

引用格式: ZHOU Mengtao, LOU Yimin, HU Juanmei, et al. Rendering and Display of Light Field Images Using Conjugate Perspective Coherence Cameras[J]. Acta Photonica Sinica, 2023, 52(4):0411002

周梦滔, 楼益民, 胡娟梅, 等. 基于共轭透视相关相机的光场图像渲染与显示[J]. 光子学报, 2023, 52(4):0411002

基于共轭透视相关相机的光场图像渲染与显示

周梦滔, 楼益民, 胡娟梅, 冯玉顺, 吴锋民

(浙江理工大学 物理系 浙江省光场调控技术重点实验室, 杭州 310018)

摘要:为提升光场图像的渲染效率,提出一种基于共轭透视相关相机的光场图像渲染算法并搭建了相应的光场显示系统。利用共轭透视相机实现了深度正确的光场图像的一步渲染,从而省去了图像编码过程。同时利用相邻共轭相机之间的透视相关性减少重复计算,加速了渲染过程。对比传统算法,该算法并行处理能力强,非常适合利用图形处理硬件进行加速处理。利用中央处理器和图形处理器混合编程技术搭建了获取光场图像的渲染管线。对比测试结果表明,算法对视点数目不敏感,尤其适合高密度视点的光场图像的渲染。而且所渲染的视点越多,效率提升越明显。该算法还可以有效地兼容计算机图形学中的纹理贴图、光照等技术实现逼真场景的渲染。为验证算法的正确性,搭建了一套光场显示系统,利用所渲染的光场图像实现了虚拟场景的3D显示,获得了良好的3D立体效果。

关键词:光场显示;光场图像;透视相关性;渲染管线;计算机图形学

中图分类号:O436

文献标识码:A

doi:10.3788/gzxb20235204.0411002

0 引言

光场显示技术能够为观察者提供双目视差、运动视差、单眼调焦、消隐等丰富的三维观感,是距离全息显示效果最近的一种非全息类的3D显示技术^[1-2]。光场显示技术在工农业生产、日常生活、军事国防、游戏娱乐等各个领域都有广泛的应用,是一种平台性技术,所以备受关注。如何高效地采集光场信息数据是光场显示技术中的重要环节,也是3D显示的信息源头。光场信息采集方法主要包括光学生成技术和数字渲染技术两类。光学生成技术包括相机阵列采集和光场相机采集技术等^[3-4]。这类方法可以采集真实场景的光场信息,但是采集系统复杂,需要精密校准。数字渲染技术利用计算机生成光场信息,灵活方便且可以结合计算机图形学技术实现特殊的艺术效果,是领域内的研究热点^[5-6]。

数字渲染技术根据所处理的数据对象的不同可以分为基于图像的渲染(Image Based Rendering, IBR)和基于模型的渲染(Model Based Rendering, MBR)。IBR主要处理的数据对象是2D的图像数据,而MBR主要处理的数据对象是3D的模型数据。IBR方法通过变形插值生成新视点图像,提升了渲染速度。但是由于数据源中的空间信息不完备,会造成渲染质量的下降。MBR方法利用虚拟相机渲染生成新视点图像,可以获得高质量的光场图像,但是渲染效率有待提升。

MBR算法主要包括单视点渲染法(Single Viewpoint Rendering, SVR)、多视点渲染算法(Multiple Viewpoint Rendering, MVR)、光线追踪渲染算法(Ray Tracing Rendering, RTR)和并行多视点多边形光栅化渲染算法(Parallel Multi-view Polygon Rasterization, PMPR)等^[7]。1978年,IGARASHI Y等提出计算生成光场图像的方法,该方法逐视点、逐顶点的对光场图像进行渲染,其渲染时间随着视点数目线性增加,存在大量冗余计算,效率较低^[8]。1998年,HALLE M提出了一种MVR算法,该算法以SVR为基础,利用不同视点图像之间的相关性将渲染速度提升了一个数量级,并且可以使用图形处理器(Graphic Progressing Unit,

基金项目:浙江省自然科学基金(Nos. LTY22F020002, LY19F050018),浙江理工大学科研启动项目(No. 17062061-Y)

第一作者:周梦滔, user_zmt@outlook.com

通讯作者:楼益民, davislou@163.com; 吴锋民, wfm@zstu.edu.cn

收稿日期:2022-07-18; 录用日期:2022-09-01

<http://www.photon.ac.cn>

GPU)硬件进行加速计算^[9]。2017年,邢树军等提出了一种基于逆向光线追踪技术的高效RTR算法,该算法直接对3D场景中的光信息进行逐光线地采样,通过追踪大量光线和场景的碰撞实现新视点图像的渲染,获得了逼真的效果,并且利用层次化包围盒结构显著缩短了渲染时间。但是,由于RTR算法的计算量巨大,尚未能实现复杂场景的实时渲染^[10]。2020年,管延鑫等提出了一种PMPR算法,这种算法利用几何相关性和并行光栅化技术构建了一种超多视点光场图像的渲染管线,进一步提升了渲染速率^[11]。在场景复杂度为200万面片、总分辨率为 $7\,680 \times 4\,320$ 的情况下,渲染速率达到60帧/s,但由于该算法没有考虑光照模型和纹理映射等因素,其渲染的图像质量受限,且不能和传统的图形硬件渲染管线相兼容。

上述渲染算法,无论是IBR还是MBR方法都需要先计算获得多视点图像,然后通过编码将多视点图像转化为光场图像^[12-13],最后将这种光场图像输入到光场显示系统,实现深度正确的3D显示。为了简化渲染流程,进一步提升渲染效率,本文提出了一种基于共轭透视相关相机的光场图像快速渲染方法。通过构建共轭透视相机利用一步渲染即可实现光场图像的输出,解决了深度反转问题;然后利用相邻视点之间的图像的透视相关性减少了重复计算,实现了光场图像的快速渲染;最后搭建了与之匹配的光场显示系统,实现了虚拟场景的3D显示。所提算法省去了光场图像的编码过程,且具有渲染时间独立于视点数的特点,可以实现数以万计视点的光场信息的快速获取。该算法还与现有的纹理、光照算法相兼容,大幅提升了渲染的质量。

1 基本原理

1.1 传统光场图像采集及显示原理

光场显示包括信息采集和信息显示两个过程,如图1所示。信息采集过程首先读取3D模型数据,然后设立 $M \times N$ 个虚拟相机阵列对显示目标的多视点图像信息进行采集,再通过图像编码将多视点信息转化为光场图像信息。最后将光场图像输入显示系统实现目标场景的3D显示。

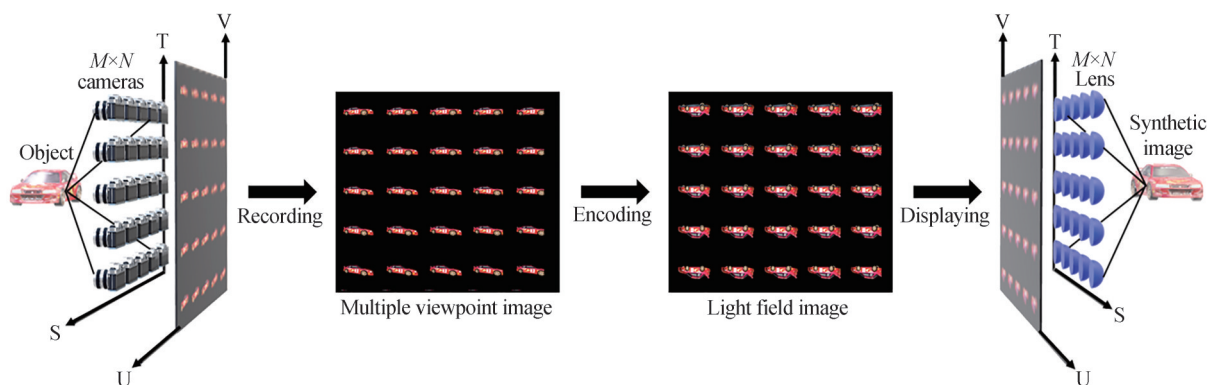


图1 传统光场图像的采集及显示原理

Fig. 1 The recording and displaying principle of traditional light field image

光场信息的采集时间包括模型数据的读取时间、多视点图像的渲染时间、图像编码时间和图像传输时间。其中从多视点图像到光场图像的编码过程是为了匹配信息采集系统所记录的光场参数和显示系统输出的光场参数之间的差异。目前对光场信息的获取算法的优化和提升主要集中在多视点图像的获取过程中。鲜有考虑多视点图像采集和图像编码过程的同步优化,从而限制了渲染效率的提升。

1.2 共轭透视相机渲染原理

为提高渲染效率,利用光场采集和显示信息之间的参数关系设计了一种共轭透视相机,实现了光场图像的一步采集,免去了图像编码过程。图2为不同相机的记录视景物和投影视景物之间的关系,其中图2(a)为传统透视相机的视景物及其投影效果,在其视景物所张的立体角内设置了近裁剪平面和远裁剪平面。在两个裁剪平面之间的3D物体以相机坐标为投影中心在近裁剪平面上形成投影图像。它所获得的图像与人眼观察该场景获得的图像效果类似,具有正透视关系,其透视投影矩阵为 P ,可表示为

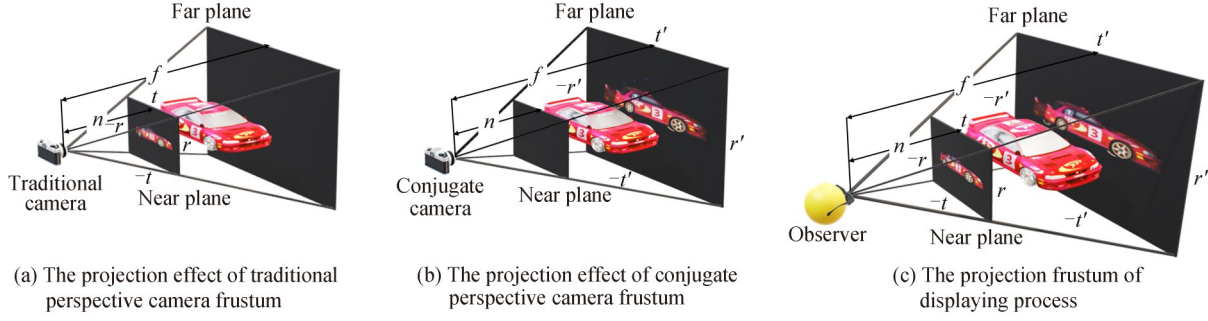


图2 记录视景物与投影视景物间的关系

Fig. 2 Relationship of recording frustum and displaying frustum

$$P = \begin{bmatrix} \frac{n}{r} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{n}{t} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{f+n}{n-f} & -1 \\ 0 & 0 & \frac{2nf}{n-f} & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, n 为视锥体近面裁剪面的 z 坐标, f 为远裁剪面的 z 坐标, r 、 t 分别为视锥体近裁剪面上的 x 、 y 坐标。这种投影方式获得的图像具有近大远小的比例关系和近景物体遮挡远景物体的消隐关系,光照模型一般为正常的冯氏模型^[14]。图2(b)为共轭透视相机的视景物及其投影效果。区别于传统的透视相机,在两个裁剪平面之间的三维物体以相机坐标为投影中心在远裁剪平面上形成投影图像,其透视投影矩阵为 P_c ,可表示为

$$P_c = \begin{bmatrix} \frac{n}{r'} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{n}{t'} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{f+n}{f-n} & -1 \\ 0 & 0 & \frac{2fn}{f-n} & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, r' 、 t' 分别为视锥体远裁剪面上的 x 、 y 坐标。这种相机所拍摄的物体具有近小远大的比例关系和远景物体遮挡近景物体的消隐关系,光照模型为冯氏光源的共轭光源。图2(c)为光场显示过程的投影视景物。对比图2(b)可知,除了光线传播方向相反外,图2(c)的投影参数与图2(b)完全相同。所以利用共轭透视相机可以直接获得与显示参数匹配的光场图像。通常,光场图像包含多个共轭透视投影相机渲染的图像单元。其各个单元的图像内容和位置坐标与投影显示单元的图像内容和位置坐标一一对应,所以利用共轭相机记录的光场图像可以省去图像编码步骤,直接输入显示系统合成3D图像。

1.3 共轭透视相关相机渲染管线

随着相机阵列规模的扩大,所需计算的共轭透视投影图像的数量也快速增加。为提升渲染效率,利用相邻共轭相机之间的透视相关性对渲染过程进行了加速。透视相关性描述的是一种从不同位置观察到的静态场景的图像之间的相似性。这种相似性源于场景的几何形态和纹理的变化与相机的位置之间存在的映射关系,这种关系在极平面坐标系中更为明确^[15]。

如图3,对于空间中的一个3D物点 v_0 或者 v_1 ,其在相机阵列的像平面上记录的多视点图像在极平面坐标系中可以用一条斜率为 k 的直线段进行描述。其中 k 由物点的深度和相机的焦距确定。线段的两个端点由左右两个端点相机记录的该点的图像的坐标确定。对于3D空间中由 v_0 和 v_1 定义的一条直线段,其在相机

阵列中记录的图像在极平面坐标系中可以表示为由两条不同斜率的直线和两条边缘平行线围成的阴影区域,如图3(c)。对于3D空间中的多边形,可以根据扫描线将其切割成一系列直线段,每一个直线段将在极平面坐标系中形成一个类似的阴影区域,这个区域定义为多边形切片轨迹(Polygon Slice Track, PST)。根据上述映射关系利用对PST的插值来代替矢量运算从而加速光场图像的渲染。

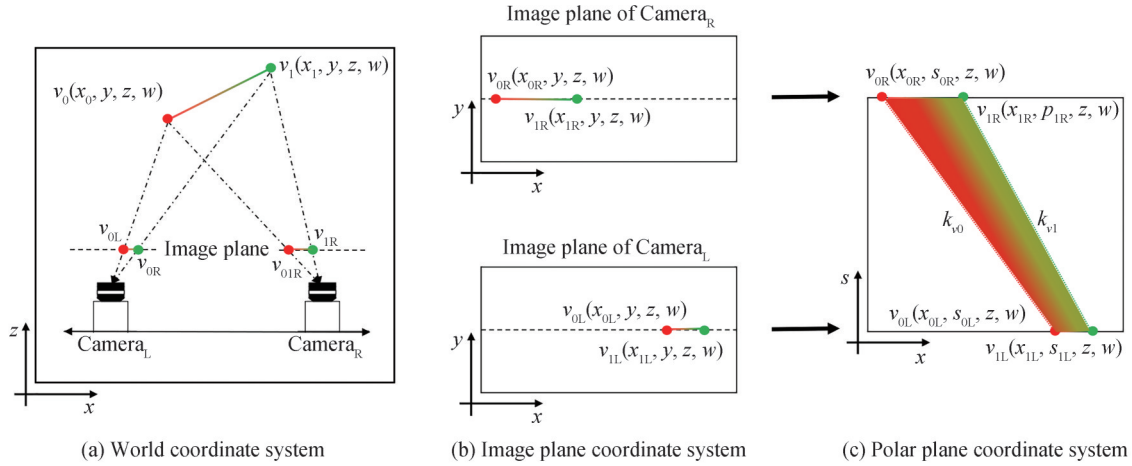


图3 极平面坐标系中三维物体的透视相关性

Fig. 3 Perspective coherence of three-dimensional objects in polar plane coordinate system

根据正常相机和共轭相机的深度映射关系和相邻共轭相机间的透视相关性,利用应用程序接口OpenGL设计了一套基于共轭相机的透视相关性的渲染管线,如图4所示,称之为共轭多视点渲染(Conjugate Multiple Viewpoint Rendering, CMVR)算法。该算法首先读取3D模型数据,利用顶点缓冲对象(Vertex Buffer Objects, VBO)技术存储解析后的模型的顶点数据(包括位置坐标、索引坐标、纹理坐标、法向量等)。利用顶点着色器将顶点数据组装成三角形传入几何着色器。在几何着色器中将同一组三角形对象根据左右相机参数进行坐标系转换,使其在屏幕坐标系下生成两组三角形对象,并将转换后的两组三角形对象的数据通过变换反馈技术(Transform Feedback, TFB)直接映射到本地端。接下来在本地端利用扫描线算法将三角形进行切片处理,并根据扫描线的y值将三角形切片添加到扫描线切片列表中。当所有三角形完成扫描线切片处理后,需要根据扫描线从下往上的方向对切片列表进行排序处理。当一行扫描线排序完成后,直接将当前扫描线的数据利用VBO技术直接传递给顶点着色器,在归一化坐标系(Normalized

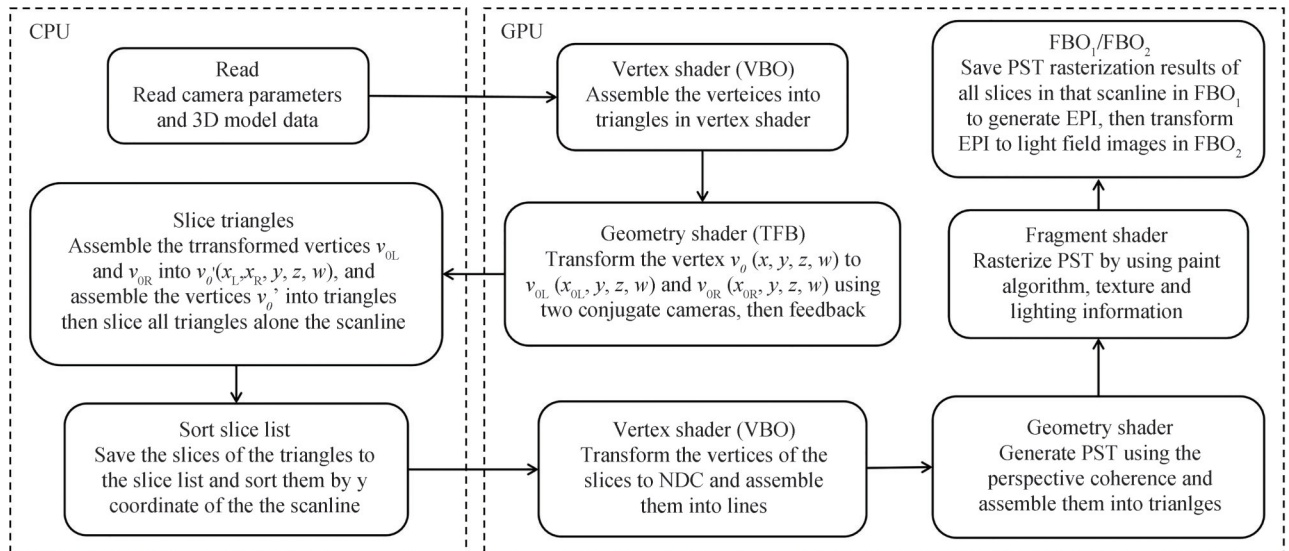


图4 基于共轭透视相关性的CMVR算法的渲染管线流程

Fig. 4 Rendering pipeline flow of CMVR algorithm using conjugate perspective coherence

Device Coordinates, NDC)下将其组装成线段供后续生成PST使用。这样做的好处是不需要保存所有扫描线切片列表的数据,不仅节省了内存硬件资源,也充分发挥了中央处理器(Central Processing Unit, CPU)和GPU之间的交互优势,从而提升了算法的渲染效率。之后利用几何着色器可生成新顶点的特性,根据透视相关性将顶点着色器传入的线段切片端点 v_0 和 v_1 转换成斜率为 k_{v_0} 和 k_{v_1} 的两条直线,其中斜率为 k_{v_0} 的直线的端点为 v_{0R} 、 v_{0L} ,斜率为 k_{v_1} 的直线的端点为 v_{1R} 、 v_{1L} 。当PST的四个顶点 v_{0R} 、 v_{0L} 、 v_{1R} 和 v_{1L} 生成后,将其组装成三角形传入片段着色器,并利用帧缓冲区(Frame buffer Objects, FBO)对PST进行离屏光栅化渲染。使用FBO技术可以拓展默认帧缓冲区的大小限制。当扫描线切片列表中一条扫描线上所有的切片生成的PST在FBO₁中光栅化完成后,得到当前扫描线在极平面坐标系下的极平面图像(Epipolar Plane Image, EPI)。最后根据EPI在光场图中的位置将其传入到FBO₂,当所有的扫描线完成EPI的渲染并传入FBO₂后,就可将FBO₂中得到的光场图输出到光场显示设备实现3D显示。

2 实验结果与分析

2.1 单视角共轭相机渲染实验

为了验证共轭透视相机的渲染效果,首先设计了单视角渲染实验。如图5,所渲染的对象是一个赛车模型,渲染的分辨率为 222×222 。图5(a)、(b)分别是传统透视相机和共轭透视相机渲染的图像。经对比可知,图5(a)具有正透视投影效果。最明显的特征是相机拍摄到的是靠近相机一侧的车门和车轮,即近景遮挡远景。而且靠近相机近裁剪面的车轮(左)大于远离相机近裁剪面的车轮(右),即近大远小。图5(b)则相反。相机拍摄到的是远离相机一侧的车门和车轮,包括图5(a)中被遮挡的车尾和尾翼,即远景遮挡近景。而且靠近相机远裁剪面的车轮(右)小于远离相机远裁剪面的车轮(左),即近小远大。图中的光照模型采用无限远光源。图5(a)中的光线从靠近相机的一侧射向远离相机的一侧。图5(b)中的光线是其共轭方向,即从远离相机的一侧射向相机。上述特征说明了共轭相机的有效性。

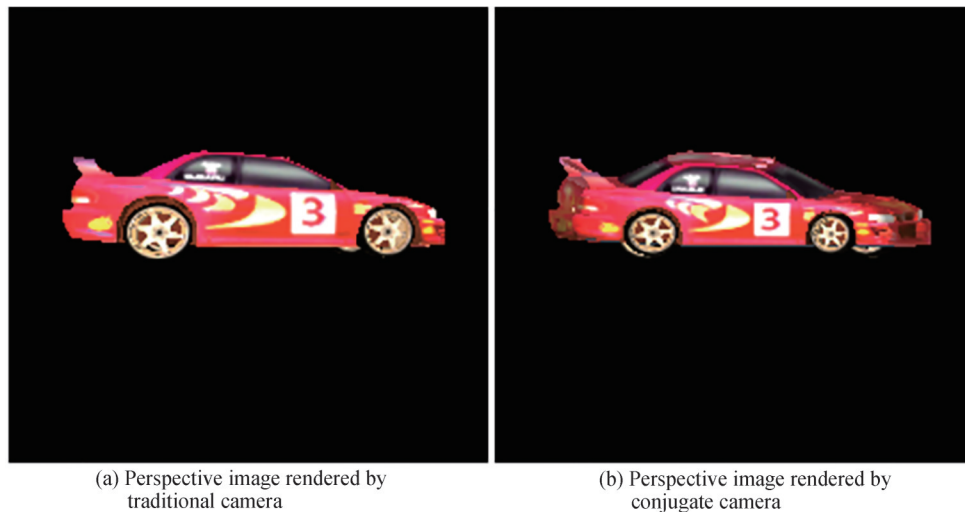


图5 单视角渲染结果

Fig. 5 Single view rendering results

2.2 共轭透视相关相机光场图像渲染实验

利用透视相关性可以加速光场图像的渲染。为验证渲染算法的有效性,对图5中的车模型利用图4所示算法进行了光场图像的渲染实验。渲染结果如图6。图6(a)是其中一条扫描线的EPI图像。该图由许多不同斜率的直线段构成,每一条直线段都记录了一个具有一定深度的3D物点,很好地体现出了相机之间的透视相关性。图中的插图分别为左右两边白色方框区域的放大图,可以清楚地观察到图像由暗到明的渐变过程,说明所提算法可以较好地渲染光照阴影效果。图6(b)为利用CMVR算法渲染的由 18×10 个单元构成的基元图阵列(Elemental Image Arrays, EIA)形成的光场图,右上角的插图为白色方框区域的放大图,该插图与图5(b)所示的视图具有相同的视点、相同的分辨率和相同的相机参数。不同的是图5(b)是由

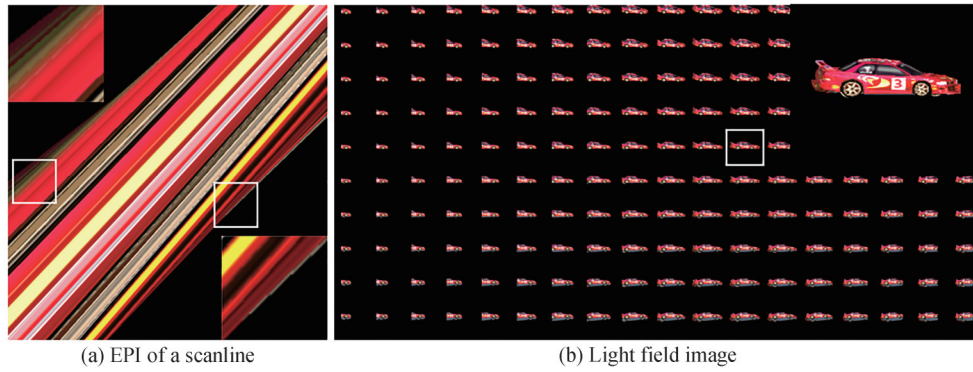


图6 车模型的光场图像渲染结果
Fig. 6 Rendering results of the light field image of the car model

OpenGL 的渲染管线渲染的结果。为了定量评估渲染质量,以图 5(b)为基准计算了两者的结构相似度 (Structure Similarity Index Measure, SSIM)。SSIM 是一种衡量两幅图像相似程度的指标,取值区间为 0 到 1,越接近 1 说明两者差别越小,图像质量越高。结果显示两者之间的结构相似度达到了 0.94,说明 CMVR 算法可以获得与基于商业应用程序接口的渲染管线相媲美的效果,很好地证明了 CMVR 算法的有效性。

为了验证光场图的实际显示效果的正确性,将光场图输入到如图 7 所示的光场显示系统进行显示实验。该显示系统主要由光源、LCD 显示屏幕、透镜阵列、散射屏构成。光场显示系统的具体参数如表 1。其 3D 显示效果如图 8,其中图 8(a)~(e)分别显示了 3D 图像的左、中、右、上、下五个视角的观察效果。结果显示 3D 图像具有很好的水平视差和垂直视差,光场图通过显示系统在空间中合成了正确的 3D 图像,且具有良好的立体效果,证明了所提算法的正确性。

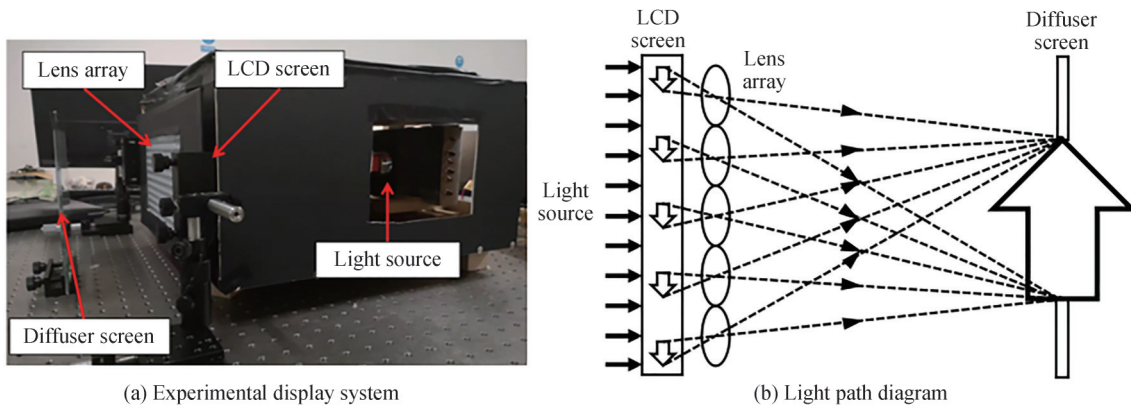


图7 实验显示系统与光路
Fig. 7 Experimental display system and light path

表 1 显示设备参数
Table 1 Display device parameters

Component	Parameter	Value
LCD screen	Resolution/pixel	4 096×2 160
	Pixel size/ μm	54.1×54.1
Len array	Number of elemental lens	18×10
	Pitch of elemental lens/mm	12
	Focal length/mm	7.6
EIA	Number of EIA	18×10
	Pixel number of each EI	222×222
3D Images	Field angle/ $^\circ$	70
	Depth of filed/cm	3.26

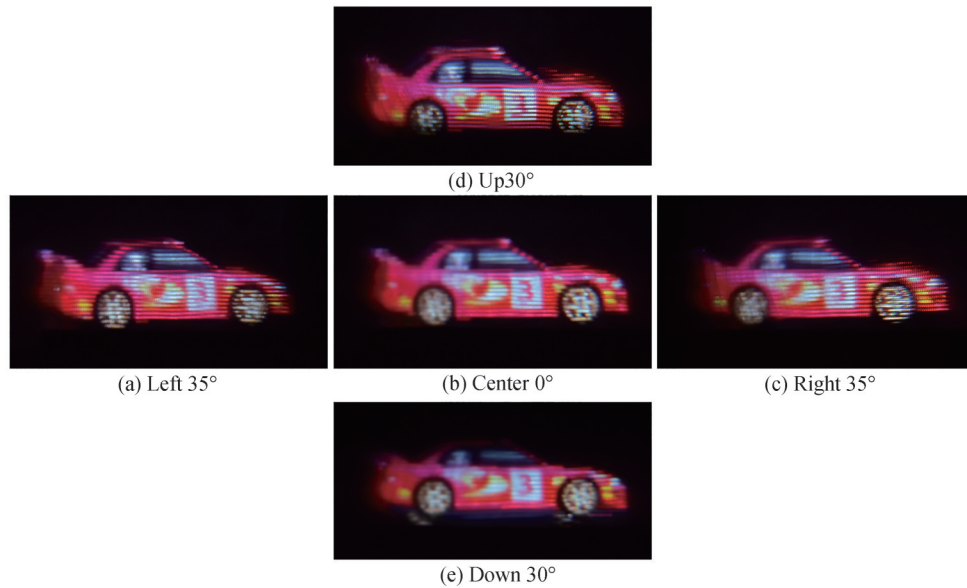


图8 三维图像的左、中、右、上、下五个视角的观察效果

Fig. 8 Five perspective views of left, middle, right, top and bottom of the 3D image

2.3 算法对比分析

所提算法在可编程 OpenGL 图形渲染管线的基础上,利用 CPU 和 GPU 之间的交互技术实现了多视点渲染,充分发挥了硬件优势,大幅提高了渲染效率。为证明算法的效率优势,将本算法与传统 SVR 算法进行了比较,设计了两个渲染实验。实验所用的个人电脑配置了 Intel(R) Core(TM) i7-10510U CPU@1.80 GHz, 8.00 GB RAM 和 NVIDIA GeForce MX250 图形显卡。为了更清楚地分析两种算法的渲染效率,主要对比了两种算法的核心计算过程所需要的时间,实验中统计的时间不包含读取模型的时间和保存渲染结果的时间,理论上两种算法读取同一模型和保存相同的数据所需要的时间是一样的。

实验一测试了两种算法对相同复杂度的几何模型不同视点数目光场图的渲染性能,对比渲染时间随着渲染视点数目变化而变化的趋势。实验选用的 Ball 模型包括 55 140 个三角形、29 189 个顶点。如图 9 所示,通过实验发现,和预期一样 SVR 算法的渲染时间随着视点数的增加而线性增加。但是利用其渲染不同分辨率的图像所需的时间几乎不发生变化,也就是说 SVR 算法对图像分辨率不敏感。对于 CMVR 算法,当图像分辨率一定时,其渲染时间随着视点数的增加而几乎不变。因为由单视点渲染实验对图像分辨率不敏感的特性可知,在相同的条件下,光栅化不同分辨率的 PST 的时间也几乎是一个定值。即所提算法的渲染时间对视点数目不敏感,有利于密集视点光场图的渲染。当视点数目一定时,CMVR 算法所需时间随着图像分辨率的增加而增加。这是由于 CMVR 算法需要将三角形处理成多边形切片,当分辨率增大时,同一个三

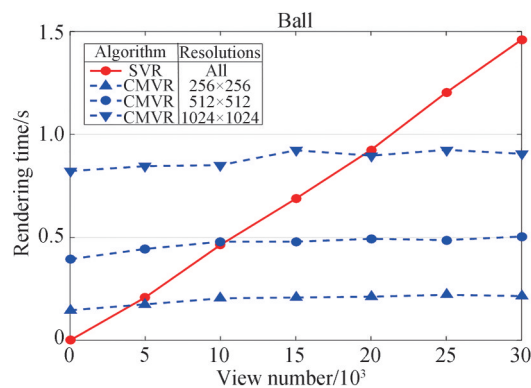


图9 同一模型不同分辨率条件下两种算法的渲染时间与视点数目的关系

Fig. 9 The relationship between the rendering time of the two algorithms and the number of viewpoints under the condition of different resolutions of the same model

角形需要处理的切片数会增加,切片处理的时间随之增加。因此CMVR算法是受分辨率影响的。当光栅化PST减少的时间等于切片支出的时间时,达到收支平衡,之后CMVR算法开始发挥出算法优势。

实验二测试了两种算法对相同图像分辨率不同复杂度的几何模型的渲染性能,同样测试渲染时间随着渲染视点数目变化而变化的趋势。实验选用的car模型包括5 207个三角形、2 907个顶点,heart模型包括14 979个三角形、8 242个顶点,ball模型的参数和实验一相同。如图10所示,对于SVR算法,在相同图像分辨率的情况下,对于所有不同的视点数目,算法所需的时间都随着模型中顶点数量和三角形面片数量的增加而增加。因为随着模型复杂度的增加,所需的坐标变换和光栅化等相关的计算量将随之增加。故SVR算法受模型复杂度的影响。对于CMVR算法,在相同图像分辨率的情况下,对于所有不同的视点数目,算法所需时间同样都随着模型复杂度的提高而增加。故CMVR算法也受模型复杂度的影响。因为三角形面片的增加会导致需要处理的切片数量增加,所以切片的时间出现一定程度的增加,但是由于光栅化PST的时间对视点数目不敏感,所以其渲染时间随着视点变化基本趋于稳定。同样当光栅化PST减少的时间等于切片支出的时间时,达到收支平衡。所以对于不同复杂度的模型,两种算法的交点不同,也就是收支平衡点不同。过了平衡点之后,CMVR算法继续开始发挥出算法优势。

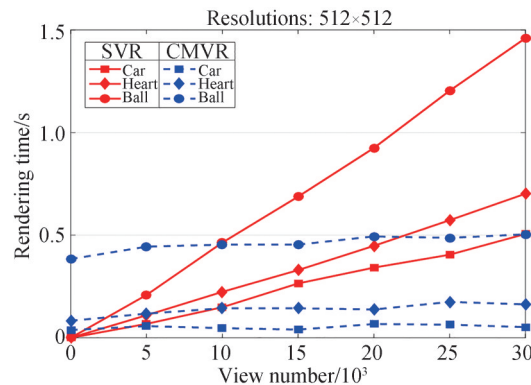


图10 不同模型同一分辨率条件下两种算法的渲染时间与视点数目的关系

Fig. 10 The relationship between the rendering time of the two algorithms and the number of viewpoints under the condition of different models and the same resolution

3 结论

本文提出并验证了一种基于共轭透视相关相机的光场图像渲染方法。利用正常透视相机和共轭透视相机之间的深度映射关系省去了传统光场图生成过程中的图像编码流程,实现了深度正确的光场图像的一步渲染。在此基础上利用共轭透视相机之间的透视相关性进一步提高了光场图的生成效率。结合CPU和GPU混合编程技术,利用可编程的OpenGL图形渲染管线实现了所提出的CMVR算法。通过两组对比实验证明CMVR算法对视点数目不敏感,特别适合超多视点光场图的生成。而且这种算法能够兼容图形学中的纹理、光照等技术实现逼真的渲染效果。最后利用自行搭建的光场显示系统合成了虚拟模型的3D图像,其具有良好立体效果。所提出的CMVR算法在提高渲染效率的同时可以实现逼真场景的渲染和显示,有望在光场显示领域推广应用。

参考文献

- [1] YAN Zhan, SONG Zheng, CHEN Zhuo. Classification and development of 3D display technology [J]. Science and Technology Communication, 2021, 13(5):155-157.
燕展, 宋征, 陈卓. 三维显示技术的分类概述与发展[J]. 科技传播, 2021, 13(5): 155-157.
- [2] LI Yong, LU Shijiang, SONG Fang, et al. 3D video capture and display of real scenes[J]. Acta Photonica Sinica, 2011, 40(11): 1706-1710.
李勇, 卢世江, 宋芳, 等. 真实场景的三维视频采集及显示[J]. 光子学报, 2011, 40(11): 1706-1710.
- [3] WILBURN B, JOSHI N, VAISH V, et al. High performance imaging using large camera arrays[J]. ACM Transactions on Graphics, 2005, 24(3): 765-776.
- [4] TAN Z P, THUROW B S. Perspective on the development and application of light-field cameras in flow diagnostics[J]. Measurement Science and Technology, 2021, 32(10):101001.

- [5] IGARASHI Y, MURATA H, UEDA M. 3-D display system using a computer generated integral photograph [J]. Japanese Journal of Applied Physics, 2014, 17(9): 1683-1684.
- [6] ZHOU Yu, YUAN Yan, HU Huanghua, et al. Research on the evaluation method of digital focus light field imaging sharpness[J]. Acta Optica Sinica, 2010, 39(6): 1094-1098.
周宇, 袁艳, 胡煌华, 等. 数字对焦光场成像清晰度评价方法研究[J]. 光子学报, 2010, 39(6): 1094-1098.
- [7] XING Shujun, CAO Liangcai, SANG Xinzhu, et al. Overview of virtual stereo content generation technology for super multi-view light field[J]. Chinese Journal of Lasers, 2021, 48(15): 1509001.
邢树军, 曹良才, 桑新柱, 等. 面向超多视点光场的虚拟立体内容生成技术综述[J]. 中国激光, 2021, 48(15): 1509001.
- [8] IGARASHI Y, MURATA H, UEDA M. 3-D display system using a computer generated integral photograph [J]. Japanese Journal of Applied Physics, 1978, 17(9): 1683-1684.
- [9] HALLE M. Multiple viewpoint rendering[C]. Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques ACM, 1998: 243-254.
- [10] XING Shujun, SANG Xinzhu, YU Xunbo, et al. High-efficient computer-generated integral imaging based on the backward ray-tracing technique and optical reconstruction[J]. Optics Express, 2017, 25(1): 330-338.
- [11] GUAN Yanxin, SANG Xingzhu, XING Shujun, et al. Parallel multi-view polygon rasterization for 3D light field display [J]. Optics Express, 2020, 28(23): 34406-34421.
- [12] NAVARRO H, MATINEZ-CUENCA R, SAAVEDRA G, et al. 3D integral imaging display by smart pseudoscopic-to-orthoscopic conversion (SPOC)[J]. Optics Express, 2010, 18(25): 25573-25583.
- [13] SANG Xinzhu, YU Xunbo, CHEN Duo, et al. Research progress on 3D optical display technology [J]. Laser and Optoelectronics Progress, 2017, 54(5): 050006.
桑新柱, 于迅博, 陈铎, 等. 三维光显示技术研究进展[J]. 激光与光电子学进展, 2017, 54(5): 050006.
- [14] BISHOP G, WEIMER D M. Fast phong shading[J]. ACM Siggraph Computer Graphics, 1986, 20(4): 103-106.
- [15] BOLLES R C, BAKER H H, MARIMONT D H. Epipolar plane image analysis: An approach to determining structure from motion[J]. International Journal of Computer Vision, 1987, 1(1): 7-55.

Rendering and Display of Light Field Images Using Conjugate Perspective Coherence Cameras

ZHOU Mengtao, LOU Yimin, HU Juanmei, FENG Yushun, WU Fengmin
(Key Laboratory of Optical Field Manipulation of Zhejiang Province, Department of Physics,
Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Light field display is an important true Three-dimensional (3D) display technology. It can provide the observers with rich 3D perception such as binocular parallax, motion parallax, monocular focusing, and so on. Light field display technology has a wide range of applications in various fields such as industrial and agricultural production, daily life, military defense, game and entertainment. It is a platform technology, so it has attracted much attention. High-quality light field display requires a large amount of light field image information. How to quickly acquire light field image information is still an important challenge in this field.

The light field information acquisition technique mainly includes two categories one is optical acquisition technique and the other is digital rendering method. Optical acquisition technique can capture light field information of real scenes, but the acquisition system is complex and requires precise calibration. The digital rendering method uses computer technique to generate light field images. It can be combined with computer graphics technology to render special artistic effects flexibly. Model-based Rendering (MBR) and Image-based Rendering (IBR) are two typical digital rendering methods. The MBR method can get high-quality light field images, but the rendering efficiency needs to be improved. The IBR method renders faster, but the image quality needs to be enhanced. Both of these methods suffer from the pseudoscopic problem of 3D images.

In order to improve the rendering efficiency and quality of light field images, a rendering algorithm of light field image and display system based on conjugate perspective coherence camera are proposed. The algorithm is called Conjugate Multiple Viewpoint Rendering (CMVR). The depth mapping relationship

between a normal perspective camera and a conjugate perspective camera is analyzed. The conjugate perspective cameras are constructed and used to render the light field images without pseudoscopic problem in one step. Therefore, the image encoding process is avoided. At the same time, the perspective coherence between the conjugate cameras is used to reduce the redundant calculation and accelerate the rendering process. Compared with traditional algorithms, the proposed algorithm has strong parallel processing capability and is suitable for existing graphics processing hardware to accelerate the process. The rendering pipeline for light field images is built using a hybrid programming technique of CPU and GPU. The test results show that the CMVR algorithm can achieve good image quality comparable to the rendering pipeline of commercial application program interface OpenGL. The rendering efficiency of CMVR algorithm is higher than traditional single viewpoint rendering algorithm when the viewpoint number is larger. The CMVR algorithm is insensitive to the number of viewpoints, and is especially suitable for the rendering of high-density light field images. And the more viewpoints are rendered, the more obvious the efficiency improvement is. In addition, the algorithm can also be effectively compatible with texture mapping, lighting and other technologies in computer graphics to achieve realistic scene rendering. In order to verify the correctness of the algorithm, a light field display system is built. The display system is mainly composed of a light source, a high-resolution LCD display screen, a lens array and a diffuser screen. The 3D images of virtual scenes with good horizontal and vertical parallax are outputted by using the rendered light field images and display system. Vivid 3D imaging effects are obtained. The proposed algorithm can provide an effective tool for fast rendering of light field images. It can also be used in dynamic 3D display, augmented reality, virtual reality, and other fields.

Key words: Light field display; Light field image; Perspective coherence; Rendering pipeline; Computer graphics

OCIS Codes: 110.3010; 110.6880; 110.2960; 110.1758; 110.2990