

文章编号:1007-2780(2009)04-0552-05

基于 Tracepro 软件的 LCD TV 直下式背光源均匀性仿真

李郑阳^{1,2}, 冯仕猛¹

(1. 上海交通大学 物理系, 上海 200240, E-mail: seaver_li@163.com;

2 上海广电光电子有限公司, 上海 200223)

摘 要: 采用 Tracepro 软件模拟背光源不均匀现象时, 模拟结果与人眼实际观察之间存在差异。分析了造成二者之间差异的原因, 根据韦伯定律最小可觉差概念, 提出了应用于判断液晶显示器背光源均匀性的公式。将该公式拟合得到的人眼实际观察图与 Tracepro 的模拟追迹图相对比, 以二者吻合度判断 Tracepro 参数设置的正确性。该仿真方法将 Tracepro 软件模拟与人眼实际观察结合起来, 可帮助设计者在开发阶段更好地对产品进行评估。

关 键 词: Tracepro; 差别感觉阈限; 分辨率

中图分类号: TN27 **文献标识码:** A

1 引 言

LCD TV 目前大多数采用直下式背光源, 该方式具有光能利用率高、结构简单等特点。在直下式背光源设计中, 光源与扩散板之间的距离是一个重要参数, 该参数对背光源的均匀性有很重要的影响。距离太远会造成背光模组厚度增加, 与目前 LCD 轻薄的发展趋势不符; 距离太近则容易产生不均匀现象。目前, 对于这种不均匀现象的判别通常是先量测屏幕上规定点位置的亮度, 以最高亮度与最低亮度的比值作为均匀性的规格, 然后再通过人眼的实际观察, 最终确定屏幕显示的均匀性。由于个体之间存在差异, 不同的人对相同画面的评价会有较大差别, 因此, 如何将人眼实际观察的结果量化, 消除观察个体之间的差异是这一领域亟待解决的问题。西安电子科技大学的屈胜利教授等研究了人眼检测荫罩均匀度的原理及能力, 得到了人眼察觉荫罩不均匀度的上限, 为图形发生器测控系统等性能指标的确定提供了“人”这一环节的定量依据^[1]。NASA Ames Research Center 的 Watson 教授提出了一种名为 Spatial Standard Observer (SSO) 的方法, 解决了人眼观察量化的问题^[2]。

在开发初期没有实际样品的情况下, 如果需要对所开发产品的均匀性做评估, 可以借助光学

模拟软件。Tracepro 作为一款光学模拟软件, 其功能正是可以在开发初期对设计参数进行确认。但是, 由于 Tracepro 的模拟效果没有和人眼观察相对应的条件, 因此无法通过 Tracepro 模拟得出等同于人眼直接观察到的画面, 对设计开发造成了一定的难度。本文介绍了一种基于 Tracepro 软件来模拟仿真直下式背光源不均匀性的方法, 通过将 Tracepro 模拟的数据代入与人眼观察适配的公式进行计算, 重新拟合出人眼实际观察图, 并与 Tracepro 的模拟追迹图进行对比, 以二者吻合度判断 Tracepro 参数设置的正确性, 从而帮助设计者在开发阶段更好地对产品进行评估。

2 模拟方法

实验测定, 初次察觉出来的光度变化同这种光度原有水平的比始终是一个常数。这种觉察出两个刺激间的最小差别量, 叫做差别感觉阈限, 也可叫做最小可觉差。即: $\frac{\Delta I}{I} = K$, 式中 ΔI 是刺激物的增加量, I 是刺激物的原有水平^[3]。这一规律由 19 世纪德国生理学家韦伯发现, 称韦伯定律, $K=0.017$ 。

根据以上理论, 在 LCD TV 直下式背光源中, 人眼之所以会观察到不均匀的现象, 就是因为两块区域之间的亮度差与其自身亮度的比值超过

了人眼的最小可觉差。理论上,只要将两块区域的亮度测量出来,然后代入上述公式求出 k 值,如果超过 0.017 即可判定背光源存在不均匀现象;但是,由于背光源每个点亮度并不一致,并且不均匀现象也是呈现一种渐进过渡的方式而没有明显的分界区域,因此无法通过直接量测两块区域亮度的方法来判断是否有不均匀现象,需要采取新的方法来解决该问题。本文采用多点平均近似的方法,经过试验验证取得了良好的效果^[4]。

将 LCD 背光源分成若干个区块,将每一点与其相邻 8 点分别计算其 K 值然后取平均,即可得出该点的平均 K 值,如图 1 所示。该方法的关键

在于采样密度,由于需要达到人眼的观察效果,因此采样密度需接近人眼对于亮度的分辨率。如果采样密度过高,两点之间的亮度过于接近,那么计算得出的 K 值必然小于 0.017,无法区分出明暗不均的区域;反之,如果采样密度过低,计算得出的 K 值必然大于 0.017,也无法反映人眼真实的观察效果。一般认为人眼的分辨角为 $1.5'$,当观察距离为 500 mm 时,分辨率为 0.22 mm。另外,亮度差异相同的两点在不同距离时的观察效果也不一样,距离较近时容易观察出区别,较远则不易。因此将 L_k 至对角线四点(L_1, L_3, L_6, L_8)的距离除以因子 $\sqrt{2}$,以抵消不同距离的影响,得到公式(1)。

$$K = \frac{|L_k - L_2|/L_2 + |L_k - L_4|/L_4 + |L_k - L_5|/L_5 + |L_k - L_7|/L_7}{8} + \frac{|L_k - L_1|/\sqrt{2}L_1 + |L_k - L_3|/\sqrt{2}L_3 + |L_k - L_6|/\sqrt{2}L_6 + |L_k - L_8|/\sqrt{2}L_8}{8} \tag{1}$$

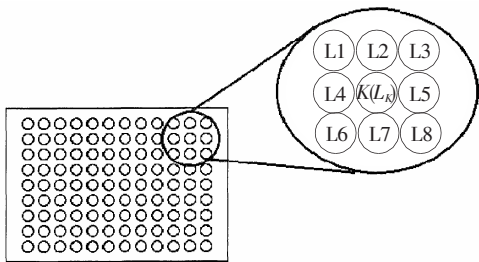


图 1 完度采样点示意图

Fig. 1 Diagram of brightness sampling

其中 K 为韦伯定律中最小可觉差, L_k 为画面上某一点亮度, $L_1 \sim L_8$ 分别与 L_k 相邻 8 点的亮度。

基于以上方法可以将 Tracepro 中模拟得出的亮度数据代入该公式,计算出每一点的 K 值, K 值超过 0.017 的部分即为明暗差异的分界区域。通过此方法可以将 Tracepro 模拟效果与人眼观察相结合,使 Tracepro 的模拟更加精确。

3 Tracepro 模拟

3.1 直下式背光源模型

图 2 为直下式背光源截面示意图,几何参数为:冷阴极灯管至扩散板的距离为 d_1 ;灯管之间的间距 $d_2 = 25.8$ mm;CCFL 灯管直径为 3.4 mm;光通量设为 580 lm。发光方式为朗伯型发光

(Lambertian)。漫反射片参数设置采用 Tracepro 中默认的 diffuser white,反射率为 99%。扩散板参数使用目前量产品测量的 BSDF 参数,雾度为 60%。

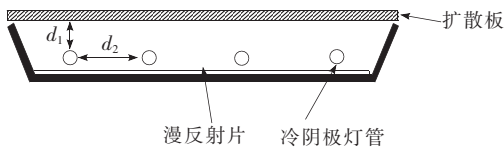


图 2 直下式背光源截面示意图

Fig. 2 Section of LCD direct backlight

3.2 Tracepro 参数设置

使用 Tracepro 4.1 以上 Luminance/Radiance Ray Tracing 功能可以直接模拟出背光源表面的亮度。目标面的长宽设为 40 mm×10 mm,并且横跨两根冷阴极管以方便观察不均匀现象的变化。目标面(Target position)设置在扩散板表面,观察面(Eye position)设置在距离目标面 500 mm 处。模拟的关键参数在于光线追迹数量(Quality)和分辨率(Pixel Width)。

3.3 光源与扩散板距离为 8 mm 时的模拟

设光源与扩散板的距离 $d_1 = 8$ mm,此时由于光源与扩散板距离较近,所以从实际样品图中明显观察到不均匀现象,见图 3。

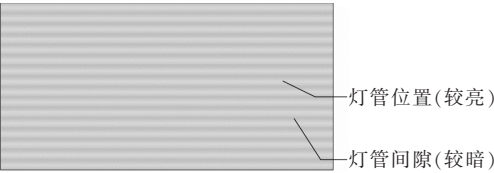


图 3 光源与扩散板距离 8 mm 时样品图

Fig. 3 Distance between light source and diffuser plate (8 mm)

根据人眼分辨率的大小,将分辨率设置为 0.22 mm,光线追迹数量为 20 000,追迹后 Tracepro 亮度分布图如图 4 所示,两边白色发亮区域为灯管所在位置,中间暗区为两灯管之间的间隙,明暗有一段过渡区域。

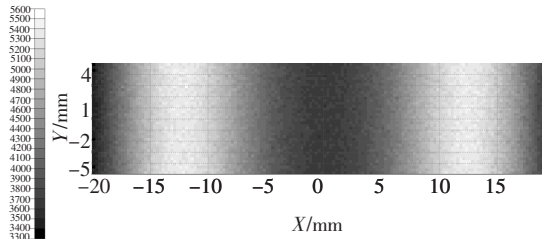


图 4 光线追迹数量为 20 000 的追迹图

Fig. 4 Diagram of tracing with light tracing number being 20 000

为了确认图 4 的模拟结果是否与人眼实际观察相符,将其模拟得出的亮度数据代入公式(1),计算每点 K 值,使用 Excel 条件格式将超过 0.017 的用黑色标示,重新拟合得到图 5。根据韦伯定律,两个刺激间的最小差别量超过常数 K 之后,人眼就能观察到它们之间的明暗差异。为适合人眼观察,在此将两个刺激的大小定义为人眼分辨率,即 0.22 mm。两边白色发亮区域亮度很高,两刺激间亮度差异很小,人眼察觉不出两刺激之间的差异;同样,中间区域很暗,两刺激间亮度差异也很小,人眼也察觉不出两刺激之间的差异。但是在明暗过渡的区域,两刺激间亮度差异增大,人眼会感觉到明暗差异,因此应该只有在明暗过渡区域的 K 值会超过 0.017,在图中显示为黑色。但是由图 5 看出,黑色出现位置与明暗过渡区域不符,因此说明由图 4 得到模拟结果与人眼实际观察存在差异,Tracepro 参数设置不当。

分析参数设置不当的原因主要有两方面,一方面, $K=0.017$ 是在特定的环境下得出的试验

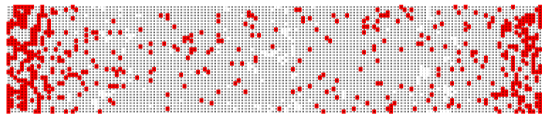


图 5 光线追迹数量为 20 000 的人眼实际观察图

Fig. 5 Excel diagram of tracing with light tracing number being 20 000

结果,是人眼最小可察觉差。但是在观察 LCD 画面时,受周围环境如照度、眩光、颜色以及 LCD 屏幕本身的影响,人眼的观察灵敏度会有所下降^[5],因此 K 值需要相应下调。另一方面,一般认为人眼分辨明暗的分辨率为 0.22 mm,但是分辨率也会因环境的影响而有所下降。因此,接下来将降低分辨率进行模拟。

3.4 分辨率对模拟效果的影响

根据上述造成差异的原因调整分辨率,将分辨率降低为 0.5 mm,分辨率降低后需相应提高光线数量才能得到比较真实的亮度值,将光线追迹数量设置为 40 000。结果如图 6 所示。

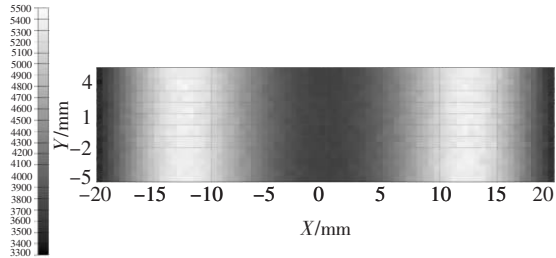


图 6 分辨率为 0.5 mm,光线追迹数量为 40 000 的追迹图。

Fig. 6 Diagram of tracing with light tracing number being 4 000, resolution being 0.5 mm.

同样将其模拟得出的亮度数据代入公式(1),按公式(1)计算每点 K 值,使用 Excel 条件格式将超过 0.017 的用黑色标示,拟合得到图 7。从图 7 看出黑色区域只出现在了明暗过渡的区域,符合韦伯定律,因此图 6 较图 4 更接近于人眼实

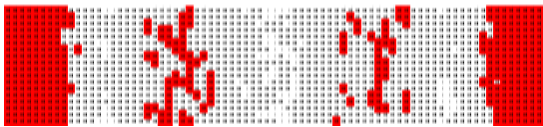


图 7 分辨率为 0.5 mm,光线追迹数量为 40 000 的 Excel 图。

Fig. 7 Excel diagram of tracing with light tracing number being 40 000, the resolution being 0.5 mm.

际观察的结果。但事实上图 6 与图 4 非常相似,因此仅凭 Tracepro 的模拟图形无法判断模拟结果是否与人眼实际观察相符,需要配合公式(1)进行验证。

3.5 光源与扩散板距离 20 mm 时的模拟

前面探讨了光源与扩散板距离 8 mm 时明暗差异比较明显时的模拟情况,通过恰当的参数设置可以使 Tracepro 较好地模拟人眼实际观察的效果。但在实际运用中为了使整个背光源比较均匀,光源与扩散板的距离会稍远一些, $d_1=20$ mm 左右。因此,采用和之前相同的背光源模型,只将光源与扩散板距离调整为 20 mm,分辨率设置为 0.5 mm 不变,光线追迹设置为 Custom,数量为 40 000,结果如图 8 所示。从图中看出不均匀现象较图 4、图 6 已经有明显改善,但是中间部分仍然有一个暗带,根据此前结论,无法由此判断在人眼实际观察时是否还会有此暗带。

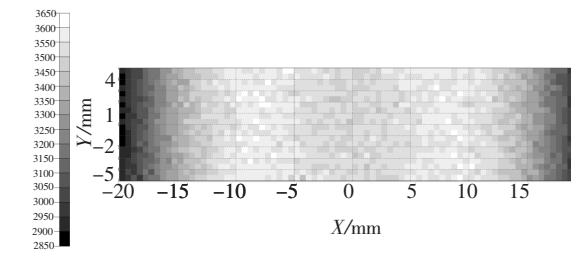


图 8 分辨率为 0.5 mm,光线追迹数量为 40 000 的追迹图。

Fig. 8 Diagram of tracing with light tracing number being 4 000,when the distance between light source and diffuser is 20 mm,resolution is 0.5 mm.

同样,将模拟数据带入公式(1)计算并在 Excel 中拟合后得到图 9,从图 9 可以看出,明暗过渡区域已经变成了白色,表明 K 值小于 0.017,说明实际已经看不到不均匀现象,但图中仍有少量零星的黑色,其原因是:

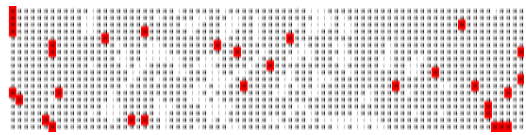


图 9 光源与扩散板距离 20 mm,分辨率为 0.5 mm,光线追迹数量为 40 000 的 Excel 图

Fig. 9 Excel diagram of tracing with light tracing number being 40 000 when the distance between light source and diffuser plate is 20 mm, resolution is 0.5 mm.

(1)追迹数量仍然不够。由于 Tracepro 模拟耗时较长,通常需要数百小时,所以需要进行一定的简化;

(2)不均匀的区块面积小到一定程度时人眼已经无法观察,但是在模拟中点与点之间的差异仍然会反映出来,因此也需要根据一定的经验辅助判断。

4 结 论

实验结果表明,将 Tracepro 模拟与匹配人眼实际观察效果的公式相结合,有助于更精确地确定 Tracepro 仿真参数。由此得到以下结论:

(1)公式(1)有效解决了 Tracepro 模拟仅得到 LCDTV 直下式背光源亮度分布的趋势,却与人眼的实际观察效果有差异的缺陷;

(2)使用 Tracepro 模拟 LCD TV 直下式背光源亮度分布时,不同的分辨率和追迹数量对模拟亮度值有较大影响,可通过公式(1)对模拟结果进行验证,当分辨率为 0.5 mm,光线追迹数量为 40 000 时可以获得与真实较为接近的亮度值;

(3)韦伯定律中的 K 值和一般认为的人眼分辨率都是在特定环境下得出的极值,在实际情况中由于环境的影响会有所下降,可根据经验进行适当修正。

参 考 文 献:

[1] 屈胜利,朱欣志,陈怀琛. 图形发生器荫罩母版制版均匀性研究 [J]. 西安电子科技大学学报,1999,26(4): 406-410.

[2] Watson Andrew B. The spatial standard observer: A new tool for display metrology[J]. Information Display, 2007,23(1):12-15.

[3] 应根裕,胡文波,邱勇. 平板显示技术 [M]. 北京:人民邮电出版社,2002:21-22.

[4] 李郑阳,陈明容. 测量发光画面亮度均匀性的方法:中国, CN200710141775[P]. 2008-01-09.

[5] 季卓莺,邵红,林燕丹. 暗适应时间、背景亮度和眩光对人眼对比度阈值影响的探讨 [J]. 照明工程学报,17(4):1-4, 15.

Uniformity Simulation of LCD TV Direct Backlight Based on Tracepro

LI Zheng-yang^{1,2}, FENG Shi-meng¹

(1. Department of Physics, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China, E-mail: seaver_li@163.com;
2. SVA Optronics Co. Ltd., Shanghai 200233, China)

Abstract

This paper researches the difference between tracepro simulation and human eyes observation in uniformity of LCD TV direct backlight. In order to make the simulation result reflects the true situation, the data simulated by tracepro was put into the formula that adapt to the human eyes observation, the Weber coefficient of each sampling point was calculated. Comparing with the vision’s Weber coefficient 0.017, it is determined whether or not there will be nonuniformity, then re-fitting the new graph of backlight uniformity. This can help the designer evaluate the product better in design step.

Key words: Tracepro; sensory threshold; resolution

作者简介:李郑阳(1981—),男,贵州贵阳人,硕士研究生,研究方向:LCD 背光源设计。



文章编码的识读

为了便于期刊文章的检索、查询、全文信息索取和远程传递以及著作管理,凡具有文献标识码的文章均可标识一个数字化的文章编号,其中 A(理论与应用研究学术论文(包括综述报告))、B(实用性技术成果报告(科技)、理论学习与社会实践总结(社科))、C(业务指导与技术管理性文章(包括领导讲话、特约评论等))三类文章必须编号。

文章编号由期刊的国际标准刊号、出版年、期次号及文章的篇首码和页数五段共 20 位数字组成,其结构为:XXXX-XXXX(YYYY)NN-PPPP-CC, 其中 XXXX-XXXX 为文章所在期刊的国际标准刊号(ISSN),YYYY 为文章所在期刊的出版年,NN 为文章所在期刊的期次,PPPP 为文章首页所在期刊页码,CC 为文章页数,“-”为连字符。该编号在全世界范围内是该文章的惟一标识。

文章编号由各编辑部给定,中文文章编号的标识为“文章编号:”或[文章编号]。如:文章编号:1007-2780(2003)02-0097-04 为发表在《液晶与显示》2003 年第 2 期第 97~100 页(共 4 页)上题为“液晶中聚合物网络的形貌研究”(作者:杨文君等)一文的文章编号。