and the auto-focusing result is compared with each other. The experiments indicate that good stability and insensitivity to noise and good regulation effect can be obtained by variance method.

Key words: image processing; auto-focus; evaluation function; projection display

1 引 言

阵列像素的大屏幕投影显示系统是当今办公、会议、数字电视等的主要显示技术。在这些投影显示系统中,阵列像素器件的精确聚焦是生产与应用这些显示系统的关键技术。以液晶背投电视为例,图像清晰度是生产标准中的一项基本指标。然而,由于光学投影镜头的性能决定了液晶板的焦深很小,因此,液晶板的对焦要求的精度很高。以 1321 mm 液晶背投电视为例,液晶板厚为 22.9 mm,横向放大率约为 58,

轴向放大率^[1]为 $58^2 = 3364$,液晶板若离焦 10 μm ,则投影所成像偏离共轭面超过 3 cm。随着电子技术和数字成像技术的发展,CCD 和图像处理技术已经应用到了生产中的很多行业。利用 CCD 采集阵列像素器件投影的图像,运用图像处理技术和控制技术实现自动对焦,不仅可以解除人的负担,而且对焦速度和对焦的可靠性都有提高。

利用 CCD 所获得的图像来实现自动聚焦的方法有很多,其原理都是采用评价函数来衡量图像的清晰程度^[2,3],这个函数在共轭面上应该具有某些特征的(比如极大值点),一旦找到了这个特征,就控制执行机构,调节某一器件,从而使得物像共轭。由于投影镜头存在的一定的象差,比如场曲、象散、慧

E-mail: qiusg2002@hotmail.com

收稿日期:2002-12-24;收到修改稿日期:2003-06-19

差、倍率色差等,都对共轭面的判断带来较大的困难。本文针对投影显示系统提出了一些评价方法,并且在不同视场对其作了比较。

2 图像清晰度评价方法

投影显示系统中阵列像素器件的某一位置处如果不在投影显示屏幕的共轭面上,称之为离焦。阵列像素器件投影成像系统的器件与显示屏幕之间可以简化成如图 1 所示的关系。在本实验系统中,投影距(投影屏到镜头的距离)和投影镜头是固定的,图像的对焦通过调节阵列像素器件实现。通常,对焦良好的清晰图像比离焦的模糊图像具有更多的高频成分。常用评价函数的处理方法有两种,一是频率域的,一是空间域的。频率域的评价方法需要先对图像作傅里叶变换或者其他变换^[4,5],再根据变换后的数据来评价图像的清晰度。频率域的评价方法可以对图像的整体特性作出评价,但是,频率域的方法往往计算量很大。空间域的方法需要的运算相对来讲小多了,比如常用的一些锐化算子,都可以用来判断图像的清晰度。空间域评价方法的缺点是受噪声的影响比较大。

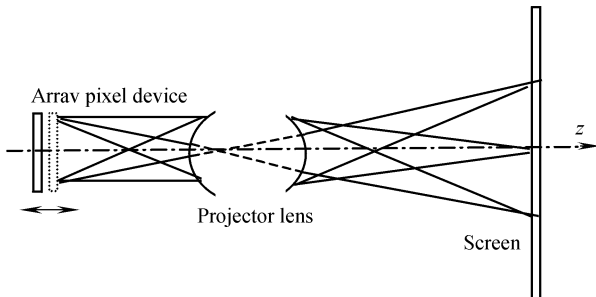


Fig. 1 Array pixel device and screen's sketch in projection system

取光轴为 z 轴,其正向沿光的传播方向。在共轭面附近以 0.004 mm 为单位控制阵列像素器件的位置,并对投影图像采样,评价函数将是 z 的函数。下面采用不同的方法构成评价函数 $F(z)$ ^[6~8]。所采集的图像是 512×512 大小的图像,其中 $f(i, j)$ 表示第 i 行和第 j 列点的灰度。

2.1 梯度算子评价方法

梯度是无方向性的算子,数学表达式为

$$G[f(i, j)] = \sqrt{(\Delta_x f)^2 + (\Delta_y f)^2}, \quad (1)$$

其中 $\Delta_x f$ 和 $\Delta_y f$ 是图像 x 和 y 方向的差分值。为了简化运算,可以写成

$$G[f(i, j)] \approx |f(i+1, j) - f(i, j)| +$$

$$|f(i, j+1) - f(i, j)|. \quad (2)$$

2.2 拉普拉斯算子评价方法

拉普拉斯算子也是一种无方向性的空间算子,它能对边缘进行锐化,更加的突出边缘,同时也加强了的噪声。

$$g(i, j) \approx |4f(i, j) - f(i+1, j) - f(i-1, j) - f(i, j+1) - f(i, j-1)|, \quad (3)$$

实际是一种空间卷积运算,可以写成模板的形式^[7]

$$H = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

写出卷积的形式为

$$g(i, j) = \sum_{r=-1}^1 \sum_{s=-1}^1 f(i-r, j-s) H(r, s)$$

2.3 Sobel 算子评价方法

$$S = (d_x^2 + d_y^2)^{1/2}, \quad (5)$$

$$d_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix},$$

$$d_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix},$$

为简化运算,可以简化成

$$S \approx |d_x| + |d_y|. \quad (6)$$

2.4 Prewitt 算子

与 Sobel 算子类似:

$$d_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad d_y = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix},$$

同样也可以简化成式(6)的形式。

2.5 方差函数评价方法^[9]

方差函数是一个性能比较好的自动聚焦评价方法。由于清晰的图像应该有比模糊图像更大的灰度差异,所以它可以作为一种清晰度的评价标准。方差定义为

$$f(I) = \sum_i \sum_j [I(i, j) - \mu]^2, \quad (7)$$

其中 μ 是平均灰度,即 $\mu = N^{-2} \sum_i \sum_j I(i, j)$ 。

2.6 熵函数评价方法

对焦好的图像的熵值大于模糊图像的熵值,因此可以作为一种评价方法。一幅 $N \times N$ 大小的图像的熵的定义为

$$H = - \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \ln f(x, y), \quad (8)$$

熵值最大的位置为最清晰的位置。

3 硬件系统

调整阵列器件的装置是六自由度调节架,可以高精度的控制阵列器件的三个平动和三个转动方向。执行装置的驱动是一步进电机,由控制器控制其运动的方法和步长。控制器可以通过 RS232 口和计算机通信,计算机通过串口发送命令控制电机运动的步数、方向和速度。

数据的采集是通过面阵 6.4 mm 的 CCD 和一块图像采集卡完成的。CCD 安装在投影屏上。CCD 上没有安装镜头,阵列器件上像素的图像直接投影在 CCD 的感光面上,由于投影镜头的放大倍率为 58,因此一个像素投影到屏幕上已经比较大了,CCD 只能采集少数几个像素点。通过在屏幕的不同视场采集图像,可以反映整个成像的情况。

4 实验数据处理和分析

由于不同的视场有不同的象差,为了能全面反映评价函数的性能,实验中分别对中心视场、0.6 视场、0.8 视场和边缘视场采集数据(如图 2 所示),并分别用不同的评价函数处理。图 3 中对应的曲线的

横坐标为 z 轴坐标,每个单位为一个最小步进电机调节步长,即 0.004 mm。采样区间为 $[0, 120]$,以电机的最小单位运动,在不同调焦位置采集图像数据,然后分别用上述 6 种算法得到不同的评价函数数据。以下是在不同视场用各种评价方法得出的评价函数曲线,并且给出了中央视场的调节效果(图 4)。

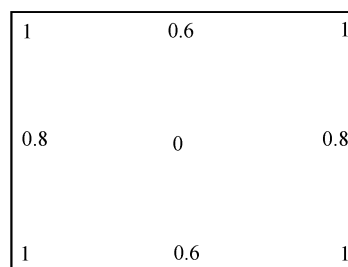


Fig. 2 Different positions of capturing images

如图 3~图 7 所示,图 3 为中心视场的评价函数曲线,图 4 是在中心视场时用不同的评价函数得出的调节效果。图 5 为 0.6 视场的评价函数曲线,图 6 为 0.8 视场的评价函数曲线,图 7 为边缘视场的评价函数曲线。为了能对不同的评价函数作比较,对不同的评价函数做了归一化处理,曲线的最大值为 500,最小为 0。

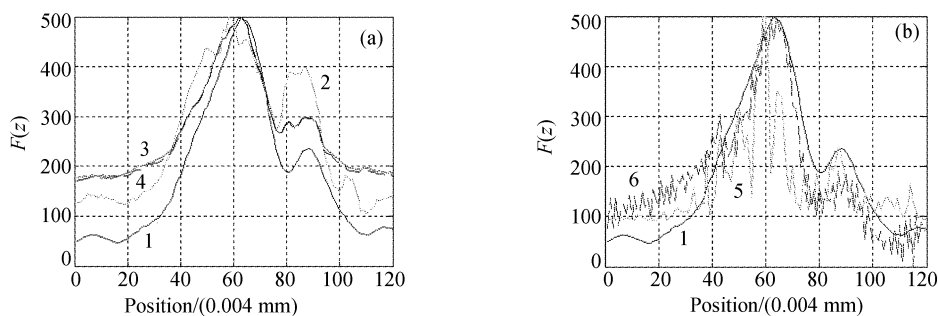


Fig. 3 The instance of center field. The measured curves are gained by different sharpness evaluation functions. “1” represents evaluation of using Variance method; “2” represents evaluation of Laplacian operator. “3” represents evaluation of sobel operator. “4” represents evaluation of Prewitt operator. “5” represents evaluation of Gradate operator. “6” represents evaluation of using Entropy method

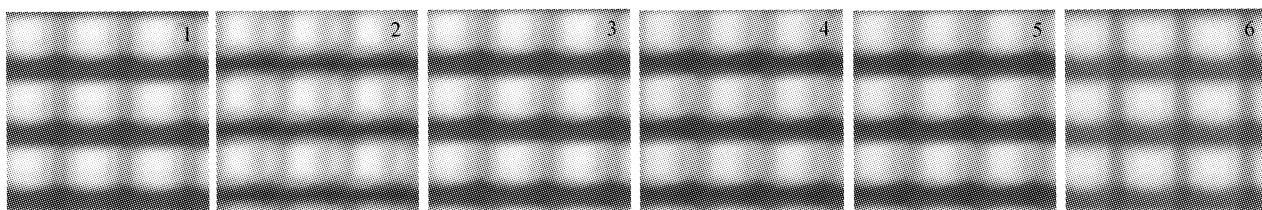


Fig. 4 The effects adjusted by different sharpness evaluations in center field. The numbers represent the same meanings as Fig. 3

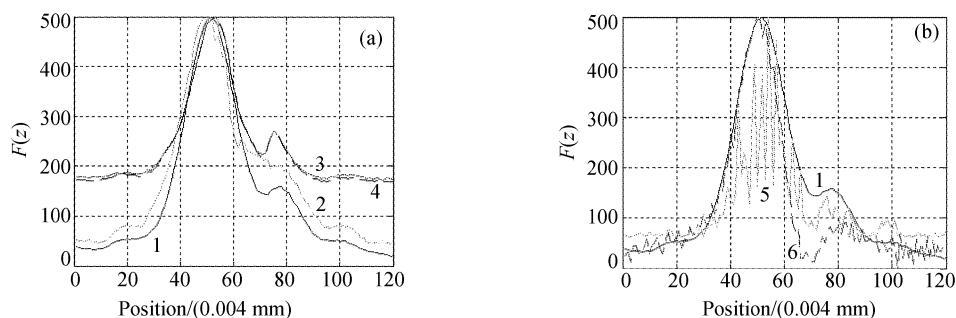


Fig. 5 The instance of 0.6 field. The numbers represent the same meanings as Fig. 3

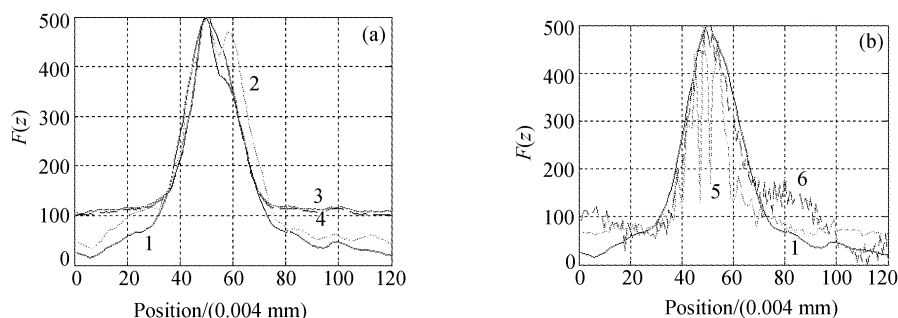


Fig. 6 The instance of 0.8 field. The numbers represent the same meanings as Fig. 3

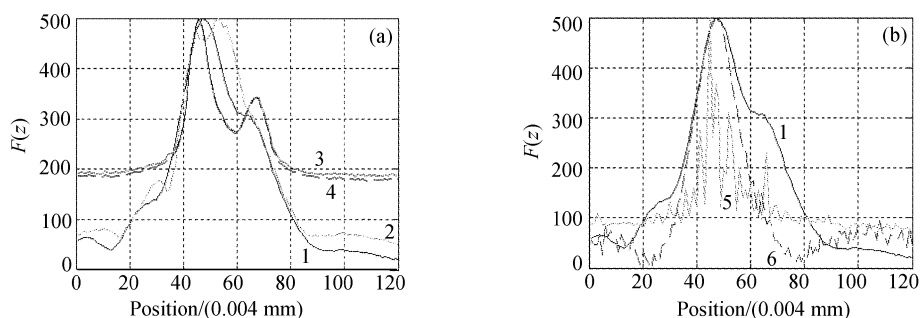


Fig. 7 The instance of edge's field. The numbers represent the same meanings as Fig. 3

从以上方差评价曲线和其他方法的比较可知，它的曲线具有最好的光滑性，并且在共轭面处曲线比较陡峭，这对于极值的搜索是很重要的。从中心视场的调节的效果来看，最符合主观的对焦位置。对于拉普拉斯算子，它在共轭面处曲线有较大波动，也即对噪声的敏感性比较大，不利于共轭面的正确搜索。并且它的调节效果比较模糊。Sobel算子和Prewitt算子曲线基本重合，并且调节的效果基本相同，根本原因是因为这两个算子具有相似的数学结构。从这两个算子的曲线来看，具有较好的光滑性，对噪声不敏感，只是调节的效果从主观上看稍微比方差函数稍差。至于梯度算子和熵函数评价方法，则对噪声过于敏感（特别是梯度算子），曲线的最大值位置具有较大的随机性，无法作为这一系统的评价函数。通过以上比较可知，方差函数对这一系统

是最好的评价函数，Sobel算子和Prewitt次之，其他算子——特别是梯度算子和熵函数——则不利于共轭面的正确搜索。

另外，从实验得出的曲线来看，曲线除了具有主极大值之外，在主极大值附近还有很明显的一些次极大值，显然这不是因为噪声的缘故。这种现象是由于光学投影系统照明不均匀导致的。投影系统的照明利用的是复眼照明^[10]。复眼是微透镜阵列，从每一个透镜出射的光经光学系统后在阵列像素器件前面成为平行光，然而不同的透镜具有不同的入射角，导致阵列像素器件的照明为和光轴具有不同夹角的平行光，从而导致照明的非均匀，阵列像素器件在离焦的位置所成的像将会分裂。相邻像素所成的像相互重叠和交错，于是有的离焦位置比较均匀，高频成分少，有的离焦位置出现明显的阵列图像，对应

高频分量增多,评价函数的值也较大。

结束语 本文针对阵列像素器件投影显示中自动对焦问题,试验了梯度算子、拉普拉斯算、Sobel 算子、Prewitt 算子、方差函数以及熵函数在不同视场作为评价方法得出的不同的评价函数曲线和评价的效果,从调节的效果、重复性以及噪声的敏感程度来看,方差函数评价方法的效果最好,其次是 Sobel 算子和 Prewitt 算子;拉普拉斯算子评价方法得出的曲线和调节效果相对较差,不能达到调节的要求。梯度算子和熵函数因受噪声影响很大,随机性过强,无法直接应用。

参 考 文 献

- 1 Li Xiaotong. *Geometrical Optics and Optical Design* (几何光学和光学设计). Hangzhou: Zhejiang University Press, 1997. 12~38(in Chinese)
- 2 Subbarao M, Choi T, Nikzad A. Focusing techniques. *Opt. Engng.*, 1993, **32**(11):2824~2836
- 3 Li Qi, Feng Huajun, Xu Zihai *et al.*. Digital image sharpness evaluation function. *Acta Photonica Sinica* (光子学报), 2002, **31**(6):736~768 (in Chinese)
- 4 Huang Jianqi, Feng Huajun, Xu Zihai *et al.*. The application of edge-enhance algorithm and wavelet analysis in auto-focus. *Acta Photonica Sinica* (光子学报), 2000, **29**(10): 932~935 (in Chinese)
- 5 Zhu Shiping, Qiang Xifu. Study on monocular vision method used for camera positioning. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2001, **21**(3):339~343 (in Chinese)
- 6 Wang Liqiang, Lin Bin, Xu Xiangdong *et al.*. An automatic focusing system based on USB video camera. *Opto-Electronic Engineering* (光电工程), 2001, **28**(5): 32~34 (in Chinese)
- 7 Zhao Rongchun. *Digital Image Processing Introduction* (数字图象处理导论). Xi'an: Northwestern Polytechnical University Press, 1995. 83~90 (in Chinese)
- 8 Ruan Qiuqi. *Digital Image Process* (数字图像处理). Beijing: Publish House of Electronics Industry, 2001. 204~212 (in Chinese)
- 9 Li Heqiao, Zhang Yimo, Rong Changqing *et al.*. Study on automatic focusing of image collecting automatic biological microscope system. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1995, **15**(8):1106~1110 (in Chinese)
- 10 Zhang Zengbao, Weng Zhicheng, Cong Xiaojie *et al.*. Design on a fly lens array illumination system applied in LC rear projective TV. *Optics and Precision Engineering* (光学精密工程), 2002, **10**(2):126~129 (in Chinese)