

基于盲信号处理方法的 LCD 运动图像去模糊研究*

庞志勇, 谭洪舟, 朱雄泳, 陈法灵
(中山大学电子与通信工程系, 广州 广东 510275)

摘要: 运动模糊是 LCD 在电视应用中的一个主要挑战。提出了一种采用盲信号处理解决 LCD 运动图像模糊问题的方法。该方法通过 MPRT (Motion Picture Response Time) 方法得到 LCD 运动模糊图像。采用倒谱分析方法估计运动矢量, 将得到的运动矢量用到已知的 LCD 运动图像模糊模型中, 进而得到盲去卷积的初始点散函数 (PSF)。仿真结果表明, 通过该盲去卷积的方法使得 LCD 运动图像得到了很大的改善。

关键词: LCD; 运动模糊; 盲信号处理; 动态画面响应时间; 点散函数; 盲去卷积

中图分类号: TP391.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2010) 02-0017-05

Study on LCD Motion Blur Reduction Based on Blind Signal Processing

PENG Zhiyong, TAN Hongzhou, ZHU Xiongyong, CHEN Faling
(Department of Electronics and Communication Engineering,
Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Motion blur is one of main challenges for using LCDs in television applications. An effective method for reducing the motion blur by blind signal processing was proposed. In this method, the LCD motion blur images are obtained by the MPRT (Motion Picture Response Time), and the motion vectors are estimated using the cepstral method, then the motion vectors are used in a pre-model for LCD motion blur image, and finally an initialization point spread function (PSF) of blind deconvolution can be constructed. The simulation results show that the proposed blind deconvolution can significantly reduce the visible blurring artifact on LCD.

Key words: liquid crystal display; motion blur; motion picture response time; point spread function; blind deconvolution

液晶显示器 (LCD) 作为平板显示器技术中发展最为迅速的一种技术, 由于亮度, 对比度, 视角等问题的顺利解决, 其色彩丰富的优点得到充分发挥, 在静态图像和文本的显示效果方面已经赶上甚至超过了成熟 CRT 的显示效果, 其应用得到了极大的推广^[1]。近几年, 使用于 PC 与 TV 上的 LCD 面板大型化正在急速发展。PC 和 TV 所使用的 LCD 面板不同在于, PC 用强调静止画面, 而 TV 用强调动态画面, 所以目前 TV 用 LCD 面板业者正

积极改善动态画质。LCD 对运动的图像文字显示方面, 还存在一个难于解决的缺陷, 这就是运动模糊拖尾的问题^[2], 其表现如图 1 所示。

针对 LCD TV 最为人诟病的运动模糊 (Motion Blur) 或“拖尾”问题, 目前, 国内外的学者提出各种办法来改善这种 LCD 显示运动图像模糊的状况, 主要包括: ①提高液晶像素的响应速度^[3]; ②改进 LCD 的保持特性^[4]; ③采用图像处理技术^[5-8]。①、②从物理性能上的提高总是有限度的,

* 收稿日期: 2009-04-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60874060)

作者简介: 庞志勇 (1975 年生), 男, 讲师, 博士生; 通讯作者: 谭洪舟; E-mail: zhiyongpang@126.com

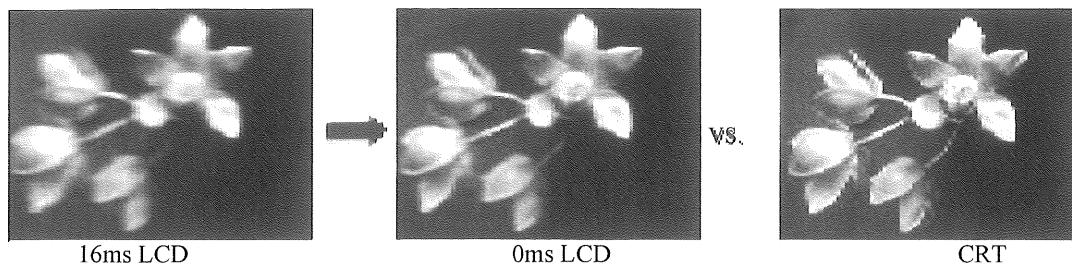


图 1 LCD 与 CRT 动画表现上的差异

Fig. 1 Difference of LCD and CRT display motion image

例如不能让液晶材料的响应时间无限小，一般会在 100 ~ 200 ms 之间，采用各种技术可以提高到几毫秒。虽然这样的响应速度已经可以比较好地改善运动模糊效应了，可是对于视频图像而言，帧率一般在 20 ~ 30 之间，这时，液晶的保持特性是引起运动模糊的主要因素。因此，有必须要采用图像处理方法进一步提高 LCD 的动态图像的显示性能。目前，采用用图像处理方法主要有：① 运动补偿反向滤波器 (Motion Compensated Inverse Filtering, MCIF)^[6-7]；② Richardson-Lucy 算法反卷积 (Deconvolution) 算法 [8] 等。上述方法都是采用非盲信号处理技术，都依赖于准确的 LCD 运动图像模糊的点散函数 (PSF)。但是，LCD 运动图像模糊的点散函数至今还没有一个准确的模型，MCIF 和 Richardson-Lucy 算法都是基于近似的 sinc 模型

的^[6]。为此，本文提出了采用盲信号处理方法解决 LCD 运动图像模糊问题。

1 LCD 运动图像模糊分析

近年来的研究表明^[5-7]，导致 LCD 显示运动图像的模糊的原因主要有以下四个方面：①LCD 显示材料的慢响应过程。②LCD 显示的“抽样—保持”特性，就是在显示的刷新周期内保持各像素点的显示亮度。③人眼视觉系统 (HVS) 的运动跟踪特性^[1,10]。④人眼视觉系统 (HVS) 的低通滤波特性^[11-12]。我们总结 LCD 运动图像的模糊现象可由图 2 中的系统框图来表示，图中 $f(x, y, t)$ 表示输入到 LCD 的清晰视频信号， $f_{blur}(x, y, t)$ 表示 LCD 显示的模糊视频信号。

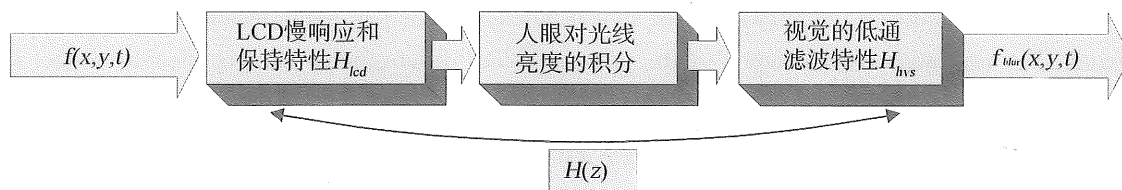


图 2 LCD 运动图像模糊的系统框图

Fig. 2 Block diagram of LCD motion blur system

假设不考虑保持时间的影响，人眼系统的传递函数为 G ，对应的时空域响应函数为 $g(x, y, t)$ ，运动图像的运动速度矢量 $v = (v_x, v_y)$ ，参照物是显示器本身，则运动图像经过视觉系统的输出是：

$$f_{o1}(x, y, t) = f(x - v_x t, y - v_y t, t) * g(x, y, t) \quad (1)$$

考虑到 LCD 的慢响应作用，则人眼所见的输出图像为：

$$\begin{aligned} f_{o2}(x, y, t) &= f_{o1} * h_i(t) = \\ &= f(x - v_x t, y - v_y t, t) * g(x, y, t) * h_i(t) = \\ &= f(x - v_x t, y - v_y t, t) * h_i(t) * g(x, y, t) \quad (2) \end{aligned}$$

式中，“*”表示三维卷积， $h_i(t)$ 表示 LCD

的系统响应函数。当屏幕中的图像发生运动时，人的眼睛便会跟踪物体的运动，这是一种视觉补偿特性。一般地，通过追踪物体的运动，视网膜上的有效时间频率会降低。根据人眼对光感应时间的积分效果，这个跟踪过程使得视觉输出是一个沿运动路径的积分，即：

$$\begin{aligned} f_{blur}(x, y, t) &= \frac{1}{T_h} \int_0^T f_{o2}(x - v_x t, y - v_y t, t) dt = \\ &= \frac{1}{T_h} \int_0^T f(x - v_x t, y - v_y t, t) * h_i(t) * g(x, y, t) dt \quad (3) \end{aligned}$$

$f_{blur}(x, y, t)$ 便是由于人眼和 LCD 的慢响应和保持特性引起的人眼所实际看到的运动图像结果。显然, $f_{blur}(x, y, t) \neq f(x, y, t)$, 人眼实际见到的图像是一个在运动方向上边缘发生模糊的图像。

在文献 [6] 中, 假设只考虑 LCD 的保持特性情况下, 在频率域推导出, 人观察的 LCD 运动图像实际是真实图像经过一个 sinc 空间滤波器的运动模糊图像。系统函数 $H(z)$ 如下式:

$$H(u, v) = \text{sinc}(\pi T_h [v_x, v_y] [u, v]^T) \quad (4)$$

其中, T_h 是显示的采样保持时间, $[v_x, v_y]$ 是运动矢量, $[u, v]$ 是空间频率。

由于, 人眼的视觉特性特别复杂 (包括视觉生理和心理特性), 因此, 对 LCD 运动图像模糊的系统函数 $H(z)$ 的建模至今都是一些理论上的近似模型, 而且都是线性模型。

2 LCD 运动图像模糊盲处理方法

文献 [6] 中, 提出了基于 sinc 模型的 MCIF 方法来改善 LCD 运动图像表现性能。MCIF 方法的局限性主要包括:

1) MCIF 方法属于是线性逆滤波法, sinc 函数存在极点问题;

2) 假设 LCD 显示器是理想的液晶材料制成的, 即其响应时间为零, 只考虑了其保持特性引起运动模糊;

3) MCIF 方法对运动矢量错误非常敏感, 对运动矢量估计精确度要求很高^[5]。因此, MCIF 方法对 LCD 运动图像的改善是很有限的。同样, Richardson-Lucy 算法反卷积算法进行 LCD 运动图像去模糊也是基于 sinc 模型进行仿真验证的。实际上, LCD 运动图像去模糊的 PSF 难以获得, 我们提出不以确知 PSF 为基础的盲解卷积算法对 LCD 运动图像去模糊。该方法通过 MPRT 测得 LCD 运动模糊图像, 采用的倒谱估计方法得到运动矢量, 将得到的运动矢量用到已知的 LCD 运动图像模糊系统函数 $H(z)$ 近似模型中, 进而得到盲去卷积的初始点散函数 PSF。最后, 通过基于 RL 迭代算法盲去卷积的方法使得 LCD 运动模糊图像得到很大改善。

2.1 LCD 运动模糊图像的测量

采用盲信号处理方法进行 LCD 运动图像去模糊, 需要获取 LCD 运动模糊图像。目前, 公认的 LCD 运动模糊图像测量方法是 MPRT。MPRT 是 2001 年许多业者就液晶动态画面模糊的评价方法进行了研究, 定义了可将液晶动态画面模糊进行数

值化的方法。MPRT 就是一种在眼睛感觉下, 液晶屏幕上显示动画 (移动的边) 模糊程度的定量方法。MPRT 方法基于两个假设: ①人眼平滑追踪运动物体; ②人眼感知的亮度为一帧内亮度的积分平均值。MPRT 通常需要昂贵的追击相机, 追击相机采用 CCD 和镜面同步追随屏上被摄运动图像, 如图 3 所示。

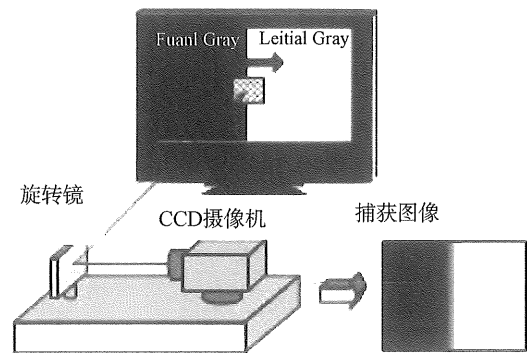


图 3 MPRT 测量系统

Fig. 3 Test system of MPRT

根据 MPRT 原理, 也可以采用仿真的方法得到 LCD 运动模糊图像, 仿真模型如图 4 所示^[12]。该方法实现步骤: ①在每个像素上加载帧序列色调数据; ②合成每个像素的亮度响应波形; ③根据平滑追逐原理, 进行时序积分。

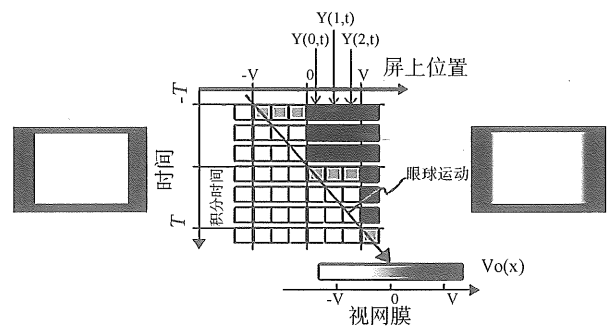


图 4 MPRT 仿真模型图

Fig. 4 Simulation Model of MPRT

利用该仿真方法得到 MPRT 为 5 ms 和 16 ms LCD 运动模糊图像, 如图 5 所示。从图中, 我们可以看出 MPRT 为 5 ms 的图像比 16 ms 清晰很多。

2.2 运动矢量的倒谱盲估计

从上述两个 LCD 运动图像模糊系统函数中, 我们发现都需要相关的运动矢量。这实际上, 是由于 LCD 运动模糊的原因决定的。这里, 我们采用倒谱估计盲估计算法得到运动矢量, 即我们只对

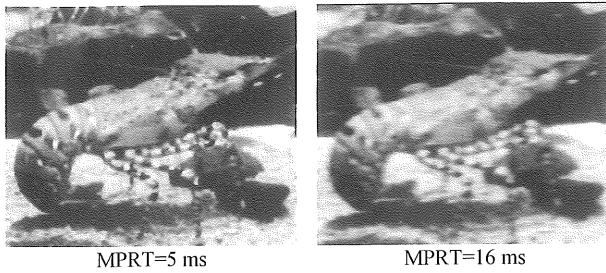


图 5 MPRT 原理仿真得到的图像

Fig. 5 Images of MPRT simulation

MPRT 方法得到的 LCD 输出图像进行处理。

在倒谱估计算法中, 图像的模糊过程可以用下式来表示:

$$g(x, y) = f(x, y) * h(x, y) + n(x, y) \quad (5)$$

$f(x, y)$ 是原始图像, $h(x, y)$ 是点散函数 psf, $g(x, y)$ 是模糊图像, $n(x, y)$ 是噪声。

在频域内, 图像模糊可以用下式表示:

$$G(u, v) = F(u, v)H(u, v) + N(u, v) \quad (6)$$

$g(x, y)$ 的倒谱是基于傅立叶变换 (这里用 F 表示) 定义的, 由下式给出:

$$C(g(x, y)) = F^{-1}(\log |F(g(x, y))|) \quad (7)$$

倒谱的一个重要特性就是, 把卷积运算转化为相加运算, 见下式 (忽略噪声)

$$C(g(x, y)) = C(f(x, y)) + C(h(x, y)) \quad (8)$$

从上式可以看出, 模糊图形的倒谱是原始图像的倒谱和点散函数倒谱之和。因此, 在运动模糊图像倒谱图中, 存在一条与点散函数相对应的直线。此直线的亮像素数目即为运动模糊长度, 而直线与水平方向的夹角即为运动模糊的方向。

2.3 盲去卷积的初始 PSF 的选择

通常, 采用盲信号处理的方法对模糊图像进行去模糊, 需要知道关于图像和点散函数 PSF 的部分信息。我们采用的以最大似然估计 (MLE) 为基础, 运用 RL 迭代处理方式的最优化策略的盲解卷积方法, 也需要知道部分点散函数的信息。这里, 我们利用 LCD 运动图像模糊的 sinc 近似模型作为盲去卷积的初始点散函数取得了很好的效果。采用其他点散函数 (如相机线性运动的 motion 模型) 效果不理想。限于文章篇幅, 这里我们没有给出相应的仿真结果。

2.4 盲去卷积算法

过去的二十年中, 以最大似然估计 (MLE) 为基础, 运用迭代处理方式的最优化策略的盲解卷积方法受到了极大的重视。迭代处理方式主要有反

向滤波方法、维纳滤波方法、RL 算法。这里, 我们采用基于 RL 迭代算法的盲解卷积算法^[13]。首先, 由图像模糊的过程, 定义似然函数如下式:

$$L = \prod_{x, y} p(\hat{f}(x, y) | g(x, y), h(x, y)) \quad (9)$$

再由贝叶斯理论, 上式可以写成:

$$L = \prod_{x, y} \frac{p(g(x, y) | \hat{f}(x, y), h(x, y))}{p(g(x, y))} \cdot p(\hat{f}(x, y), h(x, y)) \quad (10)$$

最后, 如果观测图像 $g(x, y)$ 概率 $p(g(x, y))$ 是一个常数, 可以由最大似然函数得到恢复图像 $\hat{f}(x, y)$:

$$\hat{f}(x, y) = \arg \hat{f}_{(x, y)} \max L = \max \prod_{x, y} p(g(x, y) | \hat{f}(x, y), h(x, y)) \cdot p(\hat{f}(x, y), h(x, y)) \quad (11)$$

RL 迭代算法实现如下式:

$$\hat{h}_{k+1} = \frac{1}{\sum \hat{f}_k} \hat{h}_k \cdot \hat{f}_k * \left(\frac{g}{\hat{h}_k \otimes \hat{f}_k} \right)$$

$$\hat{f}_{k+1} = \frac{1}{\sum \hat{h}_{k+1}} \hat{f}_k \cdot \hat{h}_{k+1} * \left(\frac{g}{\hat{h}_{k+1} \otimes \hat{f}_k} \right) \quad (12)$$

3 盲去模糊仿真

由于 LCD 运动模糊是由 LCD 显示器和人的视觉特性共同引起的。目前, 对 LCD 运动模糊图像的获取方法中, MPRT 方法是公认最好的方法之一。因此, 我们对图 5 中, MPRT 为 5 ms 和 16 ms 的 LCD 运动模糊图像分别进行了盲去模糊仿真和 MCIF 去模糊仿真。这里, 限于文章篇幅, 我们只给出了 10 迭代的仿真结果 (图 6-7)。

MCIF 方法对运动矢量估计的精确度要求很高^[5], 我们利用上面倒谱估计的运动矢量进行 MCIF 去模糊, 是失败的。为此, 我们人为的设定运动矢量进行仿真。这里, 我们给出 $v_x = 0$, $v_y = 8$ 仿真结果。

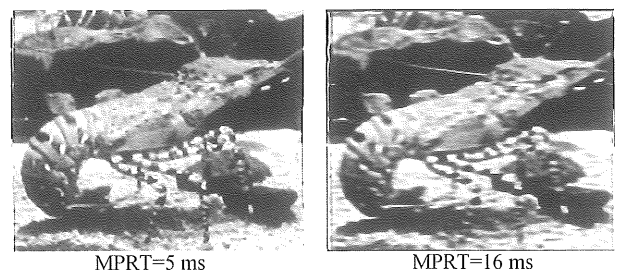


图 6 盲去模糊的结果

Fig. 6 Result of blind deblur methods

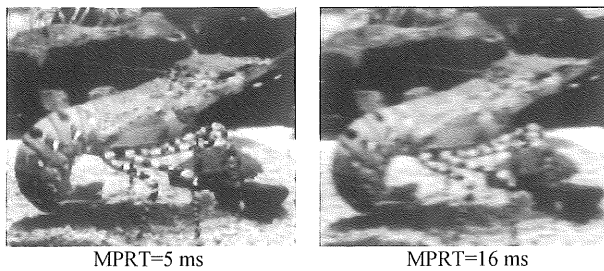


图7 采用MCIF去模糊的结果

Fig. 7 Result of MCIF deblur

4 结 论

对图6和图7的仿真结果,我们从主观视觉的图像恢复效果上,可以得出以下结论:

1) 我们提出的盲去卷积的方法可以很好的改善LCD运动图像的显示效果,并且优于MCIF方法。

2) MCIF方法对运动矢量估计的精确度要求较高^[5],我们采用的盲去卷积的方法对运动矢量精确度的要求较低,可以减少运动矢量估计的运算量。

3) 我们采用基于RL的盲去卷积方法,属于非线性迭代方法,排除了MCIF方法存在的极点问题^[6]。

4) 我们采用的基于RL的盲去卷积方法有个缺陷是,在图像的边缘有失真,这需要我们以后解决。

参考文献:

- [1] 应根裕,屠彦,万博泉. 平板显示应用技术手册[M]. 北京:电子工业出版社,2007.
- [2] PAN H, FENG X F, DALY S. LCD motion blur modeling and analysis[C]. IEEE Int. Conf. Image Processing, 2005: 4-7.
- [3] KLOMPENHOUWER M A. Temporal impulse response and bandwidth of displays in relation to motion blur[J]. SID Sym Digest of Technical Papers, 2005, 36: 1578-1581.
- [4] FENG X F. LCD motion-blur analysis, perception, and reduction using synchronized backlight flashing[J]. Proceedings of the SPIE, 2006, 6057: 213-226.
- [5] HAR-NOY S, NGUYEN T Q. LCD motion blur reduction: A signal processing approach[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 2008, 17(2): 117-125.
- [6] KLOMPENHOUWER M A, VELTHOVEN L J. Motion blur reduction for liquid crystal displays: motion-compensated inverse filtering[J]. Visual Communications and Image Processing of SPIE-IS&T Electronic Imaging, 2004, 5308: 1.
- [7] HE Haiyan, VELTHOVEN L J, BELLERS E, et al. Analysis and implementation of motion compensated inverse filtering for reducing motion blur on LCD panel[C]. Consumer Electronics, ICCE 2007, Digest of Technical Papers, International Conference on, Volume, Issue, 2007: 1-2.
- [8] SHAY H N, TRUONG Q N. A deconvolution method for LCD motion blur reduction[C]. International Conference on Image Processing, IEEE, 2006.
- [9] IGARASHI Y, YAMAMOTO T, TANAKA Y, et al. Summary of moving picture response time (MPRT) and futures[C]. SID Digest, 2004: 1262-1265.
- [10] KUNDUR D, HATZINAKOS D. Blind image deconvolution[C]. IEEE Signal Processing Magazine, 1996.
- [11] 谭洪舟,陈法灵,李丹. 一种利用盲信号处理解决LCD运动图像模糊的方法: 中国, CN101086826[P]. 2007-12-12.
- [12] 戚益科,李晓华. LCD运动图像仿真[J]. 电子器件, 2007, 30(1): 123-125.
- [13] BIGGS D S C, ANDRUES M. Acceleration of iterative image restoration algorithms[J]. Applied Optics, 1997, 36(8): 1.