

文章编号:1007-2780(2009)05-0729-06

基于极点聚焦全极点滤波器减小 LCD 运动模糊的方法

钟翊炜¹, 邓少芝^{1*}, 刘志军², 闫晓林²

(1. 中山大学 显示材料与技术广东省重点实验室, 广东 广州 510275;
2. TCL 集团工业研究院, 广东 深圳 518067)

摘 要: 提出一种基于极点聚焦技术的减少 LCD 运动模糊效应的方法, 通过建立二维全极点滤波器, 采取分块处理方法对视频信号进行处理, 并采用模拟仿真的方法进行实验评估, 结果表明极点聚焦全极点滤波器对于减小 LCD 的运动图像模糊具有一定的效果, 尤其是在图像高频出现的地方效果明显。所提出的方法具有算法简单, 便于硬件实现的优点。

关 键 词: TFT-LCDs; 运动模糊; 极点聚焦全极点滤波器; 视频处理
中图分类号: TN911.73 **文献标识码:** A

1 引 言

液晶显示器 (Liquid Crystal Display, LCD) 是目前应用最为广泛的平面显示器件, 然而 LCD 仍然存在着运动模糊的问题。LCD 在电视应用中, 解决运动模糊问题是一个具有挑战性的难题。LCD 的运动模糊主要来源于以下两个方面: 一是液晶较慢的响应速度; 二是 LCD 的采样-保持工作方式与人眼的运动追踪特性的综合效应。这两个因素直接导致了 LCD 显示运动图像的质量退化。

近几年来, 随着响应时间补偿 (RTC) 技术^[1]的运用, LCD 的响应时间已大为减少。采用 RTC 技术, 现在已可以使灰度-灰度变换时间小于 4 ms。因此, RTC 技术可以减少运动模糊, 在一定程度上提高了运动图像的质量。随着液晶材料响应速度的提高, 利用 LCD 采样-保持工作特性和人眼追踪运动的综合效应来减少 LCD 运动图像模糊的贡献达到了 70%^[2]。然而, 有研究^[3]

指出: 即使液晶材料的响应时间降为零, 也不能完全避免运动模糊现象, 减少 LCD 运动模糊仍然是 LCD 显示需要解决的问题。本文基于极点聚焦技术, 提出了一种减少 LCD 运动模糊效应的方案, 它具有算法简单, 便于硬件实现的优点。

2 基于逆滤波方法减少 LCD 运动图像模糊的基本原理

Michiel A. Klompenhouwer 分析了实际场景经过摄影机采样、LCD 显示器重构图像以及人眼接受图像信息的全过程, 根据 LCD 的显示机理以及人眼追踪运动目标的感知特性提出了 LCD 运动图像模糊模型^[2], 如图 1 所示。

该模型由 3 部分组成: 第一部分是摄影机对实际场景的采样过程 (包括时间采样与空间采样)。 $I_c(\mathbf{x}, t)$ 是实际场景, $I_s(\mathbf{x}, t)$ 是摄影机采样后的图像; 第二部分是 LCD 显示器对采样图像的重构过程, $I_d(\mathbf{x}, t)$ 是重构后的图像。第三部分是人眼视觉系统; 其中, $I_p(\mathbf{x}, t)$ 是人眼感知的图像。

图 1 LCD 运动图像模糊基本模型

Fig. 1 Basic model of LCD motion blur occurrence

$I_p(x, t)$ 与 $I_c(x, t)$ 在频域中存在以下关系:

$$I_p^f(f_x) = I_c^f(f_x) \cdot A^f(f_x, v \cdot f_x) = I_c^f(f_x) \cdot \text{sinc}(\pi v \cdot f_x T_h) \quad (1)$$

这里, v 是目标的运动速度, f_x 是图像的空间频率, T_h 为显示器的采样保持时间, 传输函数 $A^f(f_x, v \cdot f_x) = \text{sinc}(\pi v \cdot f_x T_h)$ 综合反映了 LCD 显示器的保持-驱动特性与人眼的追踪效应的组合。

从式(1)可以看出, 为了减小 TFT-LCD 运动模糊效应, 一个可行的办法是尽量减小保持时间 T_h 。在此原理的指导下, 人们提出了一系列方法来减小 TFT-LCD 的运动模糊, 包括倍频技术、背光源闪烁/扫描技术^[4,5]、插入黑场技术^[6]等。

将视频处理作为减小 LCD 显示器采样保持效应的另一种方法, 意味着眼睛和显示设备对视频的低通滤波效应进行补偿。按公式(1)定义逆滤波:

$$H_{inv}^f(f_x) = \frac{1}{\text{sinc}(\pi v \cdot f_x T_h)} \quad (2)$$

假如逆滤波器先作用于视频, 然后再经过 LCD 显示器采样保持特性与眼睛跟踪效应的共同作用, 那么观察者感知的图像可能与原始图像更接近。这个逆滤波过程如图 2 所示。

图 2 基于预逆滤波器减少 LCD 运动图像模糊效应的原理图

Fig. 2 Scheme of LCD motion blur reduction based on pre-inverse filter

目前基于视频处理减小 LCD 运动模糊效应的算法有: 运动补偿逆滤波算法^[3]、运动自适应去模糊滤波器^[7]和 Richardson-Lucy 算法^[8]等。

3 一维极点聚焦全极点滤波器及其频幅响应特性

公式(1)表明, LCD 运动模糊模型是一个线性模糊模型, 传输函数 $A^f(f_x, v \cdot f_x) = \text{sinc}(\pi v \cdot f_x T_h)$ 在空域上对应于一个冲激响应为 $h(x) = \frac{1}{N}$ ($0 < x < N$) 的 FIR 滤波器, 其中 x 表示离散空间像

素位置, N 为模糊长度(以像素个数表示)。 N 的值等于图像一帧时间内移动的像素个数, 即等于图像移动速率 v 的值。这样, 人眼感知到的图像就相当于原始场景 $I_c(x, t)$ 经过一个 FIR 滤波器滤波得到的模糊图像, 这个 FIR 滤波器就是模糊滤波器。这个模糊滤波器只有零点没有极点, 故其逆滤波器只有极点, 在 Z 空间中可以表示为公式(3):

$$H(z) = \frac{k}{\prod_{j=1}^n (z - p_j)} \quad (3)$$

由于该逆滤波器在单位圆上存在 n 个极点, 所以会造成滤波器的不稳定性。 Boris Linkhterov 等人提出了一种极点聚焦技术^[9] (Pole focusing technique), 它能够在保证高放大区域的逆滤波性能情况下, 同时保存了纯逆滤波的结构和相位特性。极点聚焦技术假设新的极点位置为 $p_j^F = F \cdot p_j$, 因而式(3)变为:

$$H_F(z) = \frac{k}{\prod_{j=1}^n (z - F \cdot p_j)} = \frac{k}{F^n \cdot \prod_{j=1}^n \left(\frac{1}{F} z - p_j\right)} = \frac{1}{F^n} \cdot H\left(\frac{1}{F} z\right) \quad (4)$$

根据 z 变换理论有:

$$\frac{1}{F^n} \cdot H\left(\frac{1}{F} z\right) \stackrel{(Z^{-1})}{\Leftrightarrow} \frac{1}{F^n} \cdot F^x \cdot h(x) = F^{x-n} \cdot h(x) \quad (5)$$

其中 $\stackrel{(Z^{-1})}{\Leftrightarrow}$ 表示空间域与 Z 域之间的变换, x 为像素坐标, $h(x)$ 是原始模糊滤波器的冲击响应函数。 $F^{x-n} \cdot h(x)$ 描述的滤波器被称为极点聚焦全极点滤波器(Focusing All-Pole Filter)。

图 3 给出了移动速度 v 为每帧 7 个像素的情

图 3 系数 F 对全极点滤波器频幅响应的影响
Fig. 3 Effect of the coefficient F on the frequency response of all-pole filter

况下,系数 F 对全极点滤波器频幅响应的影响。为了方便观察,纵坐标采用了对数坐标。图 3 中曲线①为模糊滤波器的频幅响应;曲线②为式(4)所示滤波器的频幅响应;曲线③~⑤分别对应 F 为 0.9,0.8 和 0.7 时全极点滤波器的频幅响应。从曲线③~⑤可看出,当 F 越接近 1 时,全极点滤波器越接近完全逆滤波器;当 F 较小时,全极

点滤波器退化为一个高通滤波器。
图 4 是系数 $F=0.85$ 时,全极点滤波器 APF 频幅响应随移动速率变化情况。图 4(a)~4(d) 分别对应 v 为 7、9、11 和 13 的情况下,全极点滤波器的频幅响应。从图 4 可以看出,移动速率对全极点滤波器频幅响应的影响主要体现在频幅响应曲线峰值个数上。

图 4 移动速率对全极点滤波器频幅响应的影响

Fig. 4 Effect of motion velocity on the frequency response of all-pole filter

4 利用二维 APF 实现对视频进行预处理

在实际的应用中,由于视频图像不同位置有不同的移动速度,所以采取分块处理的方法,如图 5 所示。

利用二维 APF 实现对视频进行处理的过程可分为两大部分:移动估计部分和滤波处理部分。对输入的视频抓取当前帧,并将当前帧分为许多 16×16 像素大小的图像块,对每一个图像块都进行如下操作:

(1)针对某一图像块,结合前一帧图像对此图像块进行移动矢量估计,得到图像块移动的速率

和方向,这一部分为移动估计部分。目前成熟的移动估计算法有很多,本文采用的是钻石搜索法^[10]。

(2)利用移动估计得到的图像块移动速率,根据式(5)可以得出一维全极点滤波器,再根据得到的一维全极点滤波器系数和图像块的移动方向,利用插值算法可以得到二维全极点滤波器。最后利用二维全极点滤波器对图像块进行滤波处理。这一部分是滤波处理部分。

对于不同移动速率,全极点滤波器系数 F 可以取合适的值以达到最佳的处理结果,因此在利用全极点滤波器处理视频时,必须采取自适应处理的方法。

图 5 利用二维 APF 进行视频处理过程图

Fig. 5 Scheme of video processing with two-dimension all-pole filter

5 实验仿真结果

图 2 所示的逆滤波器对视频的处理是一个预失真的过程,只有在视频播放过程中,结合人眼的跟踪效应,才能观察全极点滤波器对 LCD 运动模糊效应的改善效果。从视频中抓取的静止视频帧,由于人眼的跟踪效应不再起作用,图像质量看起来反而会退化。因此对 LCD 运动模糊量的测量评价是一个难题。目前对 LCD 运动模糊量的评测方法主要有 3 类:主观评测法、直接测量法^[11,12]和模拟仿真法^[13,14]。主观评测法能直接反映人眼的感受,但具有很大的主观随意性;直接测量法需要大量昂贵的仪器,同时由于装置本身的同步、追踪等过程要求很高,精度难以得到保证;模拟仿真法便于了解不同因素对显示器件运动图像失真影响的具体程度,但为了方便计算,在计算过程中有些影响因素会被假定或忽略。模拟仿真法具体步骤如下:

- 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根据平滑追踪原理,进行时序积分。

本文在 Matlab 平台上利用模拟仿真法计算出人眼观看运动画面时感受的模糊图像,如图 6 所示。图 6(a)是原始图像;图 6(b)是当 $v=5$ 时,模糊滤波器(模拟 LCD 保持工作特性与人眼跟踪过程的联合效应)对原始图像水平滤波的结果,即模拟的是 LCD 显示原始图像时,人眼感知的模糊图像;图 6(c)是原始图像先经过全极点滤波器处理,再经模糊滤波器滤波得到的结果,模拟的是 LCD 显示经全极点滤波器处理后的图像以每帧 5 个像素的速度水平向右移动时,人眼感知的模糊图像。对比图 6(b)和(c)可知,经过全极点滤波器处理后,人眼感知的模糊图像变得较为清晰,也就是说全极点滤波器能在一定程度上减小 LCD

运动模糊现象,尤其是图像高频出现的地方,例如图中广告牌上的英文字母 Nashua 和 PHILIPS。

图 6 利用极点聚焦全极点滤波器减小 LCD 运动模糊的仿真结果

Fig. 6 Simulation results of LCD motion blur reduction with using focusing all-pole filter

6 结 论

基于极点聚焦技术,提出了一种减小 LCD 运动模糊的方法。极点聚焦技术能够直接根据原始模糊滤波器的冲击响应函数和聚焦系数 F 得到去模糊滤波器的系数,同时由于其不改变滤波器的零点和极点数目,不会增加滤波的计算量,因此

在对视频处理时具有实现简单、计算量较小的优点。利用模拟仿真的方法进行实验评估,证实了极点聚焦全极点滤波器能在很大程度上减小

LCD的运动图像模糊现象,在图像高频出现的地方尤为有效。

参 考 文 献:

- [1] McCartney R I. A liquid crystal display response time compensation feature integrated into an LCD panel timing controller [C]. // *SID 2003 Digest*, Baltimore, USA; SID, 2003: 1350-1353.
- [2] Har-Noy Shay, Nguyen T Q. LCD motion blur reduction: A signal processing approach [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2008, 17(2): 117-125.
- [3] Klompenhouwer Michiel A, Velthoven Leo Jan. Motion blur reduction for liquid crystal displays: Motion compensated inverse filtering [J]. *IEEE International Conference on Image Processing*, 2005, 5308: 690-699.
- [4] Hirakata J, Shingai A, Tanaka Y, et al. Super-TFT-LCD for moving picture images with the blink backlight system [C]// *SID 2004 Digest*, Seattle, USA; SID, 2001: 990-993.
- [5] Sluyterman A, Boonekamp E. Architectural choices in a scanning backlight for large LCD TVs [C]// *SID 2005 Digest*, Boston, USA; SID, 2005: 996-999.
- [6] Kimura N, Ishihara T, Miyata H. New technologies for large-sized high-quality LCD TV [C]// *SID 2005 Digest*, Boston, USA; SID, 2005: 1734-1737.
- [7] Jun Xia, Yue Shi, Hanchun Yin. Motion adaptive deblurring filter for LCD [J]. *Displays*, 2009, 30: 27-31.
- [8] Har-Noy Shay, Nguyen T Q. A deconvolution method for LCD motion blur reduction [C]// 2006 *IEEE International Conference on Image Processing*, Atlanta, Georgia, USA; IEEE, 2006.
- [9] Likhterov Boris, Kopeika N S. Motion-blurred image restoration using modified inverse all-pole filters [J]. *J. Electronic Imaging*, 2004, 13(2): 257-263.
- [10] Po Lai-Man, Ma Wing-Chung. A novel four step search algorithm for fast block motion estimation [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 1996, 6(3): 313-317.
- [11] Yamamoto T, Aono Y, Tsumura M. Guiding principles for high quality motion picture in AMLCDs applicable to TV monitors [C]. // *SID 2000 Digest*, Long Beach, USA; SID, 2000: 933-940.
- [12] Kyoichiro Oda, Akimasa Yuuki. Evaluation of moving picture quality using the pursuit camera system [J]. *IEIC Technical Report*, 2002, 102(467): 49-52.
- [13] Daigo Sasaki, Masao Imai, Hiroshi Hayama. Motion picture simulation for designing high-picture-quality hold-type display [C]// *SID 2002 Digest*, Boston, USA; SID, 2002.
- [14] 王超, 李晓华, 杨晓伟, 等. 液晶显示器件运动伪像测量方法分析 [J]. *电子器件*, 2005, 28(4): 726-729.

Method for LCD Motion Blur Reduction by Using Focusing All-Pole Filter

ZHONG Yi-wei¹, DENG Shao-zhi¹, LIU Zhi-jun², YANG Xiao-lin²

(1. State Key Laboratory of Optoelectronic Materials and Technologies, Guangdong Province Key Laboratory of Display Materials and Technologies, School of Physics and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China, E-mail: stdsdz@mail.sysu.edu.cn;

2. TCL Corporation Research, Shenzhen 518067, China)

Abstract

An approach for reducing LCD motion blur with using focusing all-pole techniques is presented in

