

一种自动立体显示器立体对比度和视区检测方法

邹阳 邓善熙 梁发云

(合肥工业大学仪器仪表学院,合肥 230009)

摘要 提出了一种基于 CCD 摄像头的自动立体显示器立体对比度和视区检测方法。首先,运用 Direct3D API 设计的计算机图形显示在自动立体显示屏上。然后,用一台 CCD 摄像头代替人的双眼接受立体视图。最后,根据算法提取数字图像的特征参数来计算说明自动立体显示器显示效果的立体对比度,并获得观看自动立体显示器的左右眼视区分布。实验结果表明,此方法能很好地检测自动立体显示器的立体对比度和左右眼视区。

关键词 自动立体显示 虚拟现实 立体对比度 图像质量

中图分类号: TN27 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2006)04-0570-05

A Method of Inspecting Stereo Contrast Ratio and View Zones of Autostereoscopic Displays

ZOU Yang, DENG Shan-xi, LIANG Ya-yun

(School of Instrumentation, Hefei University of Technology, Hefei 230009)

Abstract A method of inspecting stereo contrast ratio and view zones of autostereoscopic displays using CCD cams is proposed. Firstly, a designed computer graphics is displayed on the screen of autostereoscopic display. Secondly, one CCD cam, instead of the human two eyes, perceives the stereo image pair. Thirdly, the acquired digital images are processed. Finally, the feature parameters extracted from the images are used to calculate the separating degree that indicates the performance of autostereoscopic display. Experimental results demonstrate that the method proposed in this paper can well inspect the stereo contrast ratio and view zones of autostereoscopic display.

Keywords autostereoscopic display, virtual reality, stereo contrast ratio, image quality

1 引言

立体显示器一般是使用一个 2 维平面空间显示屏显示满足双眼视差的立体图像对。人的双眼接受到具有视差角的立体图像对,在视网膜上形成视差像,经大脑神经系统的融合,从而产生深度感。自动立体显示器是不需要辅助设备(如液晶眼镜等)的立体显示器。

评价自动立体显示器的主观方法已经被普遍接受^[1]。通常,心理实验被用来评价和量化立体图像的接收特点,比如图像质量、深度感知和接收敏感性。主观评价立体显示器不可避免地受到图像质量和人的视觉因素的影响,存在无法克服的缺点。在

自动立体显示中的串扰(crosstalk)或重像(ghosting)主要是由于左眼图像被右眼接收、右眼图像被左眼接收造成的。串扰被人眼接收后体现为重像、阴影或两个图像轮廓。即使是很低的串扰也能引起观察者的不适。这里需要说明,串扰、重像度和立体对比度(stereo contrast ratio)对于自动立体显示器来说是同一个概念本质的不同体现。立体对比度是立体显示器光学串扰的度量。重像度是人眼接受到有光学串扰的立体图像时,在大脑中体现为重像、阴影或两个图像轮廓的程度。这里立体对比度定义为对于一只眼,应该接受到的图像的光强和不应该接受到的图像的光强相对比值。如果不考虑人眼的视觉因素和那些与一般 2 维显示器一样的性能指标,立体显示器的效果能被立体视图对比度决

收稿日期:2005-03-24; 改回日期:2005-06-20

第一作者简介:邹阳(1980 ~),男。现为合肥工业大学精密仪器及机械专业硕士研究生。主要研究方向为立体显示技术。E-mail: zouyang312@hotmail.com

定^[2]。自动立体显示器观察区域内不同位置的立体对比度决定了左右眼视区的分布。

2 左右眼视区的分离

基于视差照明^[3]和微视障^[4]原理的自动立体显示器使用相应的交替像素列显示立体图像对。由具有一定发射性质的背光源发出的光,通过垂直条纹微结构产生的带状光束透过 TFT LCD (thin film transistor liquid crystal display) 显示屏,把奇、偶列像素的显像送达人的左、右眼,这时奇列像素相当于一块显示屏,显示左眼视图;偶列像素也形成一块显示屏,显示右眼视图。因此可以认为线光源照明使 TFT LCD 的屏幕分成了两块同样大小而交错在一起的小屏幕,达到视差图像分离的目的。然后使用电路控制分离或软件分离左右立体视图对,这样使立体对的单幅图片的分辨率为 512 × 768 像素(显示屏总的分辨率为 1 024 × 768),与显示屏的左右眼视图像素一一对应^[5]。奇、偶列像素在视障微结构的作用下,在显示屏的前方形成左眼或右眼的视觉盲区。实际情况下,任何立体显示器都存在一定程度的左右眼视区的重叠。自动立体显示器的视区分布如图 1 所示。如果存在范围大、严重的左右眼视区重叠,那么观察者在这些位置就不能接受到理想的立体视图对。立体对比度表明了左右眼视区的重叠程度。检测出立体显示器的立体对比度和左右眼视区分布,不仅可以改进设计和改善显示器制造工艺,而且可以指导观察者接受到相对分离较好的立体视图对。

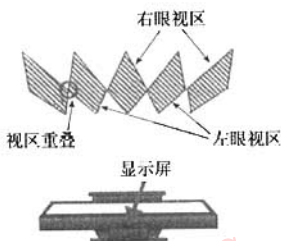


图1 自动立体显示的视区分布示意图

Fig.1 Distribution of autostereoscopic display view zones

3 CCD 测光原理

CCD(charge coupled device)电荷耦合器件是以

电荷作为信号,基本功能是电荷的存储和电荷的转移。CCD 成像系统检测目标各点的亮度分布是基于像面上所获得的照度正比于物体的亮度,而且不随相距距离的不同和视场的变化而变化^[6]。图 2 中 S 为待测物面,物镜 O 将物面 S 成像在像面 Q 上。d 为物距,l 为相距,光学系统的出瞳面积为 A,光学系统的透过率为 τ。那么由光学系统出射的光通量为

$$\phi = LS \frac{A}{d^2} \tau \quad (1)$$

其中,L 为发光面的亮度。

像面上的照度为

$$E = \frac{\phi}{Q} = LS\tau \frac{A}{d^2 Q} \quad (2)$$

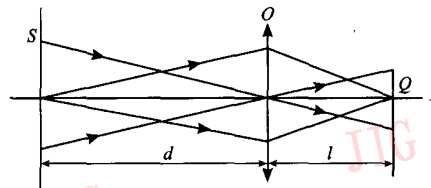


图2 CCD 测光原理

Fig.2 Principle of CCD measuring illumination

由图 2 中几何关系

$$\frac{S}{d^2} = \frac{Q}{l^2} \quad (3)$$

由式(3)代入式(2)可得

$$E = L\tau \frac{A}{l^2} \quad (4)$$

又有出瞳面积

$$A = D^2 \frac{\pi}{4} \quad (5)$$

及物像关系

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d} + \frac{1}{l} \quad (6)$$

把式(5)和式(6)代入式(4)可得

$$E = L \frac{\tau \pi}{4} \left(\frac{D}{f}\right)^2 \left(1 - \frac{f}{d}\right)^2 \quad (7)$$

由式(7)可知只要在检测过程中保持相应的参数不变,则像面上的照度值仅与物面亮度值 L 成正比^[7]。

CCD 用于亮度等光度测量,为达到一定的精度,还必须考虑以下一些问题^[8]:

(1) CCD 摄像头必须提供与之收集的能量成线性关系的输出信号。一般高阶工业用 CCD 具有合

适的线性范围。

(2) 因为摄像头是直接测量镜头收集的照度, 应该考虑适当的镜头及调节。

(3) 为使 CCD 摄像头的光谱响应与人眼匹配, 应该考虑适当的滤光片。

4 计算机图形的生成

在计算机的 3 维空间中, 所有的模型都是 3 维的数据。电脑在一个虚拟摄像机位置渲染一帧场景, 这就相当于准备了一只“眼睛”的图像。这是非立体显示系统的情况。在立体显示时, 这就相当于准备了左眼(或右眼)的图像。如果电脑同时或稍后在偏右(或偏左)一定距离的地方建立另一个虚拟摄像机并渲染一帧, 就相当于准备了右眼(或左眼)的图像。移动或建立新的右眼(或左眼)一般将由显示驱动或渲染软件完成, 原有的数据并不需要重新修改。

为了便于摄像头捕捉自动立体显示器显示的左右视图及评价左右视图的光强度对比, 运用 Direct3D API 编制了立体对比度检测图像程序。该程序可以在显示器左右平面显示白色和红、绿、蓝三原色的立体检测图(可以是矩形或其他图形), 并且这些生成的图形可以前后、左右移动。如图 3 所示为在自行研制的自动立体显示器上显示的一对待检测的矩形。

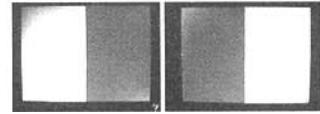


图 3 自行研制的自动立体显示器上显示的评价图像

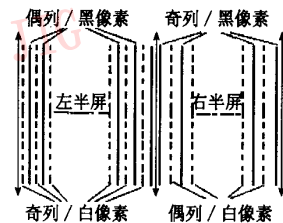
Fig. 3 Inspection triangle image on autostereoscopic display archetype

其中关键的是这两个矩形是显示在不同的像素列上, 即一个矩形被显示在奇像素列上, 另一个矩形则被显示在偶像素列上。这样安排是为了便于 CCD 摄像机获取图像及后续的处理。当摄像机所处的检测位置是理想的左视区(左视图应该被获取, 而右视图不该被获取)时, 其中一个矩形被拍摄到, 另一个不应被拍摄到。哪一个矩形被拍摄到取决于矩形是被显示在奇列还是偶列。当摄像机所处

的检测位置是左右眼视区的过渡(左视图和右视图都被拍摄到, 但影像都是不清楚的)时, 两个矩形都被拍摄到。考虑到后续的图像分析和立体对比度的评价, 实验采用白色矩形立体检测图各占满整个左右半显示平面, 如图 4 所示。这两幅图像是在暗室中采集的。



(a) 显示屏上显示的矩形检测图像



(b) 显示屏上显示矩形的像素分布示意图

图 4 显示屏上显示的矩形

Fig. 4 The rectangle displayed on the screen

这样, 当左半显示平面的矩形被显示在奇像素列(奇像素列提供的是左眼视图), 而右半显示平面的矩形被显示在偶像素列(偶像素列提供的是右眼视图)时, CCD 摄像机在左视区拍摄到的图像在理想情况下应该是显示器左半面是白的, 显示器右半面是黑的。但是, 实际情况下右半面不会是全黑, 这就是由右视图被左眼接收造成的, 即是要评价的立体对比度(也就是串扰、重像程度)。如果左半显示面上的矩形显示在偶像素列上, 右半面的矩形显示在奇像素列上。这样 CCD 摄像机在相同的位置拍摄到的图像在理想情况下应该是显示器的左半面是黑的, 显示器右半面是白的。同样, 实际情况下左半面不会是全黑, 这就是由右视图漏给左眼造成的, 即是要评价的立体对比度(也就是串扰、重像程度)。根据采集的这两幅图像我们就能按数字图像处理的方法处理它们, 然后得到摄像机所处位置的自动立体显示器的立体对比度。

5 检测装置

检测装置如图 5 所示, 自动立体显示器的显示平面处于垂直于水平面的位置, 铰链的轴心位于显

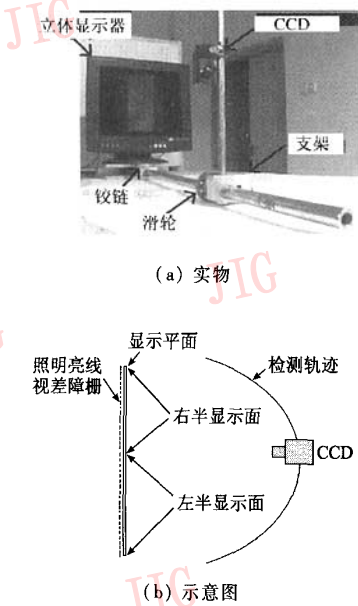


图 5 自动立体显示立体对比度检测装置

Fig. 5 The setup of stereo contrast ratio measurement of autostereoscopic display

示平面的中间并共面。铰链的另一头连接一根直竿，直竿上装上一个滑轮。这样直竿就能以平分显示平面左右半平面的中线为轴旋转。因此装在可以沿直竿前后移动的支架上的 CCD 摄像机经过高度的调节后，就可以始终对着显示器的中心采集图像。以显示器的中心作为采集图像的中心可以使实验便于重复和对比，还可以简化后续的图片处理，获取立体对比度。

6 立体对比度和视区检测

现代电子显示一般都采用红、绿、蓝 (R、G、B) 三基色组合表现丰富的色彩，自动立体显示器也是采用这种方式。采用 CIE (国际照明委员会) 1931 XYZ 色度坐标定义及 CIE 1976 $L^*u^*v^*$ 和 CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 色空间系统，在规定条件下，显示器 R、G、B 三基色与白场在 CIE 系统中的坐标位置反映显示器表现色彩的能力与范围。坐标所围范围越大，显示器能够显示的色彩越丰富逼真越好。显示器的三基色色度特性反映的是显示器的色再现能力 (色域) 与色饱和度，白场色度特性反映显示器显示白色的纯度优劣。所以，在对自动立体显示器立体对比度和视区检测中，选择自动立体显示器显示 R、G、B 三

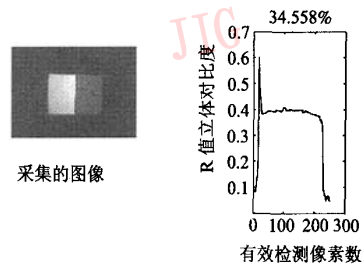
基色和白场状态，进行实验，并针对 R、G、B 三基色进行图像处理和结果分析。

根据检测装置的设计，在实验中采用极坐标系，以垂直于显示器平面的铰链位置为零度，左边为负、右边为正。实验中，第 1 步需要调节好检测装置。首先使显示平面垂直于工作台，然后微调 CCD 摄像头，使其拍摄中心对准显示屏中心。第 2 步需要设置好 CCD 摄像头的参数，最后开始采集不同位置的图像。

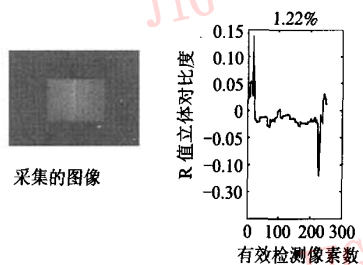
在距显示平面 700mm 的位置 (名义最佳观察距离)，每间隔 0.5° 采集一幅图像。图 4 (a) 是在 2° 时采集的图像，图版 I 图 1 是处理后得到的图 4 (a) 中右图的 R、G、B 值。根据左右显示面的 R、G、B 值求出 R、G、B 立体对比度如下：

$$\begin{cases} C_R = \frac{R_R - R_L}{R_R + R_L} \times 100\% \\ C_G = \frac{G_R - G_L}{G_R + G_L} \times 100\% \\ C_B = \frac{B_R - B_L}{B_R + B_L} \times 100\% \end{cases} \quad (8)$$

R_R 表示右视图某行的 R 值之和， R_L 表示左视图某行的 R 值之和。 G_R, G_L, B_R, B_L 同理。采用的这种以行的方式计算 R、G、B 的立体对比度值，即图像的每行用式 (8) 可计算出一个立体对比度，如图 6 右面所示。然后，对这些行的立体对比度的值取平均，就得到表示这幅图像的立体对比度。图 6 右面的上



(a) 左眼视区位置



(b) 左右重叠位置

图 6 图像每行的 R 值立体对比度

Fig. 6 Stereo contrast ratio of R value for every row of an image

方示出了这个数值。这个数值比实际的立体对比度值偏小,这是由于摄像头的光谱感应与人眼的差别、环境反光等影响造成的。人眼的光谱感应峰值在 555nm 左右,其和本实验采用的摄像头存在差异。此外,自动立体显示器的显示屏表面需要经过特殊的处理,以避免产生反光现象。虽然实验是在暗室中进行的,但是显示器发出的光,在周围物体上产生的反射光返回到显示器表面也会对实验产生影响。

运用 Matlab 编制的程序处理采集到的图像,得出所检测的自动立体显示器的立体对比度和视区分布。图 6(a)左图是在左眼视区内采集的图像,左半显示面亮度较高,而右半显示面几乎是黑的,图 6(a)右图是处理左图后得到的每行立体对比度曲线。图 6(b)左图是在左右视区存在严重重叠的地方采集到的图像,图 6(b)右图是处理左图后得到的每行立体对比度曲线。图 7 是处理 21 幅图像后得到的立体度随着极角变化的曲线,这个曲线清楚地表明了立体显示器在距屏中线 700mm 距离时的视区分布。波峰表示的是左眼的视区位置,波谷表示的是右眼的视区位置。立体对比度接近零的区域表示的是左右眼视区的重叠位置。检测出的视区分布和我们采用主观评价所的结果符合得很好。

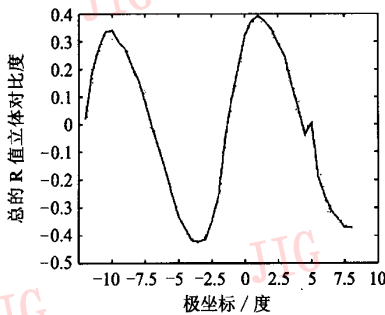


图 7 自行研制的自动立体显示器 R 值立体对比度 -10° 到 10° 的曲线

Fig.7 The plot of polar degree(ranging from -10° to 10°) vs. stereo contrast ratio for R value

7 结论

自动立体显示器立体对比度和视区检测方法能很好地检测自动立体显示器的立体对比度和左右眼视区。实验采用简易的实验装置及简单的图像处理方法获得了令人满意的自动立体显示器立体对比度

和左右视区分布的检测结果。今后主要应该更加深入地考虑 CCD 摄像头的光谱响应、环境反光等对实验的影响。

随着自动立体显示技术的发展,其最终将改变人们的观看方式,就像彩色显示代替了黑白显示那样,实现显示技术的革新。建立一种评价自动立体显示器性能的标准是必须的。为此,应该考虑需要检测的指标;检测时,自动立体显示器显示的图像内容;检测的环境;检测装置仪器化、自动化及智能化等 4 个重要方面。

致谢 本文由国家特种显示工程技术研究中心研究项目《全彩色立体显示技术研究》资助,特此致谢。

参考文献 (References)

- Hanzato A, Okui M, Yamanoue H, *et al.* Evaluation of cross talk in stereoscopic displays [A]. In: Proceedings of 3D Image Conference '99[C], Tokyo, Japan, 1999: 258 ~ 263.
- Huang Kuo-chung, Yuan Jy-Chyi, Tsai Chao-Hsu. A study of how crosstalk affects stereopsis in stereoscopic display [A]. In: Proceedings of SPIE [C], San Jose, California, USA, 2003, **5006**: 247 ~ 253.
- Eichenlaub Jesse B. Progress in autostereoscopic display technology at dimension technologies incorporation [A]. In: Proceedings of SPIE [C], San Jose California USA, 1991, **1457**: 290 ~ 301.
- Moseley Ricnard Robert, Graham Woodgate, Adrian Jacobs, *et al.* Parallax Barrier, Display, Passive Polarization Modulating Optical Element and Method of Making Such an Element [P]. U. S Patent: 6046849, 2000-04-04.
- Liang Fa-yun, Deng Shan-xi, Yang Yong-yue, *et al.* Nakedness-eye liquid crystal stereoscopic display technology [A]. In: Proceedings of 3rd International Symposium on Instrumentation Science and Technology Proceeding [C], Xi' an: Harbin Institute of Technology Press, 2004, **2**: 1022 ~ 1026.
- Zhang Xiao-zou, Guo Ye-bo, Zheng Ke-zhe. Plane array CCD for the measurement of target brightness [J]. Applied Optics, 1995, **16**(2): 45 ~ 47. [张晓舟, 郭焯波, 郑克哲. 面阵 CCD 用于目标亮度的测量 [J]. 应用光学, 1995, **16**(2): 45 ~ 47.]
- Wei Jian-zong, Wang Zhong-chun, Su Xue-gang, *et al.* System research of CCD imaging and wide-range measure luminance meter [J]. Optical Technology, 1999, **1**(1): 88 ~ 91. [魏建中, 王仲春, 苏学刚等. CCD 成像型宽量程亮度计系统研究 [J]. 光学技术, 1999, **1**(1): 88 ~ 91.]
- Rykowski. Illumination system measurement using CCD cameras [A]. In: Proceedings of International Optical Design Conference Technical Digest [C], Washington DC, USA, 1994: 102.

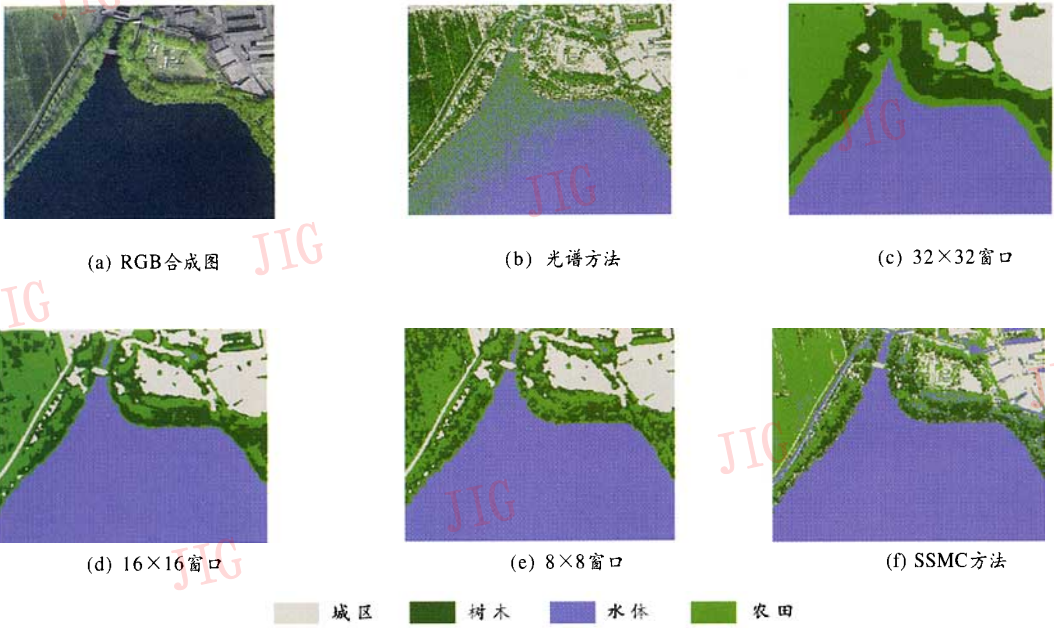


图1 分类结果的比较
 Fig.1 Comparison of different classification results

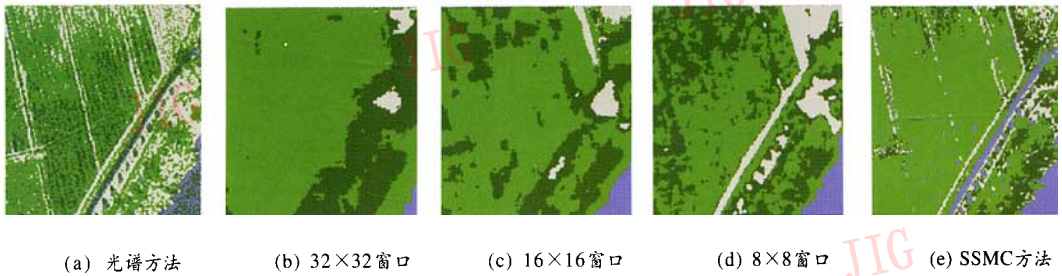


图2 实验区左上部分分类结果比较
 Fig.2 Comparison of classification results for the left-upper part of the experimental area

邹 阳等:一种自动立体显示器立体对比度和视区检测方法

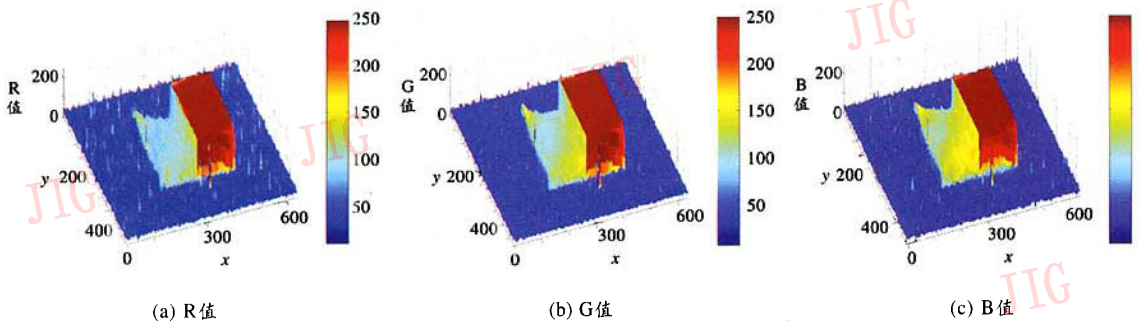


图1 图4(a)中右边图像的R、G、B值
 Fig.1 R、G、B value of the right image in figure 4(a)