

文章编号:1007-2780(2016)04-0404-06

一种用于固态体积式真三维显示的片源编码的改进方法

胡跃辉^{1*}, 丁小宇², 代 飘¹, 任旖旎¹, 马星宇¹, 吕国强¹

(1. 特种显示技术教育部重点实验室 特种显示技术国家工程实验室 省部共建
现代显示技术国家重点实验室培育基地 合肥工业大学 光电技术研究院, 安徽 合肥 230009;
2. 合肥工业大学 计算机与信息学院, 安徽 合肥 230009)

摘要:随着固态体积式真三维显示技术的快速发展,人们对该技术显示片源的要求不断提高,本文提出了一种用于固态体积式真三维显示的片源编码的改进方法。该方法对具有景深的虚拟场景提供 3 种处理模式:模式一,直接对 RGB 值和深度值进行编码、传输、解码;模式二,将 RGB 值转换成 YUV 值,再对 YUV 值和深度值进行编码、传输、解码;模式三,将 RGB 值转换成 YUV 值,对 YUV 值和深度值进行编码,再将编码后的 YUV 值转换成 RGB 值,对 RGB 值传输、解码。分别对这 3 种处理模式在工程样机上进行立体显示效果测试和编码效率的对比测试。实验证明:3 种模式都能够达到立体显示要求,模式二和模式三生成的立体图像更逼真细致,模式二和模式三的编码效率比模式一的提高了至少 3 倍。该改进方法使生成的片源更具有灵活性和普适性,对 YUV 信号进行编码能够更贴合人眼对亮度的敏感度、使立体显示中的颜色信号更加充裕。

关键词:固态体积式真三维显示;RGB;YUV;色彩空间模式

中图分类号:TP314 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/JYXS20163104.0404

Improvement in encoding method of solid volumetric true 3D display

HU Yao-hui^{1*}, DING Xiao-yu², DAI Piao¹, REN Yi-ni¹, MA Xing-yu¹, LV Guo-qiang¹

(1. Key Lab of Special Display Technology, Ministry of Education, National Engineering Lab of Special Display Technology, National Key Lab of Advanced Display Technology, Academy of Opto-Electronic Technology, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;
2. Department of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: As the rapid development of solid volumetric true 3D display technology and the requirement of the display content higher and higher, this paper proposes an improvement encoding method of the solid volumetric true 3D display. The method offers three processing modes for virtual scene with depth of field: mode 1, the RGB values and the depth values are encoded, transmitted, decoded; mode 2, the RGB values are converted to YUV values, and then the YUV values and the depth values are

收稿日期:2015-04-15; **修订日期:**2015-06-25.

基金项目:国家 863 高技术计划资助项目 (No. 2012AA011901)

Supported by National High Technology Research and Development Program of China (No. 2012AA011901)

* 通信联系人, E-mail: huyaohui@hfut.edu.cn

encoded, transmitted, decoded; mode 3, the RGB values are converted to YUV values, then the YUV values and the depth values are to be encoded, last the encoded YUV values are converted to RGB values, and the RGB values are transmitted and decoded. The actual display test and transmission efficiency for the three kinds of modes are compared on the engineering prototype. The experiment shows that the three modes are able to meet stereo display requirements, the 3D images of mode 2 and mode 3 are more realistic and detailed, mode 2 and mode 3 coding efficiency are higher than that of the mode 1 for a few times. This method not only makes the generated sources more flexibility and universality, but also encoding YUV signals can be more fit for the human eye to the sensitive degree of brightness and make the color signal more abundant.

Key words: solid volumetric true 3D display; RGB; YUV; color space mode

1 引言

真三维模型与现实环境几乎一致,能够给用户带来强烈、逼真的感官冲击,获得身临其境的体验,用户可以在真三维场景中任意漫游,人机交互,特别是大型复杂工程项目的规划、设计、投标、报批、管理,通过真实的仿真漫游,能够轻易地发现一些设计的缺陷,减少由于事先规划不周全而造成的无可挽回的损失与遗憾,大大提高了项目的评估质量^[1],因此对片源的要求也不仅仅只是在实验室阶段,而是朝着不断实用化的发展。这就要求片源要具有开放性和多样性,对于不同格式和规格都要有能力实现立体效果。

近年来,随着光学技术、微电子技术和计算机技术的飞速发展,真三维立体显示技术研究在基础理论和关键技术上都取得了一些成果。其中用于固态体积式真三维显示的片源编码方法,是计算机数字图像分析和处理技术应用与固态体积式真三维显示的重要部分,它的好坏直接影响着固态体积式真三维显示的显示效果。目前已经研制出各种真三维立体显示装置并提出了几种真三维显示数据生成的方法,其中比较成熟的方法是由胡跃辉、夏果文献提出的,其方法以 Visual Studio. NET 为平台通过基于 OpenGL 格式的三维模型为例进行试验,是对 RGB 颜色值和垂直于屏幕的深度值进行读取、压缩编码、传输和解码的研究^[1]。对于当时 800×600 的分辨率来说是足够的,但是并不能满足现在越来越高分辨率和人眼对片源的更高要求,从性能上和质量上也很难满足高质量实时处理的要求。

为了使用人的视角特性降低数据量,通常把

RGB 空间表示的彩色图像变换到其他彩色空间。目前采用的彩色空间变换有 3 种:YIQ、YUV 和 YCrCb^[3]。每一种彩色空间都能产生一种亮度分量信号和两种色度分量信号,而每一种变换使用的参数都是为了适应某种类型的显示设备。YUV 颜色空间与众多硬件支持的 RGB 颜色空间的相互转换是一种线性关系,所以在计算机系统中应用最多,其应用领域很广泛,例如 JPEG、MPEG 均采用此格式。

2 固态体积式真三维显示系统

2.1 系统整体结构

如图 1 所示为固态体积式真三维显示系统的整体结构,它由计算机、图像处理模块、高速投影模块、液晶光阀驱动、液晶光阀堆叠体和折叠光路组成,其中液晶光阀堆叠体为显示体^[2-4]。在计算机内首先将待显示的具有景深的虚拟三维物体进行切片处理,再将切片处理后的所有图像经过一定算法在图像数据中插入每个像素点的深度信息合成一幅平面图像,最后将合成的图像经过 DVI 接口按照 XGA 视频标准传送图像处理模块。图像处理模块接收到图像数据后将其重新扩展为多层切片图,并分为 R、G、B 三路传输给高速投影模块。高速投影的三个高速成像引擎同时分别接收到的 R、G、B 图像以每秒 1 200 帧的速度投射出去,经过折叠光路后投影到液晶光阀堆叠体上。液晶光阀堆叠体由 20 个液晶光阀堆叠而成,液晶光阀的间隔约为 9.7 mm。液晶光阀具有特殊的电控光学性能:不加电压时,液晶光阀处于散射态,照射到液晶光阀上的光线发生漫反射;加电压时,液晶光阀处于透明态,照射到液晶光阀上的光

线可正常通过。光阀驱动将液晶光阀在散射态和透明态间循环切换,保证任意时刻有且只有一个液晶光阀处于散射态,其余液晶光阀处于透明态。光阀驱动和高速投影模块相互配合,利用人眼的视觉暂留效应,使人实际观察到的 20 个液晶光阀上的图像同时存在,这样便实现了真实立体空间中的三维显示。本系统显示分辨率为 $1\,024 \times 768$,立体图像帧频为 60 Hz,灰度等级为 16 级,颜色种类为 4 096 种。

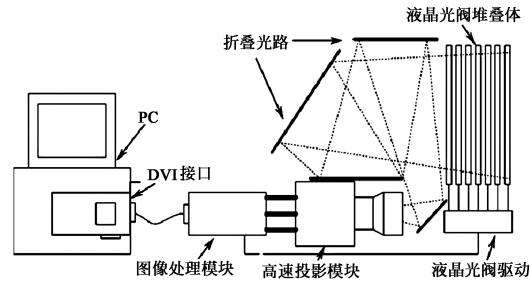


图 1 固态体积式真三维显示系统整体结构
Fig.1 Whole structure of solid volumetric true 3D display system

2.2 系统显示原理

固态体积式真三维显示系统的成像原理是基于静态位图式的,属于静态立体显示技术^[2-6]。固态体积式真三维显示系统的显示体由 20 个液晶光阀堆叠而成,光阀与光阀之间的间距约为 9.7 mm,有效显示尺寸为 48.3 cm(19 in)。如前所述,液晶光阀具有特殊的电控光学性能:当对其施加一定的电压时,液晶光阀处于透明态,从而令照射该液晶光阀的光束顺利通过;当不对其施加电压时,液晶光阀处于散射态,从而对照射该液晶光阀的光束进行漫反射,形成一幅存在于液晶光阀堆叠体中的图像。固态体积式真三维显示系统首先在计算机中将所要显示的三维物体根据深度值进行等间隔的 20 次二维切片,得到 1~20 号截面图。20 层液晶光阀按照从内到外的顺序依次编号为 1~20 号。任意时刻,液晶光阀驱动控制,使液晶光阀堆叠体中有且只有一层处于散射态,其余 19 层处于透明态。与此同时,高速投射模块投射出与当前层对应的截面图,依次循环往复的按顺序投射出 1~20 号截面图,便可在液晶光阀堆叠体的 20 层中显示出 20 幅不同的截面图,从而产生纵深感。但是,若要实现三维显示,就要令观

察者主管感受到的 20 幅截面图是同时出现在液晶光阀上的且无闪烁感,因此需要利用人眼的视觉暂留效应,而人眼视觉暂留效应要求的最低频率为 24 Hz。固态体积式真三维显示系统采用 XGA 的视频标准,要求液晶光阀堆叠体的整体刷新频率为 60 Hz^[7-9]。为了满足人眼视觉暂留效应的要求,同时需要每层液晶光阀上图像的刷新频率也达到 60 Hz,这就要求高速投影模块投影图像的频率为 $20 \times 60 = 1\,200$ Hz。

3 片源编码改进方法的整体思路及运行原理

3.1 真三维显示数据改进方法的整体思路

真三维显示数据的改进方法的流程图如图 2 所示,以 Visual Studio. NET 为开发环境基于 OpenGL 加载 3ds 三维模型和纹理贴图^[10],利用 OpenGL 提供的双缓存技术渲染三维场景,并循环反复显示,实时读取三维场景的 24 位无符号 RGB 颜色值和无符号浮点型深度值 D ,深度值范围为 0.0~1.0,再将深度值通过公式(1):

$$Z = \lfloor D \times X \rfloor, \tag{1}$$

其中 X 为工程样机可显示的最大深度值,换算为 10 位无符号整型深度值 Z 。然后再判断是否直接对 YUV 进行编码,若是则利用公式(2):

$$\begin{cases} Y = 0.30 \times R + 0.59 \times G + 0.11 \times B \\ U = 0.493 \times (B - Y) \\ V = 0.877 \times (R - Y) \end{cases} \tag{2}$$

将 RGB 值转换为 YUV 值,对 YUV 值进行编码,若不是则对 RGB 进行编码、传输和解码显示。再对 YUV 进行编码过后,在判断是否对 YUV 进行传输,若是则将 YUV 信号值传输、解码显示,若不是再利用公式:

$$\begin{cases} R = Y + 1.4075 \times (V - 128) \\ G = Y - 0.3455 \times (U - 128) - 0.7169 \times (V - 128) \\ B = Y + 1.779 \times (U - 128) \end{cases} \tag{3}$$

将 YUV 转换为 RGB 值,YUV2RGB 的转换由于牵涉到浮点运算,所以,一般采用整型运算或者查表来加快计算速度,在对 RGB 信号值传输、解码显示。

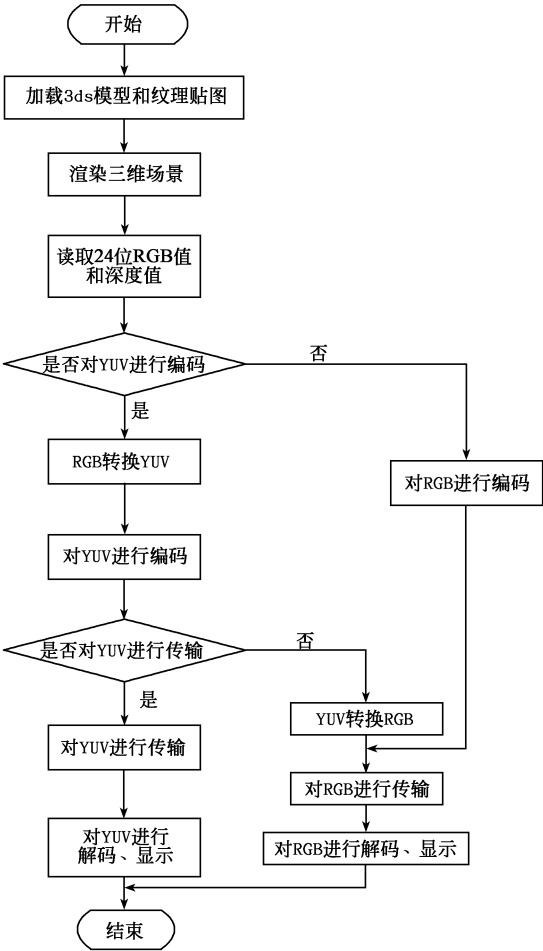


图 2 真三维显示数据的改进方法的流程图
Fig. 2 Flow chart of the true 3D display data improvement method

3.2 三种模式编码协议的具体分析

真三维显示的每个体像素不仅包括颜色值,还包括垂直于屏幕的深度值 Z 。所以,必须对三维立体图像信息进行编码,每个体像素由 24 位构成,其中包括颜色值、深度值和控制位。已成熟的编码方式编码、传输和解码都是用的 RGB 颜色空间模式,牺牲部分的 RGB 分量来换取深度信息。改进的固态真三维体格式显示的片源编码方法作为可选配的片源编码方法,将其设为模式一。其编码协议如图 3 所示,所生成的 24 位体像素,包括 R 、 G 、 B 、 Z 和置零位,先利用公式(1)将 32 位浮点型深度值 D 换算成 10 位整型深度值 Z ,再分别将 R 值右移 4 位, $Z_9 \sim Z_6$ 置于 $R_7 \sim R_4$;将 G 值右移 3 位, $Z_5 \sim Z_3$ 置于

$G_7 \sim G_5$;将 B 值右移 3 位, $Z_2 \sim Z_0$ 置于 $B_7 \sim B_5$;将 G_0 位和 B_0 位置零。

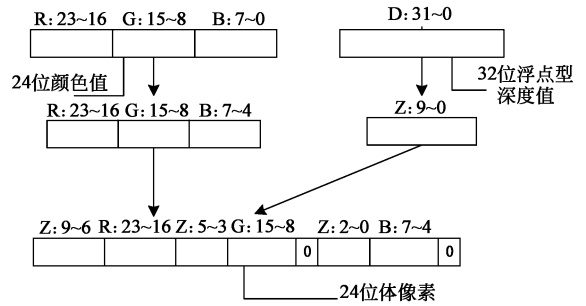


图 3 模式一的编码协议
Fig. 3 Coding protocol of model 1

模式二和模式三都是对 YUV 颜色模式进行编码。模式二如图 4 所示,所显示片源是对 YUV 信号进行编码、传输、解码和显示。先将读取的 RGB 颜色值通过公式(2)换算成 YUV 信号量,利用公式(1)将 32 位浮点型深度值 D 换算成 10 位整型深度值 Z 。其体像素由 24 位构成,包括 Y 、 U 、 V 、 Z ,其中 Y 、 U 、 V 分别是亮度分量、色调分量、饱和度分量依次占据 6 位、4 位、4 位,并分别将 Y 值后移四位, $Z_9 \sim Z_6$ 置于 $Y_7 \sim Y_4$,将 U 值后移三位, $Z_5 \sim Z_3$ 置于 $U_7 \sim U_5$,将 V 值后移三位, $Z_2 \sim Z_0$ 置于 $V_7 \sim V_5$ 。模式三在对 YUV 编码的基础上,又兼容现有的对 RGB 信号的传输、解码和显示。模式三编码协议如图 5 所示,在模式二对 YUV 编码后,使用公式 3 将编码后的 YUV 信号量转换成 RGB 信号量,对 RGB 信号量进行传输、解码和显示。

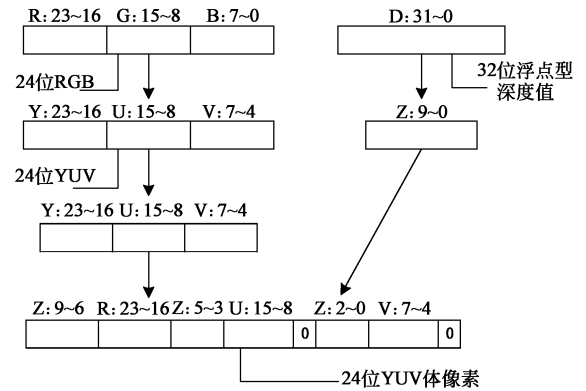


图 4 模式二编码协议
Fig. 4 Coding protocol of model 2

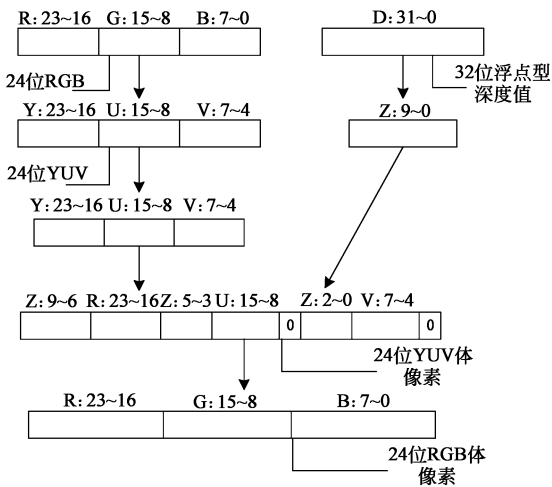


图 5 模式三编码协议

Fig. 5 Coding protocol of model 3

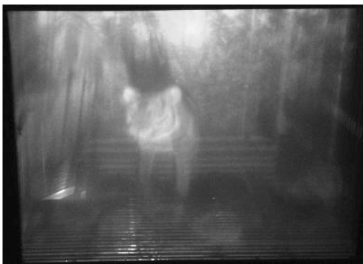


图 6 模式一立体显示效果图(森林中的老虎)

Fig. 6 Model 1 stereo display effect (the tiger in the forest)



图 6 模式一立体显示效果图(森林中的老虎)

Fig. 6 Model 1 stereo display effect (the tiger in the forest)

4 验证实验

4.1 实验平台搭建和显示效果

为了验证本文提出的片源改进方法的可行性,利用 windows XP 安装的 Visual Studio 2010 的编译环境,按照本文所提出改进方法的流程设计了一套 C++ 语言片源生成软件,流程图如图 2 所示,生成的立体图像分辨率为 1 024×768。采用 LVDS 传输方式将得到的图像数据发送至工程样机,在 windows XP 的环境下,显示具有立体效果的真三维图像,并实现实时控制功能。对于同一个虚拟三维场景,3 种模式的运行时间如表 1 所示,图 6 为模式一立体显示效果图,图 7 为模式二立体显示效果图。

表 1 三种模式的运行时间

Tab. 1 Three modes' running time

模式类型	编码时间/ms	传输数据量/byte
模式一	16	2 359 296
模式二	12	1 572 864
模式三	12	2 359 296

4.2 实验结果分析

实验中,对同一三维场景分别使用 3 种模式的片源编码方式进行编码、传输、显示。3 种模式都能够正常、有效的显示具有立体效果的真三维

图像,据观察模式二和模式三比模式一亮度高,且图像更加细腻。这是由于模式二和模式三都是直接对 YUV 进行编码可以自由调节亮度分量和色度分量,在满足人眼对亮度敏感的范围內尽可能多的携带颜色信息,从而使得解码后所显示的图像更加逼真细腻。

本实验还对编码时间和传输数据量进行了对比,由于在 YUV 色度空间中,颜色的亮度信息与色度信息是分开的,YUV 可以在不损失立体图像质量的前提下进行有损压缩,使得编码时间缩短和传输的数据量减少,这不仅提高了现有工程样机的显示速率,实现实时显示和人机交互,也为以后的全高清 1 080p 大数量的快速编码传输提供了可能。

考虑固态体积式真三维显示技术要求,改进的片源编码方式完全能过满足该技术不断发展的要求。经过在样机上的在线调试,通过与以前图像显示效果的对比,证明了该方法的可行性。测试结果表明,改进后的片源色彩更接近现实事物,传输上也解决了传输带宽的限制,同时,也具有较高的开发效率,方便维护和扩展。

5 结 论

在固态体积式真三维显示领域,被显示的信息量是平面显示的几个数量级。能够使用有限的数量携带更多、更有用的三维信息,是对设计具

有高亮、高分辨率真三维显示器必须解决的问题。本文对早期的真三维片源生成方法进行了修改,提出了具有多选择性、高传输率的片源生成方法,获得了真彩色、高分辨率的真三维片源,并且现有的工程样机得到了较好的应用。

参 考 文 献:

- [1] 夏果,吕国强,胡跃辉.一种真三维显示数据生成的方法[J].液晶与显示,2009,24(2):273-277.
XIA G, LV G Q, HU Y H. Data generation method of true 3D volumetric display[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2009, 24(2): 273-277. (in Chinese)
- [2] 朱尧.固态体积式真三维显示系统若干关键技术研究[D].合肥:合肥工业大学,2014.
ZHUY. Certain key technology research of the solid volumetric true three-dimensional display system[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2014. (in Chinese)
- [3] 刘涛,吕国强,童浩,等.真三维立体显示技术研究现状与进展[J].现代显示,2010,21(10):33-36,40.
LIUT, LV G Q, TONG H, *et al.* Review on research progress of true-3D volumetric display technology[J]. *Advanced Display*, 2010, 21(10): 33-36, 40. (in Chinese)
- [4] FAN Q J, SHEN C L, LI L. Research of a high-resolution volumetric 3D display system[C]. *Proceedings of the 2nd International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems*, Tianjin, China: ICINIS, 2009: 397-400.
- [5] 杨光磊,井长龙,裴治棋,等.固态体积式真三维立体显示器[J].液晶与显示,2015,30(1):137-142.
YANG G L, JING C L, PEI Z Q, *et al.* Solid-state volumetric true 3D display[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2015, 30(1): 137-142. (in Chinese)
- [6] DODGSON N A. Autostereoscopic 3D display[J]. *IEEE Transactions of Computer*, 2005, 38(8): 31-36.
- [7] FENG Q B. 3D display: from autostereoscopic to true 3D[C]. *IMID 2008, Seoul, Korea*; IMID, 2008, 8(2): 139-142.
- [8] 田丰,赵凡,陈明,等.真三维显示中的片源获取方法[J].上海大学学报:自然科学版,2012,18(3):235-239.
TIAN F, ZHAO F, CHEN M, *et al.* Film source acquisition for true 3D volumetric display[J]. *Journal of Shanghai University Natural Science*, 2102, 18(3): 235-239. (in Chinese)
- [9] 江寅川,袁杰.真三维活动视频数据的优化研究[J].现代电子技术,2012,35(8):116-119, 126.
JIANG Y C, YUAN J. Research on optimization of true 3-D video data[J]. *Modern Electronics Technique*, 2012, 35(8): 116-119, 126. (in Chinese)
- [10] REFAI H H, DAHSAN M H, SLUSS J J. Precise control over the individual DMD micromirror for volumetric three-dimensional display applications[C]. *Proceedings of 3DTV Conference*, Istanbul, Turkey: IEEE, 2008: 297-300.

作者简介:胡跃辉(1970—),男,安徽合肥人,博士,副研究员,主要从事数字图像分析与处理方面的研究。E-mail:huyao-hui@hfut.edu.cn