

文章编号:1007-2780(2015)03-0531-07

基于图像质量评价的 LCD 运动模糊检测方法

邱聚能^{1*}, 李 辉¹, 闫乐乐¹, 梁 平²

(1. 电子科技大学 航空航天学院, 四川 成都 611731;

2. 成都出入境检验检疫局, 四川 成都 610041)

摘要:运动模糊度是表征 LCD 显示器质量的重要指标。目前,国内针对 LCD 运动图像显示性能的检测大多采用人眼视觉检测的方法,而人工检测结果是检测人员的主观判断,易受外界环境和自身心理因素的影响,不利于生产的统一化、标准化。本文采用图像质量评价的思路,提出了一种基于区域对比度和结构相似度(RCSSIM)算法的 LCD 运动模糊检测方法。参考 LCD 显示的静止图像,对采集到的运动图像进行图像质量评价得到运动图像的清晰度,以此作为 LCD 显示器运动模糊程度的指标。仿真和实际检测结果均表明,该方法提出的检测指标不但能很好地量化 LCD 运动模糊度,且与人的主观感知相符。

关键词: LCD; 运动模糊; 图像质量评价; RCSSIM

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20153003.0531

LCD motion blur detecting method based on image quality assessment

QIU Ju-neng^{1*}, LI Hui¹, YAN Le-le¹, LIANG Ping²

(1. School of Aeronautics and Astronautics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China;

2. Chengdu Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Chengdu 610041, China)

Abstract: The degree of motion blur is one of the important indices for the display quality of LCD. At present, the human vision detecting method is mostly used in domestic area of LCD moving picture display performance detection. But, the result of human vision detection is obviously affected by the subjective judgment of the inspectors, and easily interfered by the external environment and self-mental factors, which is not conducive to the unification and standardization of production. Referring to the idea of image quality assessment (IQA), a new LCD motion blur detecting method is proposed in this paper based on Regional Contrast and Structural Similarity (RCSSIM) algorithm. Using the static image as reference, the definition metric of LCD motion blurred image can be obtained by evaluating the quality of it acquired on LCD to indicate the performance of LCD moving picture displaying. The results of the simulations and actual experiments show that the proposed detecting metric can not only quantify the LCD's motion blur degree well, but also match the human's subjective perception.

收稿日期: 2014-09-16; **修订日期:** 2014-11-05.

基金项目: 国家质检总局科技计划项目 (No. 2013IK085)

* 通信联系人, E-mail: qiujueneng@126.com

Key words: LCD; motion blur; image quality assessment; regional contrast structural similarity

1 引言

LCD 显示屏是一种典型的保持型显示器。在 LCD 上显示运动的图像时,会产生视觉伪象^[1],比如动态伪轮廓、大面积闪烁、运动模糊等^[2]。随着材料技术的进步和生产工艺的日益完善,液晶显示器向大尺寸、轻薄化等方向发展^[3],LCD 逐渐进入主流应用,人们对 LCD 的显示质量要求也越来越高。运动模糊度是 LCD 显示质量的重要指标,研究 LCD 运动模糊度是 LCD 质量监督检验的重要工作,对促进液晶显示行业发展有着重要意义。

运动模糊的产生是显示器件工作模式与人眼视觉特性共同作用的结果。对于 LCD 运动模糊的检测,最常用的方法是人的主观评判,即通过人眼观察和对比,判断 LCD 显示屏模糊程度。传统的人眼检测方法存在很多不足:易受外界干扰,检测者易疲劳,成本高,效率低等。因此 LCD 运动模糊程度的评价标准较为模糊,如何测试和评价显示屏模糊程度成为国际和国内显示技术标准^[4-5]制定中的重要工作。为此,国内外学者对 LCD 的运动模糊现象开展了大量的研究,提出了一些方法,如日本工作组提出的基于移动相机的 BEW(Blur Edge Width)检测^[6]及 MPRT(Moving Picture Response Time)检测^[7]和国内东南大学提出的基于动态调制函数(MTF)的运动模糊检测^[8]。东南大学的工作取得了较好的成果,其主要研究灰阶变化,对正弦光栅的信号曲线进行积分。但是当其设定的运动速度较大时,需要积分的序列也较为复杂,算法复杂度较高。为了简化检测方法,降低检测成本,本文提出通过检测 LCD 运动图像的清晰度,以此来表征显示器的运动模糊程度。

2 基于图像质量评价的运动模糊检测方法

2.1 基于图像的运动模糊检测

人眼判断 LCD 显示屏运动模糊的依据是图像在 LCD 上运动时是否有拖尾、图片细节是否保

留完整等,而通过图像采集,可以获取 LCD 上的图像信息。采集到的图像越模糊,拖尾越严重,图片细节保留越少,则说明 LCD 显示屏运动模糊程度越大,据此特性和关系,可以通过检测运动图像的质量来表征 LCD 运动模糊度。

2.2 检测流程设计

采用图像处理的手段,使用高清摄像头分别采集 LCD 显示器上的静止和运动图像,通过图像质量评价算法计算,得到运动图像的清晰度,以此作为判断 LCD 显示器运动模糊程度的指标。整个检测过程分为采集图像、图像预处理、图像清晰度评价等 3 个大的步骤,具体流程图如图 1 所示。

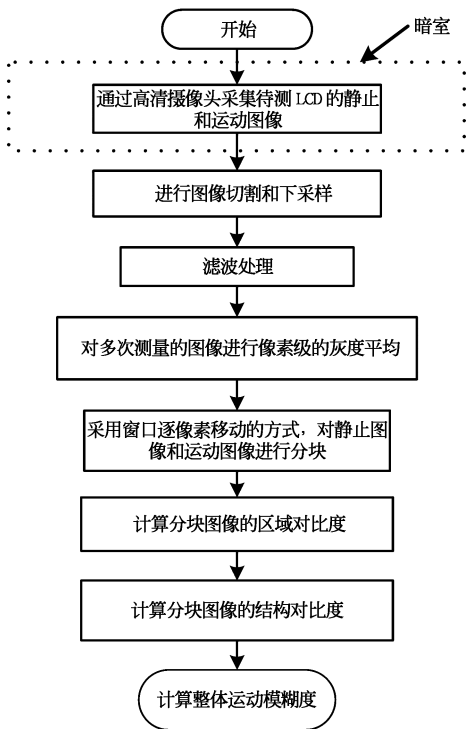


图 1 检测流程图
Fig. 1 Test flow chart

2.2.1 图像源的产生和获取

在 LCD 显示屏上产生运动的图像源有两种方法,其一是通过 FLASH 制作软件制作一个图片运动的动画,这个动画需要有以下功能:(1)可以切换图片;(2)可以控制图片运动速度;(3)窗口大小与屏幕自适应。用 FLASH 制作的动画可以达到产生运动图像源的要求,但是由于在 FLASH 编辑中,速率是以帧频来控制的,当图像

运动速度较大时,会出现块状非匀速移动,采集时易出现不必要的闪烁,所以本文采用的是第二种方法——基于 VB 平台的界面编程。界面图如图 2 所示,程序可以插入不同的彩色图片,以每秒移动的像素点来控制图像运动的速度,可以做到窗口自适应并且能随时暂停和启动。



图 2 图像源界面

Fig. 2 Interface of image source

测试图像的选取应当遵循以下原则:

- ①测试图像来源尽量选择有国际权威的标准图像库,例如 LIVE、TID、CSIQ 等常用数据库;
- ②尽量选择边缘细节比较多的测试图像,这样可以最大限度地提取到测试图像的运动拖尾模糊,保证后期评价算法处理后得到准确结果;
- ③选择合适大小测试图像,以适应不同尺寸的 LCD 运动模糊检测。

如图 2 所示,本文选用的是 TID2008 标准库中的“Building”。

2.2.2 图像采集

整个图像采集系统的基本要求就是能有效采集到运动图像的模糊信息。采用跟踪 CCD 的测量方法对运动控制系统的精度要求高,技术复杂,价格昂贵。本文采用直接测量的方法,固定采集装置和待测显示屏,通过定时器控制拍摄时间,采集装置如图 3 所示。在暗室中使用高清摄像头按照表 1 设定的采集环境的照度、温度、湿度以及高清摄像头采集图像的角度分别采集 LCD 显示器上的静止和运动图像,将图像传入计算机。按照国际半导体设备与材料组织(SEMI)中关于 LCD 量化标准对于测试条件中测量距离的要求以及实际的实验测试,对于 15 in(1 in=2.54 cm)的屏幕,采集距离 d 为 500 mm,按照相似三角形原理,实际的采集图像距离计算公式为 $d = (500 \div 15) \times \text{Size}$,式中 Size 为实际的屏幕尺寸,

且单位以英寸计算。测试时,按照 SEMI 标准固定装置位置,将高清摄像头的光圈、调焦都设为手动,快门设置为高速增强 3 600 Hz,也就是曝光时间约为 0.28 ms。曝光频率远大于显示屏刷新频率 60 Hz,且保证了是刷新频率 60 Hz 的整数倍,并通过定时软件,使摄像头每次采集的运动图像都在待测屏的几何中心,以解决摄像头与图像源的同步问题。对整个待测屏进行图像采集,得到的图片如图 4 所示。

表 1 检测环境参数表

Tab. 1 Testing environment parameters

环境参数	范围
照度 / lx	<10
温度 / °C	10~40
湿度 / %RH	10~80
拍摄角度 / (°)	90±5

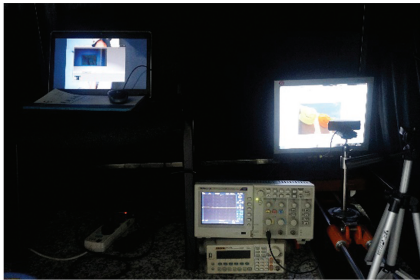


图 3 图像采集装置

Fig. 3 Image acquisition device



图 4 初始图像

Fig. 4 Original image

2.2.3 图像预处理

高清摄像头采集到的图像尺寸较大,并且存

在一些随机噪声,需要进行图像的预处理工作。首先对采集到的图像进行切割和下采样,提取出检测需要的有效区域。接着使用模板尺寸为 11 pixel×11 pixel,σ 为 1.5 的高斯平滑滤波器对图像进行滤波处理。预处理的目的是减少清晰度算法的计算量以及随机噪声对检测结果的影响,其效果如图 5 所示。



(a) 处理前 (b) 处理后

图 5 图像预处理效果图

Fig. 5 Result of image cropping

为了减少滤波及切割中的系统误差以及操作误差,本文采取对同一速度下的图片重复采样截取后进行像素级平均。经验表明,平均图像数量越大,噪声的影响越小^[9]。

2.2.4 计算图像清晰度

Wang 等人^[10]认为人类视觉系统(HVS)能高度自适应地提取场景中的结构信息,可以通过比较模糊图像和原图像之间结构信息的差异程度来判断一副模糊图像的清晰度。基于以上假设,提出了基于结构相似度的图像质量评价方法(SSIM)。SSIM 算法的评价结果比均方误差(MSE)和峰值信噪比(PSNR)的计算结果更吻合人眼的视觉效果,对静态图像的评价也取得了较好的效果。但在 LCD 的运动图像显示性能的检测中,运动图像的边缘失真(如拖尾,丢失等)更能反应 LCD 的运动模糊程度,检测 LCD 时,人们对边缘纹理的失真也更加敏感。SSIM 算法采用了取平均值的方式,对图像的不同区域给予相同的权重,对 LCD 的运动模糊图像检测结果不够准确。为了把图像质量更好地应用在 LCD 运动模糊检测中,本文提出了一种改进的结构相似度算法—基于区域对比度的结构相似度算法(Regional Contrast Structural Similarity,RCSSIM)。

RCSSIM 算法针对 LCD 的运动图像显示性能检测,在 SSIM 算法的基础上,着重检测图像的边缘轮廓及图像上灰度对比度大的区域。

2.3 基于区域对比度和结构相似度的图像质量评价方法

2.3.1 结构相似度

Zhou Wang 等提出的 SSIM 包括亮度、对比度和结构相似性 3 个组成部分,其数学模型^[12]为:

$$SSIM(x,y) =$$

$$[l(x,y)]^\alpha \cdot [c(x,y)]^\beta \cdot [s(x,y)]^\gamma, \quad (1)$$

$$l(x,y) = \frac{2u_x u_y + c_1}{u_x^2 + u_y^2 + c_1}, \quad (2)$$

$$c(x,y) = \frac{2\sigma_x \sigma_y + c_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2}, \quad (3)$$

$$s(x,y) = \frac{\sigma_{xy} + c_3}{\sigma_x \sigma_y + c_3}, \quad (4)$$

其中, $l(x,y)$ 代表两幅图像的亮度相关函数,而 $c(x,y)$ 和 $s(x,y)$ 分别代表着两幅图像对比度和结构相似度的相关函数。 u_x 、 u_y 代表 x,y 图像的均值, σ_x 、 σ_y 表示 x,y 图像的方差, σ_{xy} 表示 x,y 图像的协方差, c_1 、 c_2 、 c_3 为常数, $c_1 = (K_1 L)^2$, $c_2 = (K_2 L)^2$, $c_3 = c_2/2$ 。一般取 $K_1 = 0.01$, $K_2 = 0.03$, $L = 255$ 。

在使用 SSIM 评价图像清晰度时,使用一个 $N \times N$ 的窗口在两幅图像逐像素移动,形成 M 个分块子图像,按照式(1)计算每一个分块图像的 SSIM 值,然后按照式(5)对整幅图像进行评分。

$$MSSIM(X,Y) = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M SSIM(x_j, y_j), \quad (5)$$

X,Y 分别为原始图像和模糊图像。

2.3.2 区域对比度

从人眼视觉系统角度出发,一个像素点与其区域内所包含的视觉信息量的大小与该点所处的环境背景有关,在背景较亮时,图像区域灰度变化引起的视觉模糊不易被察觉。参照信号处理中信噪比的定义,把每一个分块窗口的区域内,最大灰度值与最小灰度值之差与最大灰度值的商定义为该分块区域的区域对比度。

$$con(x,y) = \frac{\max[f_r(x,y)] - \min[f_r(x,y)]}{\max[f_r(x,y)]}, \quad (6)$$

式中, $con(x,y)$ 是区域对比度, $f_r(x,y)$ 为窗口区域每一像素的灰度值,显然 $0 \leq con(x,y) \leq 1$ 。

2.3.3 RCSSIM 算法

对于 LCD 显示屏上的运动图像,区域对比度

不高的区域,称为平坦区域,人眼对这类区域上的模糊并不敏感,而区域对比度高的区域,即边缘区域,人眼对这类区域的模糊相对较为敏感。

基于这个原理,对 SSIM 分块图像得到的分值进行加权。通过求出每个子图像的区域对比度函数,结合公式(1),得到分块子图像的 RCSSIM(x,y):

$$\text{RCSSIM}(x,y)=\text{SSIM}(x,y)\cdot\text{con}(x,y).$$

(7)

区域对比度越大的子图像权值越大,在评价整张图像时占的比重也更大。最后进行归一化,得到整张图像清晰度评价值:

$$\text{RCSSIM}(X,Y)=\frac{\sum_{y=1}^n\sum_{x=1}^m\text{SSIM}(x,y)\cdot\text{con}(x,y)}{\sum_{y=1}^n\sum_{x=1}^m\text{con}(x,y)},$$

(8)

RCSSIM 值和 MSSIM 值都是 0~1 的数值,只有当待测图像和原图像一模一样时 RCSSIM 值达到 1。RCSSIM(X,Y) 越大,说明图像质量越好。

3 试验及结果分析

3.1 算法优化验证实验

本文对 LIVE 数据库里的 779 张图片进行了算法仿真,对比数据库里的主观评分(DMOS),得到 SSIM 算法以及 RCSSIM 算法主观感知相关曲线图如图 6 和图 7。其中 DMOS 值越小,代表图像质量越好。

从两张图可以看出,RCSSIM 算法的散点比

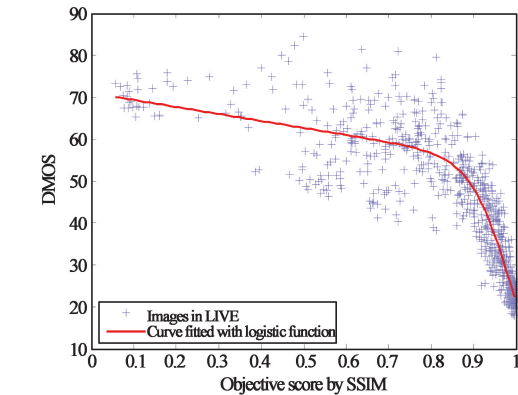


图 6 SSIM 算法主观感知相关曲线
Fig. 6 Subjective perception related curve of SSIM

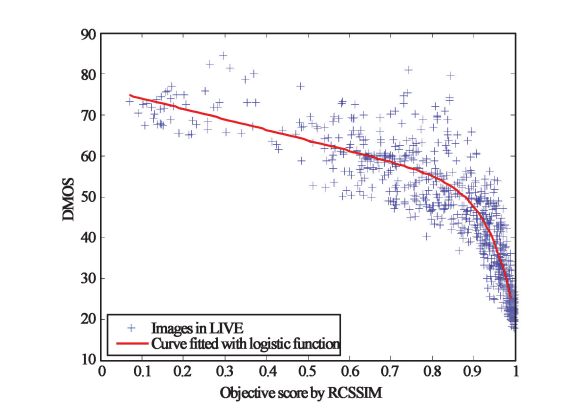


图 7 RCSSIM 算法主观感知相关曲线
Fig. 7 Subjective perception related curve of RCSSIM

SSIM 算法密集,与人眼主观感知的相关性更好。

为了能更好地比较两种算法的性能,本文选用了 3 个常用的客观常量作为评价指标:均方根误差(RMSE)、斯皮尔曼等级相关系数(SROCC)、肯德尔等级相关系数(KROCC)。RMSE 代表主观感知相关曲线图上散点的均方根误差, RMSE 越小,算法性能越好。而 SROCC 和 KROCC 两个指标用来表征主观感知相关曲线的单调性,它们的绝对值越接近于 1,算法性能越好。试验结果如表 2 所示。

表 2 SSIM 和 RCSSIM 算法性能比较

Tab. 2 Comparison of algorithm performance between SSIM and RCSSIM

	RMSE	SROCC	KROCC
SSIM	6.724 0	−0.899 9	−0.718 3
RCSSIM	6.174 4	−0.921 7	−0.751 4

从 3 个指标都可以看出,RCSSIM 算法性能全方面优于 SSIM 算法,与人眼的主观评分更为一致。

3.2 LCD 运动模糊检测试验

验证算法的有效性之后,使用型号为 BenQ G2220HD 的显示器作为待测显示器按照 2.1 节的检测流程,进行检测方法的验证。经过采集以及预处理后的静止图像和运动图像如图 8 所示,从图中可以看出检测系统能有效地捕捉到运动图像的模糊细节。

根据 LCD 显示特性和人眼主观感知结果,图像运动速度越大,图像运动模糊程度越明显。本



(a) 静止图像
(a) Static image



(b) 运动图像
(b) Motion image

图 8 静止图像和运动模糊图像

Fig. 8 Static image and motion blurred image

文采集了不同速度下的运动模糊图像,验证检测指标与主观感知的一致性,其 RCSSIM 值如表 3 所示,并拟合得到图像运动速度与 RCSSIM 值的相关曲线。

表 3 不同速度下图像的 RCSSIM 值

Tab. 3 RCSSIM values of blurred images under different speed

Speed(pix/s)	RCSSIM
20	0.842 8
40	0.818 7
60	0.710 4
80	0.648 3
200	0.542 5

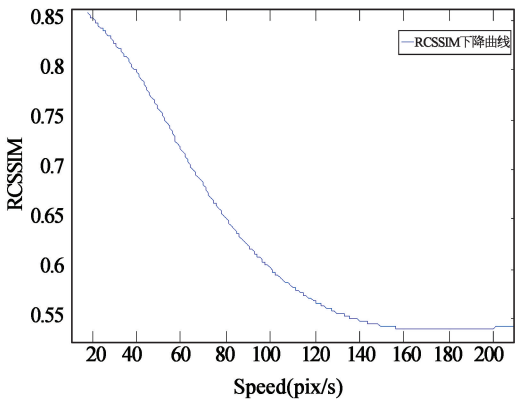


图 9 RCSSIM 下降曲线
Fig. 9 Decline curve of RCSSIM

表 3 的结果与预期相符:运动图像速度与 RCSSIM 值负相关,检测指标和人的主观感知相符。从图 9 的拟合曲线可以看出,当速度提高到一定的数值时,运动图像的 RCSSIM 值趋于平缓,所以实际检测中的速度不宜过大。

4 总 结

本文将图像质量评价(IQA)应用到 LCD 显示屏的模糊检测中,提出用运动图像的 RCSSIM 值作为 LCD 运动模糊的评价参数。主要讨论了基于 IQA 的运动模糊检测方法的检测流程、实现及算法。通过对 LIVE 数据库里的标准模糊图片进行算法仿真,比较 RCSSIM 算法与 SSIM 算法的性能,验证了 RCSSIM 值更适合作为检测 LCD 运动模糊的指标。在明确检测指标的基础上按设计流程进行了实际测量和仿真,证明了检测方法的可行性以及检测指标的可靠性。从实验结果可以推测,在 LCD 运动图像显示性能的检测中,不同型号的显示器应该有一个最佳的检测速度(区间),由于试验环境和器材的局限性,本文并没有对此进行深入的研究。

参 考 文 献:

[1] 张宇宁. 平板显示器件视觉现象研究[D]. 南京:东南大学, 2008.
Zhang Y N. Research of flat panel displays' visual artefacts[D]. Nanjing: Southeast University, 2008.

[2] 钟翊炜, 邓少芝, 刘志军, 等. 基于极点聚焦全极点滤波器减小 LCD 运动模糊的方法[J]. 液晶与显示, 2009, 24(5): 729-734.
Zhong Y W, Deng S Z, Liu Z J, Method for LCD motion blur reduction by using focusing all-pole filter[J]. Chinese

Journal of Liquid Crystals and Displays, 2009,24(5):729-734.

- [3] 卢小鹏,李辉,刘云杰,等.一种基于 Chan-Vese 模型的 TFT-LCD Mura 缺陷快速分割算法[J].液晶与显示,2014,29(1):146-151.
Lu X P, Li H, Liu Y J. An algorithm for fast TFT-LCD mura defect image segmentation based on Chan-Vese model [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014,29(1):146-151.
- [4] IEC TC 110 61747-3 Document. Motion artifacts measurement of active matrix liquid crystal display modules[S]. Standard in development.
- [5] VESA FPDM Update. Video electronics standards association, flat panel display measurement standard[S]. Version 2.0, 2005.
- [6] Oka K, Kitagishi K, Enami Y, Parameters of motion picture blurring measured by using a pursuit Camera[C]. *Proceedings of IDW'04*, 2004: 1579-1582
- [7] Someya J, Igarashi Y, A review of MPRT measurement method for evaluating motion blur of LCDs[C]. *Proceedings of IDW'04*, 2004: 1571-1574
- [8] 赵登峰. 基于动态调制传递函数的 LCD 运动模糊研究[D]. 南京:东南大学,2010.
Zhao D F. Research of LCD motion blur based on dynamic modulation transfer function[D]. Nanjing: Southeast University, 2010.
- [9] 张昱,张健. 基于多项式曲面拟合的 TFT-LCD 斑痕缺陷自动检测技术[J]. 光电工程, 2006,33(10):108-114.
Zhang Y, Zhang J. Automatic blemish inspection for TFT-LCD based on polynomial surface fitting[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2006,33(10):108-114.
- [10] Wang Z, Bovik A C, Lu L. Why is image quality assessment so difficult[C]. IEEE International Conference Acoustics, Speech, and Signal Processing, Orlando, 2002:3313-3316.
- [11] Wang Z, Bovik A C, Sheikh H R. Image quality assessment, from error visibility to structural similarity [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2004, 13(4):600-612.

作者简介:邱聚能(1991—),男,四川成都人,硕士研究生,主要研究方向:信号处理、图像处理。E-mail: qiujuenen@126.com