

文章编号:1007-2780(2016)10-0943-06

基于直流平衡的电泳电子纸驱动波形的优化研究

段飞波¹, 白鹏飞^{1*}, Henzen Alex¹, 周国富^{1,2}

(1. 华南师范大学 华南先进光电子研究院 彩色动态电子纸显示技术研究所, 广东 广州 510006;

2. 深圳市国华光电研究院, 广东 深圳 518110)

摘要:随着人们对于生活品质要求的提高, 便利、护眼、能耗低的电子纸显示技术在显示技术领域越来越受人们追捧。电子纸的显示是通过一系列的驱动波形来实现, 即不同的灰阶通过不同的电压驱动序列驱动而得到。在驱动波形的设计中不仅要考虑到显示效果, 还要考虑到刷屏响应速度、闪烁和直流平衡的影响。本文提出了一种新的驱动波形设计方案, 不仅达到了直流平衡, 消除了可能积累电荷对于显示屏的影响, 同时提高了刷屏的速度, 减少了 25% 的闪烁, 也保证了显示效果。

关键词:电泳电子纸; 驱动波形; 闪烁; 直流平衡

中图分类号: TN27 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20163110.0943

Driving waveform optimization in electrophoretic display based on DC-balance

DUAN Fei-bo¹, BAI Peng-fei^{1*}, HENZEN Alex¹, ZHOU Guo-fu^{1,2}

(1. *Institute of Electronic Paper Displays, South China Academy of Advanced Optoelectronics, South China Normal University, Guangzhou 510006, China;*

2. *Academy of Shenzhen Guohua Optoelectronics, Shenzhen 518110, China*)

Abstract: The electrophoretic display (EPD) has great prospects, since it has the advantage of paper-like display, being able to read in sunlight conditions and very low energy consumption. The change of voltage states in displaying different gray tone levels is frequently called a driving waveform. Driving waveform designing need not only take into account the display quality, but also consider the update speed, flickers and DC-Balance. A new driving method is presented in this paper. This method achieved DC-Balance, eliminating the influence of remain charge, increasing the response speed, decreasing about 25% number of flickers and ensure the image quality.

Key words: electronic paper; driving waveform; flicker; DC-balance

收稿日期: 2016-06-12; 修订日期: 2016-08-11.

基金项目: 教育部“长江学者和创新团队发展计划”(No. IRT13054); 广东省科技计划项目 (No. 2014B090914004; No. 2015B090913004; No. 2015A090902013)

Supported by Program for Changjiang Scholars and Innovative Research Teams in Universities Project (No. IRT13064); Science and Technology Planning Project of Guangdong Province (No. 2014B090914004; No. 2015B090913004; No. 2015A090902013)

* 通信联系人, E-mail: baipf@scnu.edu.cn

1 引言

电子纸显示器 (Electrophoretic display, EPD, 简称电子纸)。由于它可以制备的很薄, 类似纸张, 且拥有便于携带, 在阳光下可阅读的特点, 使它备受人们欢迎^[1]。

电子纸显示技术的成像原理是通过黑白带电粒子的运动来实现的。有黑色和白色两种带电粒子封装在微小尺寸的胶囊里, 胶囊中充满胶体悬浮液。通过对有源矩阵背板的控制来对像素电极给电, 从而影响黑白带电颗粒的运动, 决定显示状态^[2]。

电子纸显示装置中, 白色粒子带负电, 黑色粒子带正电, 胶体悬浮液呈电中性。当加负电到像素电极, 受到电场力的作用, 黑色颗粒向下运动, 白色颗粒向上运动, 从而从上方观察得到白色显示状态。当需要显示黑色状态时, 电极性相反即可。当不给电时, 颗粒悬浮在胶体悬浮液中不运动, 从而实现双稳态^[3]。于是, 间于白色和黑色灰阶之间的各个灰阶的实现是通过控制给电的极性和给电时间长短^[4]。我们称这种不同的给电状态的组合为驱动波形。当从某一灰阶直接驱动像素到另一灰阶时, 若出现了运动状态的错误和非一致分布的累积, 则会大大的降低电子纸显示的效果, 所以对于驱动波形的研究尤为重要。有关驱动波形的研究有很多^[5-9], 其中关于直流平衡的研究主要集中在当前一状态给多少时长的某极性电极, 后一状态就给多少时长的反向电极去中和^[10]。这种直流平衡的方法是为了减少显示设备在积累电荷下的损耗, 增加使用寿命, 而在某些程度上牺牲了显示效果和增加了响应时间。本文提出了一种新的保持直流平衡的方法, 在此驱动方案的设计过程中, 一个完整的驱动波形设计被分割成两阶段: 一阶段是用于循环补偿直流平衡和激活带电粒子的活性, 二阶段是驱动到目标灰阶。这种方法不仅有效的降低了显示设备的响应时间, 也保证了显示效果。

2 参考灰阶

EPD 装置的结构图如图 1 所示。黑白颗粒的分布状态决定了显示设备的显示灰阶。

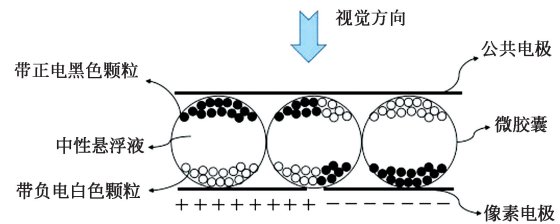


图 1 EPD 装置结构图

Fig.1 Structure of EPD device

在驱动波形的设计过程中, 一定会存在一个参考灰阶的选择。传统的驱动波形一般把白色或者黑色作为参考灰阶, 其它灰阶通过先驱动到白色或者黑色灰阶, 然后在驱动到目标灰阶而得到。如下图 2 所示, 在传统的驱动波形中, 通常是有四个阶段^[5], 图像擦除置白阶段, 置黑阶段, 置白阶段, 驱动显示目标灰阶阶段。其中第一阶段是擦除原有图像, 将显示屏置为白色灰阶; 第二和第三阶段是为了激活带电黑白颗粒的活性, 因为当黑白带电颗粒在胶体悬浮液中稳定态存在时, 胶体黏性会影响颗粒的运动活性, 所以要通过黑白的刷屏来提高黑白颗粒的活性。驱动到目标灰阶之前的状态为白色灰阶, 所以此方法的参考灰阶为白色灰阶。

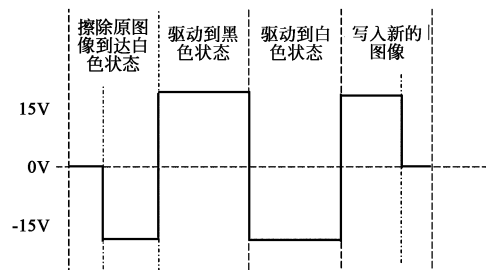


图 2 传统驱动波形设计

Fig.2 Traditional driving waveform in EPD

以白色或者黑色状态作为参考灰阶而不是使用浅灰, 深灰或者间于白色与黑色状态中的任一灰阶作为参考灰阶的原因在于: 带电的黑白粒子的运动在白色或者黑色状态下趋于稳定, 而在其他灰阶下的运动状态并不确定。如图 3 所示, 当电子纸显示器显示的是白色或者黑色的状态时, 带电颗粒位于电子纸显示装置的上下两个极端上, 此时它们已经没有了向某一方向运动的空间, 空间状态趋于稳定。如图 3 中的两个白色带电粒子分别运动了 L_0 , L_1 的距离, 此时即使再施加相

同的电场或者停止施加电压,它们也到了极端区域,没有了运动空间,趋于稳定。当电子纸显示的是浅灰或者深灰等非极端黑色或者白色的情况时,带电颗粒的状态并不稳定,如图 3 中白色带电粒子在前期电场的驱动下,运动了 L_1 的距离,由于此时的带电粒子处于活跃状态,还有向某一方向运动的趋势,则有可能继续运动了 L'_1 的距离。带电颗粒在中性悬浮液中的位置状态即决定了当前的显示状态。所以在选择参考灰阶时,必须选择一个稳定性高的状态作为参考状态,白色和黑色均可。但我们在试验过程中发现,以黑色为参考灰阶时得到的电子纸显示效果要优于以白色为参考灰阶,所以本文中是以黑色为参考灰阶。

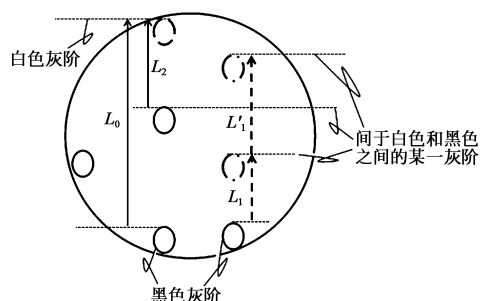


图 3 白色带电颗粒在显示器状态处于不同灰阶时的位置状态

Fig.3 White particles position status when in different gray-levels

3 直流平衡

在电子纸设备的驱动过程中,电泳有色带电颗粒的运动完全是通过电场来控制。如式(1)所示:

$$T = \frac{6\pi d^2 \eta}{V \xi \epsilon} \quad (1)$$

其中: T 是响应时间, d 是电极之间的距离, V 是电极间施加的电压, ξ 是电荷量, ϵ 为悬浮液的介电常数。

当电极间施加的电压极性时长不一致时,微胶囊的内部就会存在残余电荷,形成内部电场。若是短期,并不会对于显示设备有较大影响,但当驱动次数的增加,内部残余电荷积累不断增加,就会对于电子纸的显示效果(产生鬼影)和寿命产生巨大的威胁。所以直流平衡对于驱动波形的设计尤为重要。

本文设计的驱动波形分为 2 个阶段:循环补偿直流平衡和激活颗粒活性,驱动显示下一灰阶。在第一阶段,驱动装置获知像素点前一状态的目标灰阶驱动信号,根据白色状态驱动信号,确定将像素点由前一状态目标灰阶驱动到白色状态所需的白色状态补全信号驱动波形,向像素电极施加相应的白色状态补全信号将像素点驱动到白色状态。然后由白色状态驱动到黑色状态,这两个过程通过给不同极性的电压实现了带电颗粒的激活。其中白色灰阶状态的驱动时长的设计可以通过预设不同长短的驱动时间而得到的显示亮度值的关系来确定。分别测量显示屏从黑色状态到达白色状态,从白色状态到达白色状态,以及白色状态的多次叠加这几种情况下,不同的驱动时长(80 ms, 160 ms, 240 ms, 320 ms, ..., 960 ms)对于最终显示的亮度值的影响。结果如图 4 所示。

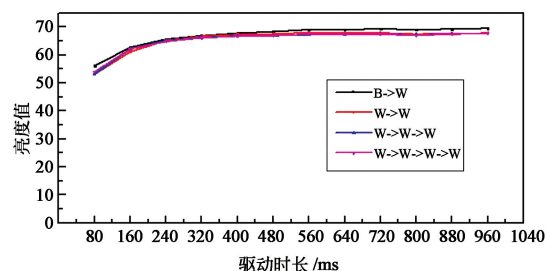


图 4 不同驱动时长下电子纸终态显示亮度值(从黑色状态或白色状态驱动到白色状态)

Fig.4 EPD lightness in different driving times (from black state or white state to white state)

图 4 中 L^* 是通过斜式(2)计算得出:

$$L^* = 116 \times R^{\frac{1}{3}} - 16 \quad (2)$$

式中: R 代表的是电子纸屏幕的反射率。由图 4 可知,当驱动时长为 480 ms 时,电泳显示屏从黑色灰阶或者从白色灰阶为原始灰阶驱动到白色状态时,亮度值稳定,几乎不受原始灰阶的影响。此时可以设定从黑色状态直接驱动到白色状态的驱动时间为 480 ms。

4 驱动方案

由于电泳显示设备中的带电颗粒在中性悬浮液中保持某一位置状态的时间长度不同,悬浮液对于颗粒的粘附性作用效果也就不同,带电颗粒

的活性也会有差异。当保持某一状态的时间比较长时,要改变当前状态所需要的驱动时长相应增加;而当保持某一状态时间较短,颗粒的活性较高,改变当前状态所需的驱动时长就会短一些。为了减少这一方面的影响,在驱动到目标灰阶之前,需要先激活带电颗粒的活性。

本文中的驱动方式,首先在需要确定电子纸驱动到白色状态的最大时间,然后从白色状态驱动到黑色状态,最后从黑色状态(参考灰阶)驱动到目标灰阶。如图 5 所示,其中循环补偿直流平衡到白色状态和从白色状态驱动到黑色状态时目的是为了激活带电颗粒的活性。

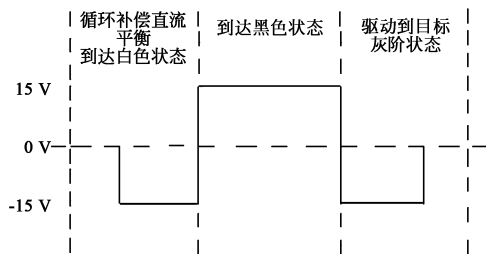


图 5 基于直流平衡的驱动波形设计方案

Fig.5 Driving waveform designing method based on DC-balance

在图 6 中, T_w 代表的是黑色灰阶驱动到白色灰阶的时长, T_b 代表的是白色灰阶驱动到黑色灰阶的时长, B 代表黑色状态, LG 代表浅灰状态, W 代表白色状态。从 $B \rightarrow LG \rightarrow W \rightarrow B$, 就是一个完整的不可减少的灰阶循环, 在这个循环中必须达到直流平衡。则采用的在 $B \rightarrow LG$ 的驱动阶

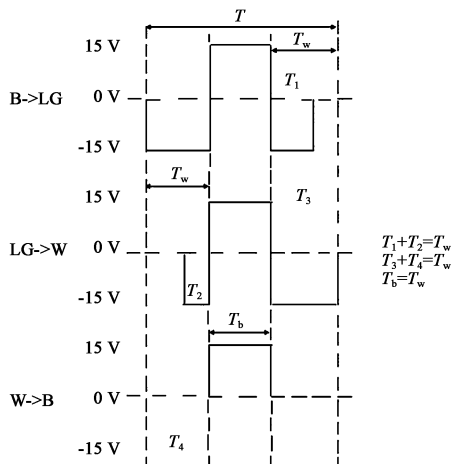


图 6 基于文中驱动波形设计方案设计的具体例

Fig.6 Example of this driving waveform designing method

段的时间 T_1 , 与下一次灰阶变换的 $LG \rightarrow W$ 的直流补偿阶段的驱动时长 T_2 , 形成一定的约束关系, $T_1 + T_2 = T_w$, 从而保持直流平衡。图 6 所示的这种驱动方式, 使得在一个完整的灰阶循环的过程, 像素电极给定的正向电压的时间与负向电压的时间相同, 有效的达到了直流平衡。

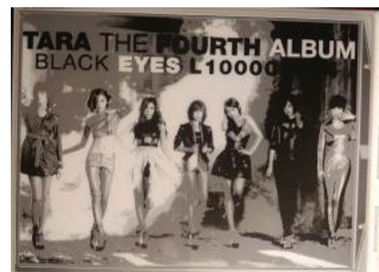
5 结果和分析

采用文中的驱动方案, 得到的商用 E-ink 电子纸显示效果图如图 7 所示。能够得到清晰的四阶图像和带有文字图像, 很好的完成了电子纸的驱动。采用传统的驱动波形设计方法和文中提出的新的设计方法得到驱动波形两种方式来驱动电子纸显示设备, 同时用色度计实时采集亮度值, 可以得到两种驱动方式下刷屏时间和亮度的关系。如图 8 所示, 在传统的驱动方式(黑色实线)和文中提出的新的驱动方式(红色虚线)的驱动下, 显示屏从浅灰状态到浅灰状态刷屏变换。横轴表示的是刷屏的时间长度。纵轴代表的是亮度, 取值范围为 $0 \sim 100$ 。其中全白色状态为 100, 全黑色



(a) 显示四阶灰度的图像

(a) Four gray-levels



(b) 带有文字显示的图像

(b) Image has text

图 7 图像显示效果

Fig.7 Image effect

状态为 0。实际上,电子纸的亮度范围约为 20~75 之间,在此范围内的亮度值会比较稳定。新的驱动方案可以降低约 200 ms 的刷屏时间(虚线与横轴交点的时间差值)。绿色箭头代表的是传统驱动方式下闪烁的产生,黄色箭头代表的是新的驱动方式下闪烁的产生,新的驱动方式减少了 25% 的刷屏闪烁次数,提高了人眼的舒适度。

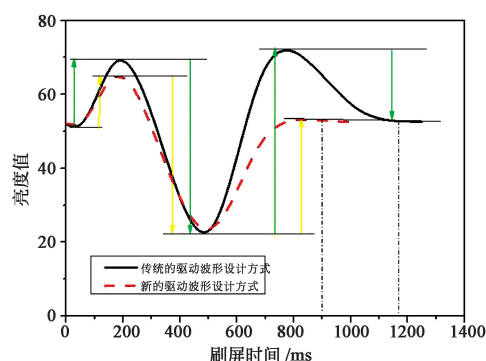
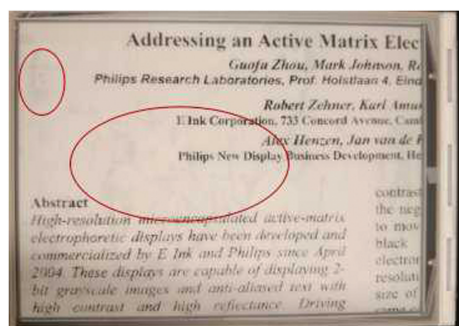


图 8 在传统驱动波形和文中新的驱动波形两种方式下,电子纸屏刷屏时间的对比

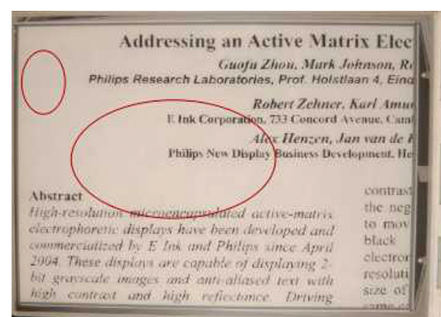
Fig.8 Refresh times of EPD under different driving waveforms



(a)是传统驱动波形设计方式下

(a) using traditional waveforms

多次刷屏以后,鬼影残留情况的效果图如图 9 所示。可知在传统的设计方法设计的驱动波形驱动下,多次刷屏后,显示屏的鬼影较为明显,如图 9(a)所示。采用新的驱动波形设计方案后,显示屏的鬼影大大减轻,如图 9(b)所示。



(b)是新的驱动波形设计方式下

(b) Using new driving waveforms

图 9 在多次刷屏后,显示屏鬼影残留情况

Fig.9 Degree of ghost residue after refresh several times

6 结 论

本文针对电泳显示系统的驱动方式进行了研究,提出了一种新的驱动方案。以商用的 E-ink 电泳显示屏为研究对象,通过实验验证新的驱动方案,结果证明新的驱动方案能够驱动电子纸正确的显示 4 阶灰度图像和带文本图像,而且相较于传统的驱动方式,考虑到了直流平衡,消除残留电荷积累对于电泳显示屏的损害,减少鬼影产生,同时也提高了刷屏速度,减少了 25% 的刷屏闪烁。

参 考 文 献:

- [1] ZHOU G F, JOHNSON M T, CORTIE R, et al. Driving schemes for active matrix electrophoretic displays [C]// *Proceedings of IDW' 03*, Utsunomiya, Japan: SID, 2003: 239-242.
- [2] KAO W C. Electrophoretic display controller integrated with Real-Time halftoning and partial region update [J]. *Journal of Display Technology*, 2010, 6(1): 36-44.
- [3] 周国富,易子川,王利,等.电泳电子纸驱动波形研究现状与前景[J]. *华南师范大学学报(自然科学版)*, 2013, 45(6): 56-61.
ZHOU G F, YI Z C, WANG L, et al. Present situation and prospect of the driving waveform for electrophoretic display [J]. *Journal of South China Normal University (Natural Science Edition)*, 2013, 45(6): 56-61. (in Chinese)

- [4] AMUNDSON K, SJODIN T. Achieving graytone images in a microencapsulated electrophoretic display [C]//*Proceedings of SID' 06*, SID, San Francisco, 2006: 1918-1921.
- [5] JOHNSON M T, ZHOU G F, ZEHNER R, *et al.* High-quality images on electrophoretic displays [C]//*Proceedings of SID' 06*, Boston, USA: SID, 2006: 175-180.
- [6] YI Z C, BAI P F, WANG L, *et al.* An electrophoretic display driving waveform based on improvement of activation pattern [J]. *Journal of Central South University*, 2014, 21(8): 3133-3137.
- [7] ZHOU G F, JOHNSON M T, ZEHNER R, *et al.* Perspectives and challenges of electrophoretic displays [C]//*Proceedings of IMID*, Seoul, Korea: IMID, 2005: 236-240.
- [8] BERT T, DE SMET H, BEUNIS F, *et al.* Complete electrical and optical simulation of electronic paper [J]. *Display*, 2006, 27(2): 50-55.
- [9] KAO W C, CHU M I, YE J A, *et al.* Design of flexible electrophoretic display controller with reduced waveform lookup tables [C]//*Proceedings of IEEE International Conference on Consumer Electronics*, NV, USA: IEEE, 2010: 49-50.
- [10] 刘先明, 王利, 易子川, 等. 基于直流平衡的电子纸驱动方法的研究 [J]. *华南师范大学学报(自然科学版)*, 2015, 47(3): 10-13.
LIU X M, WANG L, YI Z C, *et al.* Research on electronic paper driving schemes based on DC balance [J]. *Journal of South China Normal University (Natural Science Edition)*, 2015, 47(3): 10-13. (in Chinese)
- [11] KAO W C, CHANG W T, YE J A. Driving waveform design based on response latency analysis of electrophoretic displays [J]. *Journal of Display Technology*, 2012, 8(10): 596-601.

作者简介:段飞波(1991—),女,湖南衡阳人,硕士研究生,2014 年于华南师范大学就读硕士学位,主要从事类纸显示技术优化和图像处理方面的研究。E-mail: fbduan@163.com

白鹏飞(1977—),男,山西人,副研究员,2007 年于华南理工大学获得硕士学位,2010 年于华南理工大学获得博士学位,主要从事显示技术和电子技术应用方面的研究。E-mail: baipf@scnu.edu.cn