

文章编号:1007-2780(2011)02-0241-05

体三维显示中像素均匀性优化的参数选取

陈华殷,郭太良*,姚剑敏,林志贤,徐 胜

(福州大学 物理与信息工程学院,福建 福州 350002)

摘 要: 针对 LED 旋转屏体三维显示中,体像素在水平方向呈现“外疏内密”的非均匀分布的问题,提出一种均匀性优化的改进方法。将预设的点阵模板加载于体像素分布图中,为每个模板点保留与它距离最近的体像素,使体像素的分布近似于点阵模板。优化中,以模板点和离它最近的体像素间的平均距离、最大距离衡量优化效果,结合系统对优化效果的要求以及二维截面数和 LED 列间距的限制关系来计算满足条件的截面数和列间距,最终选取 LED 用量最小的列间距及对应的截面数。

关 键 词: 体像素;均匀性;优化效果;二维截面

中图分类号: TN27 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3788/YJYXS20112602.0241

Selection of Parameters in Voxels' Uniformity Optimization of Volumetric 3D Display

CHEN Hua-yin, GUO Tai-liang*, YAO Jian-min, Lin Zhi-xian, XU Sheng

(College of Physics and Information Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: In the volumetric 3D system based on rotating LED panel, voxels present an uneven distribution of being dense inside and sparse outside in the horizontal position. An improved method for uniformity optimization is proposed in this paper, which includes loading a default dot matrix template in the voxels' distribution picture and preserving voxels nearest to the dots to make the voxels' distribution similar to the template. In the optimization, the average distance and the maximum distance between the dot and its nearest voxel are used to measure optimization effect. Considering the system's need for optimization effect and the restricted relationship between the number of two-dimensional slices and the LED column spacing, the number and spacing are calculated, and finally the column spacing that uses the smallest amount of LED and its corresponding number of slices are chosen.

Key words: voxel; uniformity; optimization effect; two-dimensional slices

1 引 言

三维显示是对客观物体固有的三维信息进行记录、处理和再现的过程,能显示出占据真实体积空间的三维图像信息的三维显示称为体三维显

示^[1]。基于二维 LED 点阵屏的体三维显示系统,可通过高速旋转显示屏再现三维物体^[2]。由于外围 LED 的旋转圆周要长于内围 LED,所以体像素在水平方向上呈现“外疏内密”的非均匀分布。关于体像素的均匀性优化,现在主要有基于均匀

收稿日期:2010-10-07; 修订日期:2010-12-01

基金项目:国家“863”计划平板显示重大专项(No. 2008AA03A313);福建省自然科学基金(No. 2010J01333);福建省教育厅资助重点项目(No. JA09003)

作者简介:陈华殷(1985—),男,福建福州人,硕士研究生,主要从事三维显示、图像处理方面的研究。

* 通讯联系人, E-mail:gtl_fzu@yahoo.com.cn

分布的点阵模板,寻找与模板点“位置近似”的体像素的方法^[3]和基于体像素体积均匀化的方法^[4],但这两种方法均未提出优化效果的衡量指标,并未对影响优化效果的参数进行深入分析和合理选取。

本文分析了旋转形成的 LED 体像素在水平方向分布不均匀的原因,并在参考文献^[3]的基础上提出均匀性优化的改进方法,以模板点和离它最近的体像素间的平均距离、最大距离衡量优化效果,分析二维截面数和 LED 列间距这两个参数对优化效果的影响并根据系统对优化效果的具体要求,寻求合理的参数值,再对均匀性进一步优化。

2 旋转三维显示原理及体像素的空间分布

2.1 旋转三维显示原理

人眼具有视觉暂留特性,当看到的影像消失后,仍能保留该影像 0.05~0.2 s 的时间。实验表明,当实际光源的闪烁频率超过 10 Hz 时,给人的感觉是连续发光体而非闪烁体^[5-6]。基于该特性,利用电机带动二维 LED 显示屏周期性旋转,形成具有一定大小的圆柱体空间,以及按时序依次出现的、位于不同方位的二维截面;同时,寻址驱动电路根据显示需要调制不同截面的 LED 阵列的发光状态,形成一系列携带原始三维图形体像素信息的二维图像。当电机转速超过 10 r/s 时,这些二维截面序列就会在人眼中复合成连续的三维图形^[7]。

2.2 体像素的空间分布

通过旋转二维 LED 显示屏,可实现面像素向体像素的转换。面像素和体像素的关系在柱坐标系中可描述为:水平高度为 h 、轴向距离为 r 的面像素旋转后形成的所有体像素,均位于 h 高度处以 r 为半径的圆周上,体像素的个数等于二维截面数^[8]。图 1(a)和图 1(b)分别为体像素分布的立体图和俯视图。从图 1(a)可以看出,体像素在 Z 轴方向等间隔排布,分布十分均匀。但从图 1(b)可以看出,体像素在水平方向呈现“外疏内密”的非均匀分布,并且越外围的体像素排布越稀疏。这是由于不同旋转圆周上的体像素个数都相同,但外围圆周的周长较长,造成相邻体像素的间距较大。用 N 表示二维截面数, l 表示半径为 r 的旋转圆周上相邻两个体像素的距离,则:

$$l = 2r\sin(\pi/N) \quad (1)$$

可以看出, l 和 r 成正比关系。

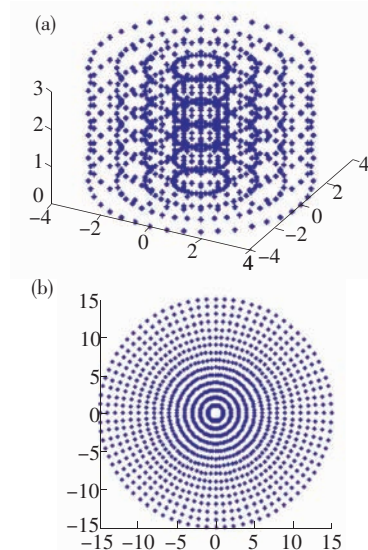


图 1 (a)体像素分布立体图;(b)体像素分布俯视图。
Fig. 1 (a) Stereogram of voxel distribution; (b) Top view of voxel distribution.

3 体像素均匀性优化

3.1 均匀性优化的方法分析

体像素在水平面的“外疏内密”,不仅会影响体像素分布的显示效果,还会使内部区域过亮。均匀性优化的基本方法^[3]是将预设的点阵模板(如图 2 中小点所示)加载于图 1(b)中,然后为每个模板点寻找与它距离最近的体像素,当两者的距离值在预设范围内时,就将该体像素保留下来,否则舍去。由于保留下来的体像素的分布近似于点阵模板,所以它们的均匀性就会有较大提高。

用 $d_1, d_2, d_3 \cdots d_n$ 表示不同模板点和离它最近的体像素的距离, D 表示平均距离,有:

$$D = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \cdots d_n}{n} \quad (2)$$

用 λ 表示预设平均距离, ϵ 表示预设最大距离。在实际应用中为了更好地显示三维图像的细节,希望寻找到的体像素都能保留下来,这就要求 $d_1, d_2, d_3 \cdots d_n$ 中的最大值 $d_{\max}$ (实际最大距离)不大于 ϵ 。本文使用 D 和 $d_{\max}$ 来衡量优化效果,它们越小说明体像素和模板点的总体位置偏差越小,那么优化的效果就越好,但相应需要更多的二维截面和 LED。进行均匀性优化的具体方法是根据系统预设的模板、 ϵ 和 λ ,在满足

$$D \leq \lambda, d_{\max} \leq \varepsilon \tag{3}$$

的条件下,寻求二维截面数和 LED 列间距的合理值,并对均匀性进一步优化。

3.2 均匀性优化的计算方法

以图 2 为例来说明均匀性优化的计算方法。图 2 中,小点表示模板点阵,大点表示 LED 屏上的体像素。设模板点阵的间距为 L ,LED 阵列的列间距为 tL (t 为 L 的系数),点 $M(xL, yL)$ 为任意一个模板点,它位于两个相邻的二维截面的中间(包括在截面上),图中用 OS_1 、 OS_2 表示这两个截面的部分俯视图,可以找出 4 个与 M 点最邻近的体像素 A_1 、 A_2 、 B_1 、 B_2 ,且 A_1 和 A_2 、 B_1 和 B_2 都分别位于同一旋转圆周上。下面则从这 4 点中查找距离 M 点最近的体像素并计算它和 M 点之间的距离 d 。设相邻两个二维截面的夹角为 α ,用 $[R]$ 表示实数 R 的整数部分(下同),则:

$$\theta_1 = \theta - [\theta/\alpha]\alpha, \quad \theta_2 = \alpha + [\theta/\alpha]\alpha - \theta$$

其中,

$$\alpha = 2\pi/N, \theta = \arctan(y/x) \tag{4}$$

若 $\theta_1 \leq \theta_2$, 则 $MA_1 \leq MA_2, MB_1 \leq MB_2$, 就有

$$d = \min\{MA_1, MA_2\} \tag{5}$$

其中

$$\begin{aligned} MA_1 &= \sqrt{OM^2 + OA_1^2 - 2 \cdot OM \times OA_1 \times \cos\theta_1} \\ MB_1 &= \sqrt{OM^2 + OB_1^2 - 2 \cdot OM \times OB_1 \times \cos\theta_1} \\ OM &= \sqrt{x^2 + y^2}L, \quad OA_1 = \left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{t}\right)tL \\ OB_1 &= \left[\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{t}\right]tL + tL \end{aligned} \tag{6}$$

同理,若 $\theta_1 > \theta_2$, 可以通过比较 MA_2 和 MB_2 的大小得到 d 值。需要说明的是,由于均匀化后水平方向体像素的间距近似为 L ,为了体像素在水平方向、 Z 轴方向等间隔分布,LED 的行间距应取 L 。

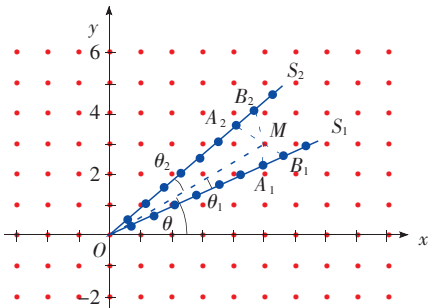


图 2 体像素均匀性优化

Fig. 2 Voxels' uniformity optimization

4 N 和 t 对 $d_{\max}$ 、 D 的影响以及合理选取

从公式(4)、(5)、(6)看出, N 和 t 是影响 $d_{\max}$ 和 D 的两个参数。下面以 $31L \times 31L$ 的模板为例分析 N 和 t 对 $d_{\max}$ 、 D 的影响,以及 N 和 t 在电路上的限制关系,最后根据系统预设值的要求选取合适的参数值来实现均匀性优化。在选取 N 时,为了使二维截面能经过两坐标轴,从而让校正后的体像素关于原点对称, N 取为 4 的倍数。

4.1 N 和 t 对最大距离 $d_{\max}$ 和平均距离 D 的影响

图 3(a)和图 3(b)分别表示 $d_{\max}$ 和 D 随 N 、 t 的变化图(N 从 40 变化到 800,每隔 4 取一个数; t 从 0.05 变化到 2.5,每隔 0.025 取一个数)。从图 3(a)可以看出, $d_{\max}$ 总体上随着 N 的增大和 t 的减小呈减小趋势。同时图像还有如下特点:当 N 取较小值时, N 的增大使 $d_{\max}$ 明显减小, t 的增大使 $d_{\max}$ 变化较小;当 N 取较大值时, N 的增大使 $d_{\max}$ 变化较小, t 的增大使 $d_{\max}$ 明显增大,且两者的关系近似为 $d_{\max} = 0.5tL$ 。产生上述现象的原因是:当 N 较小时,两个相邻截面的间距是影响 $d_{\max}$ 的主要因素,此时 t 的变化对 $d_{\max}$ 影响较小,只有当 N 增大时才能减小截面的间距从而使

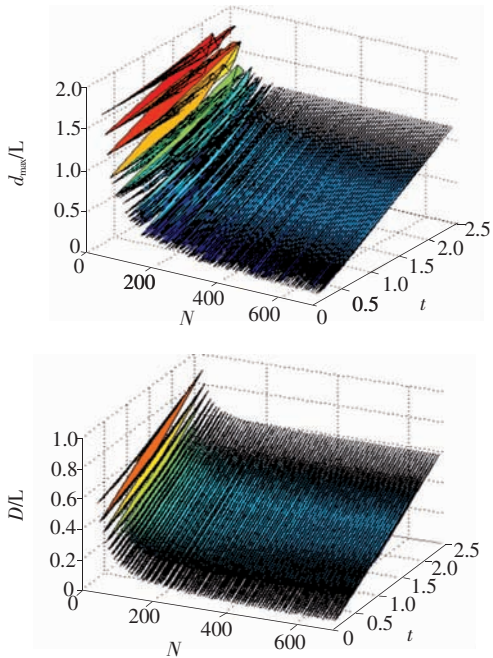


图 3 (a) $d_{\max}$ 随 N 和 t 的变化; (b) D 随 N 和 t 的变化。
Fig. 3 (a) 3-D curve of $d_{\max}$ with N and t ; (b) 3-D curve of D with N and t .

$d_{\max}$ 减小;当 N 较大时,可以认为各个模板点都近似位于相应的二维截面上,并且近似位于两个相邻体像素中点的模板点取到最大的距离值,即 $d_{\max}=0.5tL$,此时 $d_{\max}$ 随 t 线性变化, N 的变化对 $d_{\max}$ 影响较小。对于图 3(b)中 D 的变化情况,也可进行类似的分析。

4.2 N 和 t 在硬件电路中的限制关系

LED 阵列的显示采用行扫描方式,即轮流选通各行,同时列数据端口将各行对应的 LED 的状态数据输出。由于 LED 的列数目较多,受主控芯片 I/O 口数目限制,不能使各列同时显示。为此把主控芯片的 8 个 I/O 口连接到多个数据锁存器的 8 个数据输入端,每个锁存器的数据输出端控制 8 列 LED 的显示,然后芯片在轮流选通各个锁存器的同时,将其对应的列数据从 I/O 口输出。

当使用 $aL \times aL$ (a 取奇数)模板设计 LED 阵列时,所需要的 LED 列个数的最小值 N_1 应保证离原点最远的模板点(位于模板对角线的端点)能寻找到离它最近的体像素。设图 2 中的点 $M\left(\frac{a-1}{2}L, \frac{a-1}{2}L\right)$ 为其中一个端点,根据公式(6),有

$$OB_1 = \left[\left(\frac{a-1}{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{t} \right) + 1 \right] \cdot tL$$

则

$$N_1 = 2 \left[\left(\frac{a-1}{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{t} \right) + 1 \right] + 1 \quad (7)$$

公式(7)中的第 2 个“+1”表示加上位于中心轴处的 LED 列。

设 LED 行的个数为 N_2 , 锁存器的选通时钟周期为 t_1 (与 LED 体像素的点亮时间有关), 由于所有二维截面必须在视觉暂留时间 T_1 (常取 0.1 s) 内显示完, 则有:

$$\left[\left(\frac{N_1}{8} \right) + 1 \right] \cdot N_2 \cdot N \cdot t_1 \leq T_1 \quad (8)$$

4.3 N 和 t 的选取及优化结果

以 $31L \times 31L$ 模板, $N_2 = 31$, $t_1 = 1 \mu s$, $\epsilon = 0.3$, $\lambda = 0.15L$ 为例说明 N 、 t 的选取及优化结果。首先将 a 、 t_1 、 N_2 的数值代入公式(7)、(8), 得到:

$$\left[\frac{2(15\sqrt{2}/t) + 3}{8} \right] + 1 \leq \frac{3 \cdot 225.81}{N} \quad (9)$$

然后从图 3(a)、图 3(b)找出同时满足公式(9)和 $D \leq 0.15L$, $d_{\max} \leq 0.3L$ 的 N 、 t 组合(计算结果较多, 这里不一一列出)。

最后再从众多组合中选取 LED 用量最少的 N 、 t 。LED 的用量由列数目 N_1 决定, 从公式(7)可以看出, N_1 的大小取决于 t , 因此选取的 t 要使 N_1 为最小值。选取的结果是 $t = 0.500$, $N = 288$, 对应的 $d_{\max} = 0.273L$, $D = 0.138L$ 。图 4 为 $N = 288$, $t = 0.5$ 时得到的体像素均匀性优化结果; 图 5(a)和图 5(b)分别表示优化前后圆锥模型的仿真结果。可以看出, 体像素的均匀性有了较大提高。

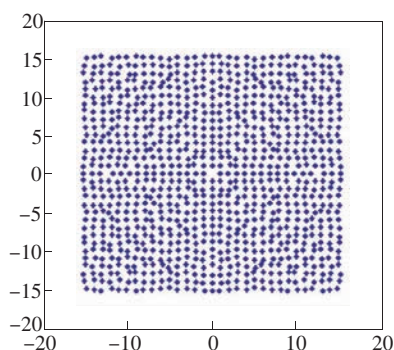


图 4 均匀性优化结果

Fig. 4 Result of uniformity optimization

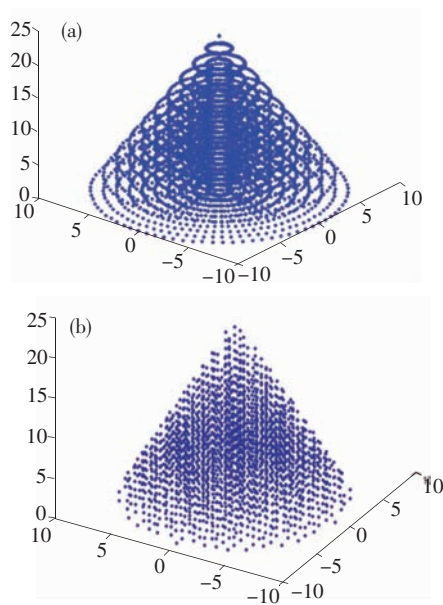


图 5 (a) 优化前的圆锥模型; (b) 优化后的圆锥模型。

Fig. 5 (a) Picture of circular cone model before optimization; (b) Picture of circular cone after optimization.

5 实验结果

基于 $31L \times 31L$ 的点阵模板, 令 $L = 4 \text{ mm}$, $N = 288$, $t = 0.5$, 设计了 31×87 的 LED 阵列屏, LED 的行列间距分别为 4 mm 和 2 mm, 实现均

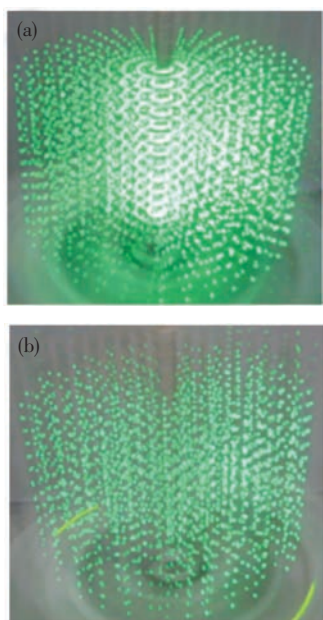


图6 (a) 优化前的圆柱;(b) 优化后的圆柱。

Fig. 6 (a) Picture of cylinder before optimization; (b) Picture of cylinder after optimization.

匀分布的体像素个数为 $31 \times 31 \times 31$, 优化效果为 $D=0.552 \text{ mm}$, $d_{\max}=1.09 \text{ mm}$ 。图 6(a)、图 6(b) 分别表示均匀化前后圆柱的实物图。可以看出, 优化后体像素分布的均匀性明显改善, 有效解决了“体像素外疏内密”和内部区域过亮的问题。

6 结 论

利用 LED 显示屏的高速旋转和分时显示, 可以将三维图形再现在三维空间中, 但 LED 体像素在水平方向呈现“外疏内密”的非均匀分布。本文在基于点阵模板的方法基础上, 以模板点和离它最近的体像素间的平均距离、最大距离衡量优化效果, 并根据系统对优化效果的要求, 结合二维截面数和 LED 列间距的限制关系, 选取合理的截面数和列间距, 节省了硬件成本, 建立了 LED 体三维显示系统。实验结果表明, LED 体像素分布的均匀性有了较大提高, 有效解决了“体像素外疏内密”和内部区域过亮的问题。

参 考 文 献:

- [1] Blundell B G, Schwarz A. The classification of volumetric display systems: characteristic and predictability of the image space [J]. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2002, 8(1): 66-75.
- [2] 沈新创, 钱平. 基于视觉暂留原理的旋转式线阵 LED 显示屏开发 [J]. *上海应用技术学院学报*, 2007, 7(2): 150-153.
- [3] 姚奕. LED 体三维显示系统的研究和优化[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- [4] 田丰, 徐劼敏, 刘锦高. 低成本真三维显示器的构建 [J]. *华东师范大学学报*, 2009, 7(4): 116-122.
- [5] 陈美鑫, 尹浩, 吴晓威, 等. 基于线阵 LED 的动态显示系统 [J]. *广东工业大学学报*, 2008, 25(1): 54-57.
- [6] 林远芳, 刘向东, 刘旭, 等. 利用旋转发光屏再现三维图像原理及偏差分析 [J]. *光电工程*, 2004, 31(5): 64-67.
- [7] 李莉, 李玉峰, 沈春林, 等. 基于数字微镜的旋转体三维显示装置研究 [J]. *仪器仪表学报*, 2008, 29(1): 67-72.
- [8] 林远芳, 刘向东, 刘旭, 等. 基于二维旋转屏的体三维显示系统像素属性分析 [J]. *光子学报*, 2004, 33(4): 476-480.