

文章编号: 1672-8785(2018)05-0031-06

体三维显示技术中的空间坐标 转换方法研究

张屹东^{1,2} 饶 鹏^{1,2}

(1. 中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083;

2. 中国科学院红外探测与成像技术重点实验室, 上海 200083)

摘 要: 体三维显示技术是一种在空间中显示立体图像的技术。简要介绍了这种技术, 并针对其中的空间坐标转换方法问题进行了研讨。通过对实际问题进行近似与归纳, 得出了相应的几何光学问题; 然后对其进行了详细求解, 并设计了实验测量的相关参数; 最后, 根据该求解设计了相关算法并开展了实验。结果表明, 该算法的正确性和有效性均得到了验证。

关键词: 体三维显示; 空间坐标; 数字微镜器件

中图分类号: TP37 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2018.05.006

Research on Spatial Coordinate Problems in Volumetric 3D Display

ZHANG Yi-dong^{1,2}, RAO Peng^{1,2}

(1. Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China;

2. Key Laboratory of Infrared System Detection and Imaging Technology,
Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: Volumetric 3D display is a technology for displaying stereoscopic graph in space. The technology is presented in brief. The spatial coordinate transformation problem in it is discussed. By approximating and inducing the actual problems existed, the corresponding geometric optical problems are obtained. Then, they are solved in detail and the relative parameters for experimental measurement are designed. Finally, relative algorithms are designed according to the solutions and the corresponding experiment is carried out. The result shows that the correctness and effectiveness are verified.

Key words: volumetric 3D display; spatial coordinate; DMD

0 引言

体三维显示技术是一种将立体图像显示在三维空间中的技术^[1-2]。其基本原理是, 通过

以显示屏幕扫描一定空间形成显像空间, 在屏幕上显示一定图像, 并利用视觉暂留现象形成三维立体图像。该技术具有无限观察视角以及

收稿日期: 2018-03-12

作者简介: 张屹东(1991-), 男, 安徽人, 硕士研究生, 主要从事电路与系统方面的研究。

E-mail: yidongzh@mail.ustc.edu.cn

逼真等优点。本文将讨论这种技术中的显示图像坐标变换处理问题。

1 背景

本文讨论的体三维显示技术是通过旋转平面屏幕形成成像空间,由直接投影进行成像的^[3]。如图1所示,平面屏幕作周期性匀速旋转,形成圆柱形成像空间,使每个平面显示三维图像的截面信息。当旋转速度达到一定值时,投影图像的刷新率同步提升。由于视觉暂留现象^[4],所有截面图像可拼接成一幅完整的三维图像。

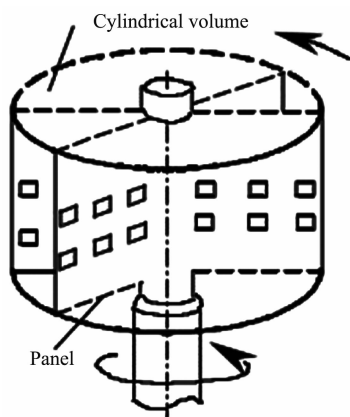


图1 体三维显示技术的示意图

2 问题归纳

该系统运用体三维显示技术进行立体显示。如图2所示,立体显示系统可以分为投影和显示两部分。其中,投影部分由数字微镜器件(Digital Micromirror Device, DMD)芯片组及其光学器件构成,通过透视投影将图像投至投影面;显示部分由屏幕及其驱动设备构成,并以恒定的角速度旋转。在透视投影过程中,由

于屏幕与投影器件之间相对位置和角度的变化,需要在对待投影剖面图进行预处理后再进行投影,以抵消该变化所引起的图像畸变。

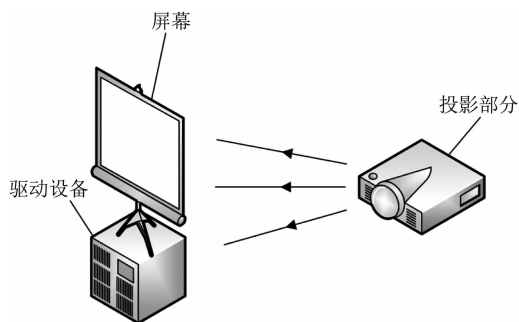


图2 立体显示系统的示意图

2.1 投影部分

在投影部分,DMD是由成千上万个可独立寻址和转动的微型光反射镜组成的半导体光开关阵列(见图3)^[5-7]。其微镜被安装在极小的铰链上,可向光源倾斜或反向倾斜,从而在投影表面造成或亮或暗的像素,并将电信号转换为光信号。每个微镜对应一个像素,其大小为 $16\mu\text{m}\times 16\mu\text{m}$,镜面之间的间距为 $1\mu\text{m}$ 。

投影部分的光学器件都是线性的,即可进行几何光学运算。运用几何光学原理,可以将投影部分视为一幅图像并通过透镜进行透视投影,如图4所示。

2.2 显示部分

显示部分由屏幕及其驱动设备组成。屏幕绕自身中轴匀速旋转,中轴与投影部分的相对位置固定。屏幕接收投影部分发射出来的光线,并在任意角度下对其进行漫反射,形成发光点,组成单幅图像。立体图像即由多幅图像组合而成。

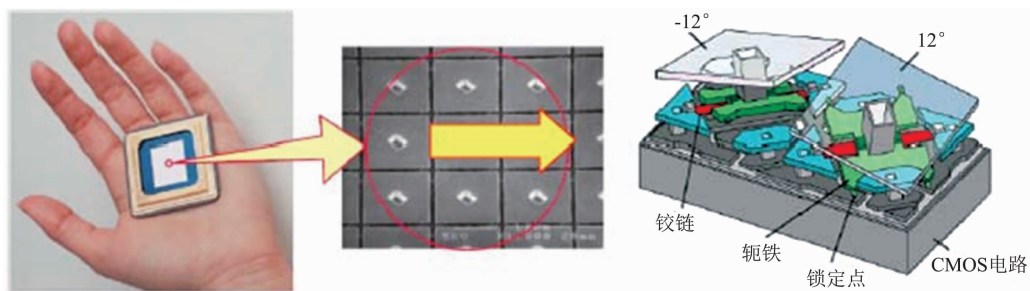


图3 DMD的原理图

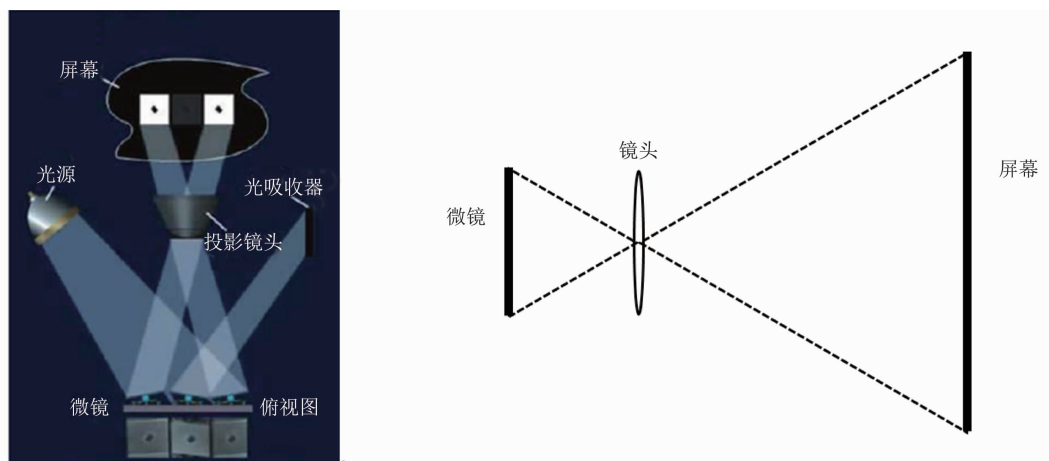


图 4 投影原理图与简化图

2.3 问题归纳

将以上两部分组合起来进行几何光学运算, 并经归纳得出问题。通过坐标映射将显示图转换成投影图, 即求解坐标映射公式, 将已知的显示图点坐标转变为投影图点坐标(见图 5)。令当前屏幕所在角度与垂直光线平面的夹角为 θ , 如图 5 所示, 在屏幕所在平面上建立平面坐标系, 即将屏幕上某点的坐标定为 (x, y) , 然后求解其 DMD 内的像素坐标。

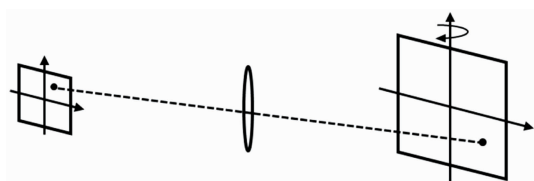


图 5 问题归纳图

3 问题求解

对于投影部分, 建立图 6 所示的坐标系。其中, 面 OBD 为正投影面, 面 OAK 为当前屏幕所在的面, 其他均为辅助线面。点 K 的坐标为 (x, y) , 则 $OA = x$, $AK = y$ 。面 OBD 与面 OAK 的夹角为 θ , 则 $\angle AOB = \theta$ 。所以在 $\triangle OAB$ 中, $AC = OB = x \cdot \cos\theta$, $OC = AB = x \cdot \sin\theta$; $CK = \sqrt{(x \cos\theta)^2 + y^2}$ 。

图 7 为整体系统的示意图。其中, O_0 位于镜头透镜处, $C_0 K_0$ 所在平面位于 DMD 微镜处。由三角形相似原理及几何光学原理可知:

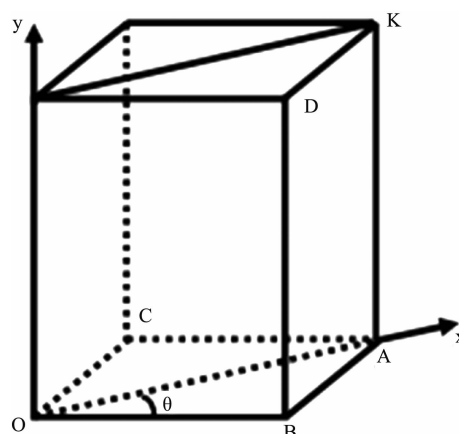


图 6 坐标图

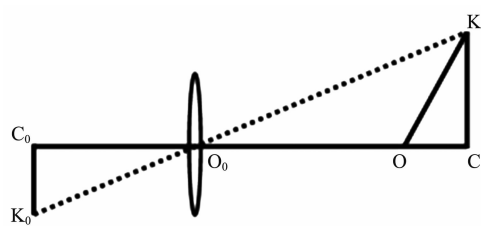


图 7 整体系统的示意图

$$\frac{C_0 K_0}{O_0 C_0} = \frac{CK}{O_0 C} \quad (1)$$

过 $C_0 K_0$ 和 CK 垂直于 $O_0 O$ 的平面建立相应的极坐标系, 则点 K_0 与点 K 在各自极坐标系中的角度分量相等。

令 K_0 的坐标为 (x_0, y_0) , 则

$$\begin{cases} \frac{x_0}{O_0 C_0} = \frac{AC}{O_0 C} \\ \frac{y_0}{O_0 C_0} = \frac{AK}{O_0 C} \end{cases} \quad (2)$$

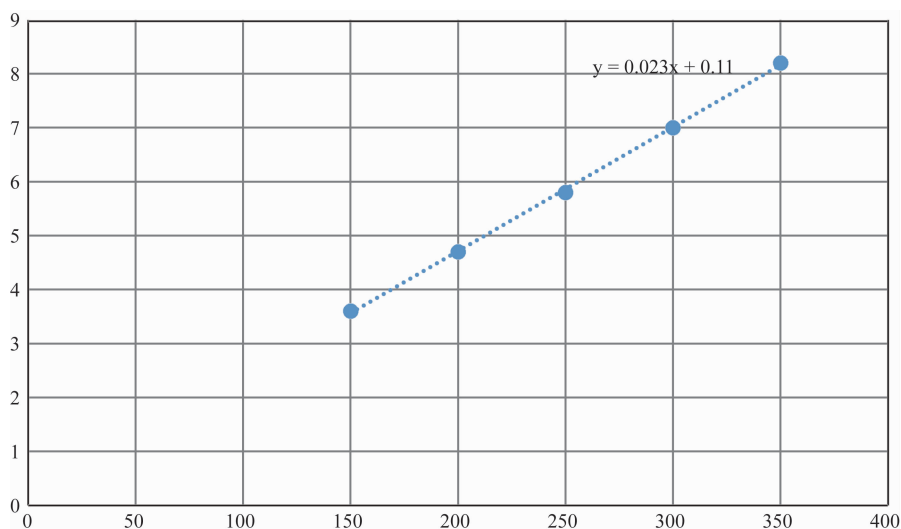


图 8 拟合图

令 $O_0C_0=c$, $O_0O=l$, 则

$$\begin{cases} x_0 = c \frac{x \cos \theta}{l + x \sin \theta} \\ y_0 = c \frac{y}{l + x \sin \theta} \end{cases} \quad (3)$$

下面通过实验及相关计算求解 l 与 c 的值。对于 l (即 O_0O), 可以直接用投影设备将图像正投影至屏幕上, 然后直接测量镜头至屏幕的距离, 从而得出 l 值。基于以上实验方法, 通过 5 次重复实验测得了表 1 所示的数据。求表中数值的平均值, 得出 $l=22.68$ cm。

表 1 实验数据

实验	1	2	3	4	5
l (cm)	22.7	22.8	22.6	22.6	22.7

由于 c (即 O_0C_0) 是一个内部光路简化后的等效值, 因此无法直接测量。通过上文分析可知:

$$x_0 = c \frac{x \cos \theta}{l + x \sin \theta} \quad (4)$$

令此时为正投影, 即 $\theta=0$, 则有:

$$x_0 = c \frac{x}{l} \quad (5)$$

经整理可得:

$$x = \frac{l}{c} x_0 \quad (6)$$

根据式(6), 通过确定 l 、 x 、 x_0 的值可以算

得 c 值。其中, l 值已测得, 为 22.68 cm, 且在实验中固定不变; x_0 的单位是像素。因此可以投影一段在 x 轴上的直线, 其长度已知, 即 x_0 已知; 测量 x 值; 通过多次试验得到数据 (x_0, x) , 并拟合出直线斜率 (即 l/c 值), 最后算得 c 值。表 2 列出了 5 次实验所得的数据。通过拟合得到 $l/c=0.023$, 所以 $c=986.1$ 。图 8 为拟合图。

表 2 实验数据

实验	1	2	3	4	5
x (cm)	3.6	4.7	5.8	7.0	8.2
x_0 (像素)	150	200	250	300	350

4 坐标映射算法

通过以上分析, 由式(3)得出显示图与投影图的映射关系式。根据该式可实现坐标映射算法。首先将显示图坐标化。以中心点为 O 点, 以右和上分别为 x 轴和 y 轴的正方向 (单位为像素), 建立坐标系。然后对其进行归一化及坐标变换分析。

式(3)中, x 和 y 的坐标单位是长度单位, 而显示图是 bmp 格式的黑白图片, 因此需要将显示图中的像素单位相应转换为长度单位。以投影面的二者对应关系作为变换基础。由式(3)可知, 令 $\theta=0$, 可得二者坐标的对应关系:

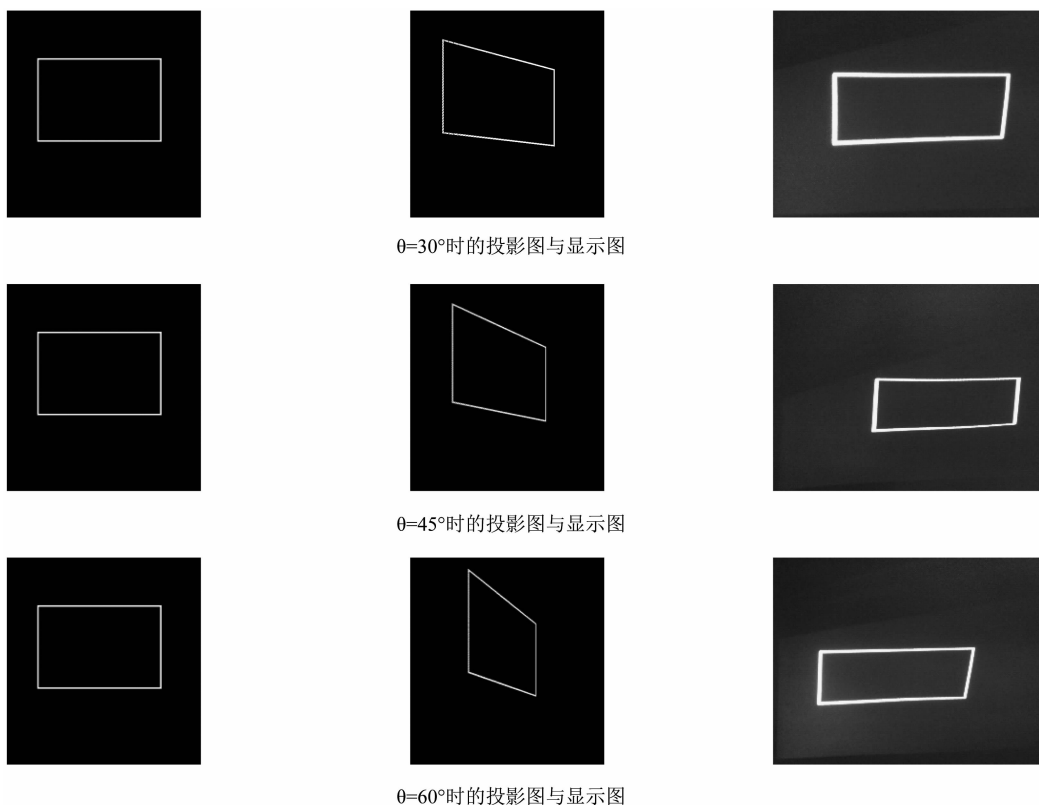


图 9 实验结果图

$$\begin{cases} x = l \frac{x_0}{c} \\ y = l \frac{y_0}{c} \end{cases} \quad (7)$$

利用式(7)将显示图像像素单位坐标转换为显示图长度单位坐标。然后利用式(3)将显示图坐标转换为投影图坐标。

5 实验

下面开展实验以验证算法的可行性。如图 9 所示, 原图为矩形, 第二幅图片是经算法处理后的投影图片, 第三幅图片是显示图片。其中, 角度分别取 30° 、 45° 、 60° 。

从图 9 中可以看出, 显示效果已基本达到。但是随着角度逐渐接近 90° , 显示效果变得越来越差。其原因包括以下两个方面:

(1) 焦距不匹配。由于素材图片是以正投影角度进行坐标变换的, 所以只有正投影角度处在焦点上, 而其他部分则会有些偏离, 导致成像模糊。

(2) 素材图片近似过度。由式(3)可知, 在 $\theta = 90^\circ$ 附近, 其部分图片处在屏幕外而受到近似处理, 因此产生失真。同时, 在 $\theta = 90^\circ$ 附近, 由于其反射效果不佳, 因此该近似处理过度, 在总体上可以忽略不计。

6 结束语

本文研究了体三维显示技术中的空间坐标变换问题。具体工作如下: (1) 对实际问题进行归纳与近似, 形成几何光学问题; (2) 求解该问题, 最终得出解析解并设计实验测量的相关参数; (3) 回归实际问题, 以几何光学问题解为基础, 设计和编写算法并对其进行实验验证, 以证明问题求解的正确性和算法的有效性。

本文算法是在几何运算的基础上提出的, 因此具有很高的特异性, 其运算速度也能达到实时运算标准。它可以在未来“红外成像-传输-运算-立体显示”这一实时过程中充当算法基础的角色。

参考文献

- [1] 郑华东, 于瀛洁, 程维明. 三维立体显示技术研究新进展 [J]. *光学技术*, 2008, **34**(3): 426–430.
- [2] Favalora G E. Volumetric 3D Displays and Application Infrastructure [J]. *IEEE Computer*, 2005, **38**(8): 37–44.
- [3] 丁琴. 真三维立体显示中旋转体扫描显示技术研究 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2006.
- [4] 周燕, 金伟其. 人眼视觉的传递特性及模型 [J]. *光学技术*, 2002, **28**(1): 57–59.
- [5] 陈劲松. 数字微镜工作原理与应用 [J]. *电子技术*, 2006, **33**(6): 60–62.
- [6] 丁琴. 真三维立体显示中旋转体扫描显示技术研究 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2006.
- [7] Hornbeck L J. Digital Light Processing Update: Status and Future Applications [C]. *SPIE*, 1999, **3634**: 158–170.

(上接第 19 页)

片的性能优势,设计了一种基于 TDC7201 芯片的高精度激光脉冲飞行时间测量模块。实测结果表明,该模块在 12 ns~100 μ s 时间间隔范围内的测时精度最高可达 4.1 ps,且线性度很好,拟合的线性相关系数为 1,能够满足实际测距系统的高精度、高线性度要求。另外,该模块还可同时测量激光脉冲主波与 5 个回波之间的时间间隔,适用于城市建筑高度测量、森林探测等多回波探测有要求的场合。但在本模块中,由于晶振性能不佳,时间测量精度会随测量时间的增加而降低,因此后续将考虑用温补晶振为 TDC7201 芯片提供时钟,以提高测量精度。

参考文献

- [1] Buzhan P, Dolgoshein B, Ilyin A, et al. The Advanced Study of Silicon Photomultiplier [J]. *ICFA Instrumentation Bulletin*, 2002, **25**: 717–728.
- [2] Ugur C, Linev S, Michel J, et al. A Novel Approach for Pulse Width Measurements with a High Precision (8 ps RMS) TDC in an FPGA [J]. *Journal of Instrumentation*, 2016, **11**(1): 1–8.
- [3] Wang H, Zhang M, Yao Q. A New Realization of Time-to-digital Converters Based on FPGA Internal Routing Resources [J]. *IEEE Transactions on Ultrasonics Ferroelectrics & Frequency Control*, 2013, **60**(9): 1787–1795.
- [4] 周宇. 脉冲式激光测距仪的研究与设计 [D]. 武汉: 华中师范大学, 2016.
- [5] 宋盛, 郭颖, 洪光烈. TDC-GP2 芯片在脉冲激光测距系统中的应用 [J]. *红外*, 2014, **35**(11): 10–14.
- [6] 宋娜, 邓甲昊, 崔静. 基于高精度时间间隔测量芯片 TDC-GP2 的脉冲激光引信定距系统 [J]. *兵工自动化*, 2012, **31**(10): 64–66.
- [7] 杨佩, 徐军, 王菲. 基于 TDC-GP2 的高精度时差测量系统设计 [J]. *电子科技*, 2010, **23**(7): 77–81.
- [8] Texas Instruments. Time-to-Digital Converter for Time-of-Flight Applications (TDC7201 Datasheet) [Z]. May 2016.
- [9] STMicroelectronics. STM32F1 Series of Mainstream MCUs (STM32F103xE Datasheet) [Z]. November 2015.
- [10] Analog Devices. D/A Converters (AD5667 Datasheet) [Z]. September 2016.