

中图分类号: TN23; TP237 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2011)08-1466-08

论文索引信息: 岳键, 樊琼剑, 沈春林. 体扫描显示系统中螺旋旋转屏及螺旋切片生成算法 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(8): 1466-1473

# 体扫描显示系统中螺旋旋转屏及螺旋切片生成算法

岳键<sup>1),2)</sup>, 樊琼剑<sup>1),3)</sup>, 沈春林<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(南京航空航天大学自动化学院, 南京 210016) <sup>2)</sup>(南京信息工程大学计算机与软件学院, 南京 210044)

<sup>3)</sup>(空军航空大学航空控制工程系, 长春 130022)

**摘要:** 为了改善平面旋转屏体扫描显示系统中存在的成像空间较小、体素数量较少和体素重叠死区严重等缺陷, 系统采用螺旋旋转屏构建体3维显示系统的成像空间。根据螺旋屏旋转构成的成像空间的特点, 提出了利用螺旋面的素线和3维模型的三角面片求交的算法生成螺旋切片。该算法根据螺旋旋转屏的不同旋转位置的角度信息, 把3维模型离散成有序的螺旋切片序列。实验结果表明, 螺旋旋转屏的性能优越以及所提出的算法方便有效。

**关键词:** 真3维显示; 体3维显示; 体扫描; 螺旋旋转屏; 螺旋切片

## Helix rotation screen and the generation algorithm of helix slice in volumetric-swept display system

Yue Jian<sup>1),2)</sup>, Fan Qiongjian<sup>1),3)</sup>, Shen Chunlin<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, College of Automation Engineering, Nanjing 210016 China)

<sup>2)</sup>(Nanjing University of Information Science and Technology, College of Computer Science and Technology, Nanjing 210044 China)

<sup>3)</sup>(Department of Aviation Control, Aviation Univ. of Air Force, Changchun 310022 China)

**Abstract:** In order to meliorating defects, such as smaller image space and fewer voxels and severer voxel overlap dead zone caused by planar rotational screen in volumetric-swept display system, the system adopted helix rotation screen to construct an imaging space in volumetric-swept display system. Considering the characteristics of the imaging space, the generation algorithm for helix slices of the 3D model was proposed. It calculated the points of intersection crossed by simple-lines of the helicoids and triangular elements of 3D model and obtained the helix slices. This algorithm dispersed the 3D model into a set of consecutive helix slices according to the angle information of the rotational helix screen. The experimental results showed that the helix rotational screen performance was superior to plane rotational screen, and the proposed algorithm is convenient and effective.

**Keywords:** true 3D display; volumetric 3D display; volumetric-swept; helix rotational screen; helix slice

收稿日期: 2010-01-06; 修回日期: 2010-02-01

基金项目: 国家高技术发展研究计划(863)项目(2007AA01Z338); 中国博士后科学基金项目(20080441051); 江苏省博士后科学基金项目(0802014c)。

第一作者简介: 岳键(1965—), 男, 副教授。南京航空航天大学自动化学院导航制导与控制专业博士研究生, 主要研究方向: 真3维显示技术等。E-mail: yuejian@nuist.edu.cn。

## 0 引言

真3维显示技术主要包括全息3维显示技术和体3维显示技术等。全息3维显示技术是利用光的干涉原理,将物体散射或发射出的特定光波以干涉条纹的形式记录下来,再根据光的衍射原理完成原物体再现的技术。全息3维显示技术在理论上有着最好的3维显示性能,但由于系统设备非常复杂,许多实际问题无法解决,因此很难在短期内取得实用化进展。体3维显示技术是以体素作为显示3维图像信息的基本要素,运用适当的方式激励半透明的成像空间中的介质,产生可见光体素,大量分散的体素在具有宽度、高度和深度的3维成像空间内实现3维模型信息的再现技术<sup>[1-3]</sup>。

体3维显示技术有着广泛应用,如DNA螺旋结构的真实表述和大飞机工程等重大项目研究中,体3维显示技术可提供更为有效的分析与操控的3维平台。体3维显示技术是近年来国内外科科研机构研究的重要课题之一,并有了很大进展。德州仪器公司的研究人员应用激光扫描旋转螺旋面产生3维图像的技术开发了 OmniView™ 显示设备<sup>[4]</sup>。德国的青年研究中心等研究机构又利用三色激光器扫描快速旋转的螺旋屏生成3维图像的技术,研制了 Felix 3D 系统<sup>[5]</sup>。美国 ActualitySystems 公司利用高速 DLP 投影仪,将2维截面序列投射到一个快速旋转的散射屏上实现3维显示的技术研制了 Perspecta™ 3D System 系统<sup>[6]</sup>,进一步促进了真3维显示技术的发展。

国内对体显示技术研究尚处于原理性探索或实验演示阶段,南京航空航天大学自动化学院和中科院自动化所通过多年的合作研究,在这个领域有了较大进展,研制了平面旋转屏体扫描显示系统和螺旋面旋转屏体扫描显示系统原型<sup>[7-9]</sup>。

## 1 体扫描3维显示系统

### 1.1 前期的研究工作

自2000年起,我们致力于体扫描3维显示技术的探索、开发和研制工作,采用体扫描显示技术先后成功地研制了基于全固态激光器的平面旋转屏体扫描显示系统<sup>[7]</sup>和基于DMD(数字微镜器件)的平面旋转屏体扫描显示系统<sup>[8]</sup>。这两个显示系统的共

同特点是:

- 1) 采用平面旋转屏扫描构建成像空间;
- 2) 体素生成是利用平面切片生成算法;
- 3) 体素激活的方式是使用被动光源,即激光或投影在成像空间中激活体素。

图1和图2分别为3维模型在激光平面旋转屏体扫描系统和DMD投影平面旋转屏体扫描系统中的显示效果。可以看出:通过改进系统的体素激活方式,图2所示的飞机模型的显示效果与图1相比较在清晰度上有了很大的改善,但由于平面旋转屏构建的成像空间有着固有的缺陷,依然存在成像较小、显示亮度不均匀和模型表面轮廓模糊不清等问题。

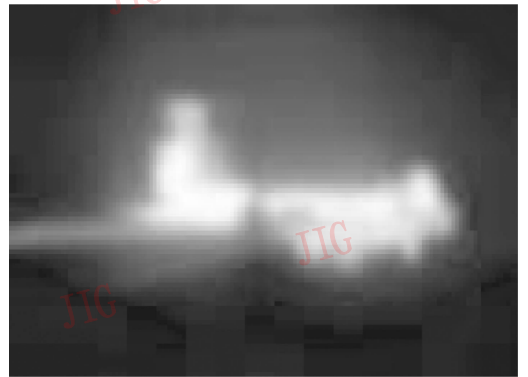


图1 激光体扫描3维显示系统中的显示效果

Fig. 1 Display result in laser volumetric-swept 3D display system



图2 DMD投影3维显示系统的显示效果

Fig. 2 Display result in DMD volumetric-swept 3D display system

### 1.2 螺旋旋转屏体扫描显示系统

针对平面旋转屏构建的成像空间中固有的缺陷,采用螺旋旋转屏替代了平面旋转屏,进一步研发

了螺旋旋转屏体扫描显示系统原型机,命名为 Helix-3D 系统。

Helix-3D 总体设计方案综合了 Felix 3D 系统的物理模型和 Perspecta™3D 系统的结构。Felix 3D 系统是利用三色激光器扫描一个快速旋转的螺旋屏方法,通过调制器和扫描器分别控制激光的强度和偏转角度,在螺旋屏表面上产生瞬时光点,实现 3 维图像的显示<sup>[5]</sup>,缺点是激光扫描器的速度有限,系统只能以串行方式传输数据流,一次只能产生一个体素。Perspecta™3D 系统利用高速 DLP 投影仪,将 2 维截面序列投射到一个快速旋转的散射平面屏上,形成空间 3 维图像<sup>[6]</sup>。用 DLP 投影仪取代激光器解决了 Felix 系统在数据流传输时的低带宽问题,但为了解决因平面屏而带来的体素重叠死区等缺陷,系统引入了复杂精密的光学中继转向器件,因而设备价格十分昂贵。

Helix-3D 系统的实现方案是基于旋转螺旋屏和 DMD 的体 3 维显示系统。系统由软、硬件两部分组成。控制主机,数据预处理模块,3 维图像引擎构成软件系统,基于 DMD 的 DLP 投影设备和控制器,显示设备构成硬件系统。DMD 是光空间调制器件 SLM(spatial light modular)中反应速度最快的器件,DMD 的作用是将信息加载于 2 维光场,对 2 维空间各点光强进行调制后以光波的形式并行输出,可达到同时激活多个体素的目的<sup>[10-11]</sup>。将 DMD 的调制时序与螺旋面的旋转位置同步,便可在螺旋面构建的成像空间中产生 3 维图像。图 3 所示为所研制的具有自主知识产权的螺旋面旋转屏 3 维显示系统原型机,Helix-3D 系统<sup>[12]</sup>。

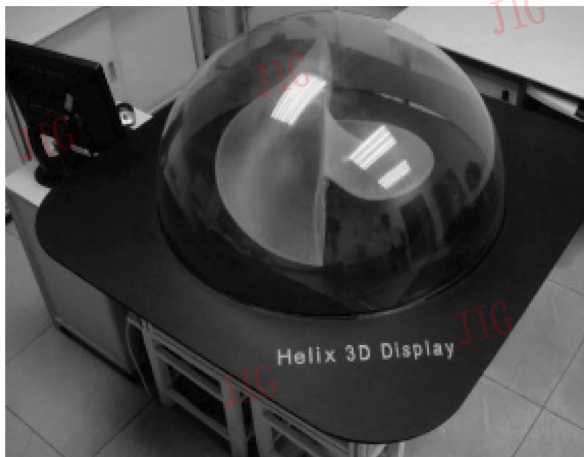


图 3 Helix-3D 系统

Fig. 3 Helix-3D system

## 2 体扫描系统中的螺旋面旋转屏

在体扫描显示系统中用螺旋面旋转屏取代平面旋转屏,利用螺旋面固有的优越特性扩张成像空间、改善体素重叠死区和提高切片内体素数量等。

### 2.1 扩张成像空间

成像空间是由快速旋转的几何表面,形成的半透明 3 维可编址物理空间。由于螺旋面旋转屏的特征,在构建成像空间的过程中,螺旋面承受的离心力和重力的方向保持不变,可将整个螺旋结构简化为仅受离心力载荷的运动模型。因此随着螺旋屏的增大,所受的风阻增加率比平面旋转屏所受的风阻增加率减缓很多,这样可大大扩张系统的成像空间。图 4 为所设计的螺旋旋转屏。

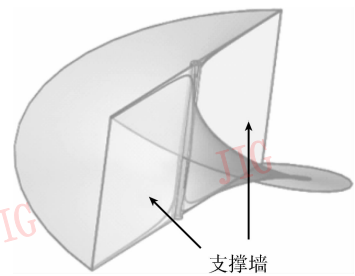


图 4 螺旋旋转屏

Fig. 4 The helix screen

### 2.2 改善体素重叠死区

理想的体扫描显示系统的成像空间应是均匀、同一的,但实际上存在死区现象。死区是成像空间中,由于缺失某个或某些成像空间的特征,引起图像质量的下降的特殊区域<sup>[1]</sup>。成像空间不同的几何参数可能导致不同类型的死区,如体素重叠死区、体素变形死区、视觉死区和阴影死区等。其中体素重叠死区是成像空间中存在相邻体素有部分重叠的区域,造成在该区域中成像不清晰。体素重叠死区是造成图 1 和图 2 的显示效果中模型表面轮廓模糊不清的主要成因之一。

螺旋旋转屏与平面屏的结构和体素的形成机理有很大的不同,见图 5 和图 6。1)结构上,在成像空间中固定方向的光束与旋转的螺旋面的入射角度的变化率远比光束与旋转平面的入射角的变化率小,造成光束在屏幕上的投影点大小较均匀,减缓了相邻体素发生重叠的现象。2)形成机理上,旋转螺旋面片上的像素可等价于沿轴向在两个相距  $360/N$

( $N$ : 螺旋面旋转屏切片数量)的螺旋面间作垂直拉伸形成体素,而平面屏是沿周向拉伸,形成体素的。这样螺旋屏巧妙地避免了平面屏由于同心圆的周长由外向内逐渐缩短,造成越接近中心轴的圆周上的体素越小,导致中心区域附近的体素不均匀现象,弱化了中心轴附近的体素重叠现象。

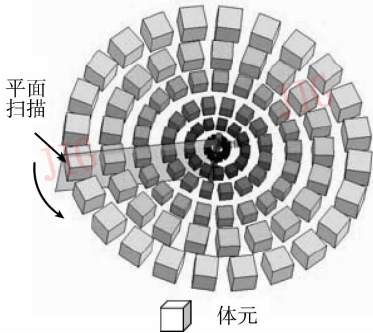


图 5 平面屏造成的体素重叠

Fig. 5 Voxel overlap caused by planar rotational screen

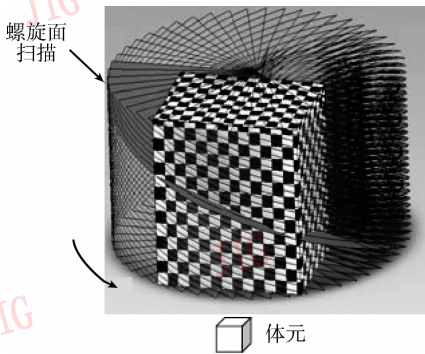


图 6 螺旋面扫描形成的均匀成像空间

Fig. 6 Uniformity space is formed from helix rotational screen

### 3 体扫描系统中螺旋切片生成算法

根据螺旋旋转屏体扫描显示系统的基本原理,3 维模型螺旋切片生成算法是螺旋旋转屏 3 维显示系统中体素生成子系统的核心技术。在体素生成子系统中,输入 3 维模型数据,根据螺旋旋转屏高速旋转构成的成像空间的特征,螺旋切片生成算法是对输入的几何模型进行基于体素的均匀切片,完成从 3 维图像到 2 维切片序列的离散映射。旋转的螺旋屏截获高速图像投影设备的快速、连续投影的这些 2 维切片序列的图像,传送到视网膜形成真 3 维图像的立体视觉。

#### 3.1 螺旋旋转屏的数学模型

一动点沿圆柱面上的母线作等速移动,而同时该母线又绕圆柱轴线作等角速度回转时,动点在圆柱面上所形成的曲线,称为圆柱螺旋线<sup>[13]</sup>。螺旋线的方程为

$$\begin{cases} x = r \cos \theta \\ y = r \sin \theta \quad 0 \leq \theta \leq 2\pi \\ z = \frac{h}{2\pi} \theta \end{cases} \quad (1)$$

式中, $r$  为螺旋线水平投影圆半径,  $\theta = \omega t$ ,  $\omega$  为角速度, $h$  为螺距。

以始终与圆柱轴线垂直的直线为母线,沿圆柱螺旋线运动形成的曲面为正螺旋面,即为螺旋旋转屏的数学模型。

螺旋面由  $n$  条直素线组成,  $i = 1, 2, \dots, n, h$ , 为螺旋面的螺距。第  $i$  条直素线的方程为

$$\begin{cases} x = r' \cos\left(\frac{2\pi i}{n}\right) \\ y = r' \sin\left(\frac{2\pi i}{n}\right) \quad 0 \leq r' \leq r \\ z = h \frac{i}{n} \end{cases} \quad (2)$$

由此,螺旋面旋转一个角度时,第  $i$  条素线的轨迹方程为

$$\begin{cases} x = r' \cos\left(\frac{2\pi i}{n}\right) \cos \beta - r' \sin\left(\frac{2\pi i}{n}\right) \sin \beta \\ y = r' \cos\left(\frac{2\pi i}{n}\right) \sin \beta + r' \sin\left(\frac{2\pi i}{n}\right) \cos \beta \\ z = h \frac{i}{n} \end{cases} \quad (3)$$

式中, $\beta$  为螺旋面的旋转角,根据显示系统所需的切片数  $N$ ,产生每个有序切片对应的螺旋面旋转角  $\beta = \frac{2\pi j}{N} (j = 0, \dots, N - 1)$ 。

#### 3.2 螺旋切片生成算法

3 维模型输入到螺旋旋转屏体扫描显示系统中体素生成子系统后,经过螺旋切片算法处理,模型的 3 维数据离散成一系列有序的螺旋切片 2 维数据。

3 维模型螺旋切片生成算法利用螺旋面结构,把整个 3 维数据沿  $Z$  轴切割成  $N$  片具有螺旋面的形状的切片,片与片之间相差  $360/N$  度空间旋转角。图 6 为 3 维数据的螺旋切片操作的原理示意图。

3 维模型主要有 3DS、STL 等文件格式,数据源是由三角网格组成,经过正则处理后通过读取程序

软件可得到模型的三角面片和顶点信息,得到 3 维模型的所有三角片的 3 个顶点,其中第  $i$  个三角片的顶点为:  $V_i(x_i, y_i, z_i)$ 、 $V_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1}, z_{i+1})$ 、 $V_{i+2}(x_{i+2}, y_{i+2}, z_{i+2})$ , 则三角片内点的方程为

$$Q_{u,v,w} = wV_i + uV_{i+1} + vV_{i+2} \quad (4)$$

式中  $(w, u, v)$  为三角片的重心坐标,且  $w + u + v = 1$ 。

将式(3)带入式(4)可求出 3 个参数  $r'$ ,  $u$ ,  $v$ , 如果  $0 \leq u \leq 1, 0 \leq v \leq 1, u + v \leq 1$  可判断交点在三角片内,即是所求交点。

不同旋转角  $\beta$  的螺旋面上的所有素线与 3 维模型的三角片的交集,即是所求的一个螺旋切片。

在基于 OpenGL 的 3 维可视化平台上,螺旋面切片算法执行核心伪代码为:

```

for each face
{
    获取面片的切片范围
}
    面片的最大高度, top
    面片的最小高度, bottom
    面片的起始角度, start
    面片的终止角度, end
}

```

根据面片的范围得到切片索引,  $maxindex$  &  $minindex$ 。根据切片范围和索引,对模型进行切片处理,并把得到的交点数据保存在螺旋面数据结构中。

```

for each helix from minindex to maxindex
{
    for each line from start to end
    {
        得到素线方程与面片方程切线的点
        if(切得的点在三角面片内)
        {
            存入对应的螺旋面中
        }
    }
}

```

### 3.3 实验结果与分析

表 1 是运用上述螺旋切片生成算法,选择 3 种具有不同数量的三角面片,不同复杂程度的 3DS 模型(卫星、汽车和飞机)进行切片实验,并将该算法与平面旋转屏体扫描显示系统的平面切片生成算法作比照分析。

可以看出:1)螺旋切片算法获取的切片内体素

数量与平面切片算法的获取的体素数量相比提高很多,这样有利于复杂模型的信息表达;2)螺旋切片算法的缺点是由于螺旋面和 3 维模型相交求得交点的算法,比平面切片的生成算法复杂得多,获得较多的体素数量同时也造成计算耗时较多。如果要求实时显示,本节后面分析了具体提高计算速度的方法。

表 1 螺旋面和平面切片算法比较结果

Tab.1 The comparison between algorithm of helix screen and plane screen

模型	类型	三角面片数	时间/ms	体素数量
卫星	螺旋	1 140	562	9 755
	平面		56	1 076
飞机	螺旋	2 320	921	131 655
	平面		109	16 675
汽车	螺旋	7 322	1 443	324 265
	平面		204	47 317

图 7 和图 8 分别是运用螺旋切片算法和运用平面切片算法生成的飞机模型的 360 片切片中,选取的 6 片螺旋切片和 6 片平面切片的实验结果图。比照结果表明:图 7 中模型螺旋切片中包含的图像信息较多,螺旋切片图像的轮廓线的像素数明显比图 8 中模型的平面切片图像的轮廓线像素数多,线条比较连续、流畅,切片图像比较清晰。

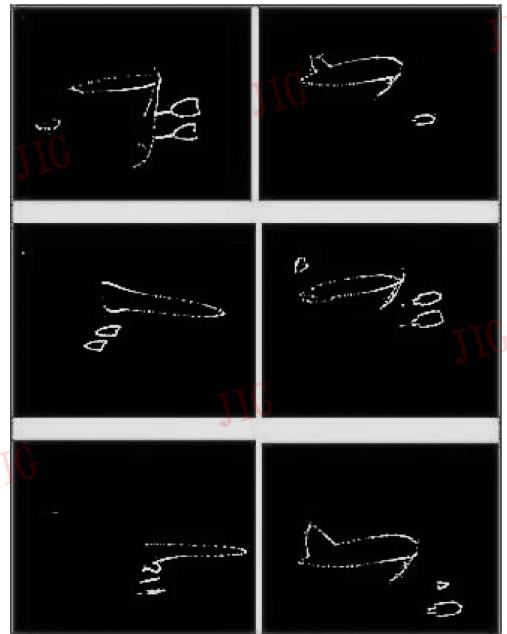


图 7 飞机模型螺旋切片生成算法的实验结果  
Fig.7 Experiment result of generation algorithm for helix slices of a airplane model

图 9 和图 10 分别是飞机 3 维模型的 360 片螺旋切片和 360 片平面切片的 3 维显示仿真显示图。对比结果也表明图 9 中的飞机模型轮廓上的体素数量明显比较多,可以表达更多的 3 维模型的信息和显示的 3 维模型的图像更加清晰。

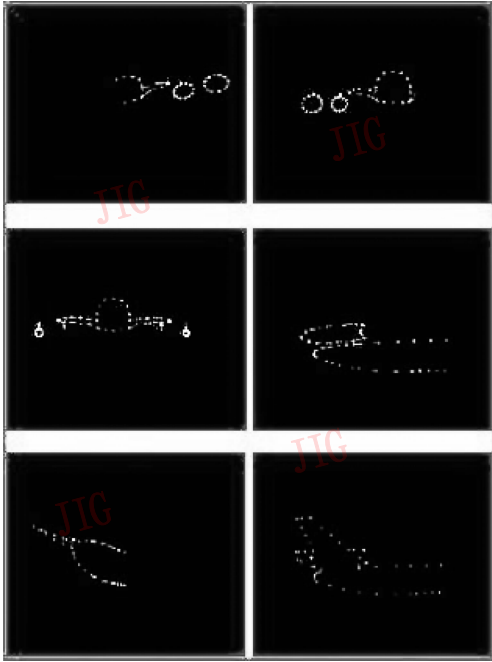


图 8 飞机模型平面切片生成算法的实验结果  
Fig.8 Experiment result of generation algorithm for planar slices of the airplane model



图 9 飞机模型的 360 片螺旋切片 3 维仿真  
Fig.9 3D emulator of 360 helix slices of the airplane model

关于螺旋旋转屏体扫描显示系统中 3 维模型切片生成算法耗时较多的缺陷,可以通过选取螺旋面的素线数  $n$  的方法来折中处理。根据 3 维模型的三角片数决定选取螺旋面的素线数。如:简

单模型的三角片比较少故应取较多的素线,以保证得到较多的体素,提高图像的显示效果;复杂模型的三角片较多,在不影响图像质量的前提下适当减少素线数  $n$ ,尽管体素数量也随之减少了,但可提高切片速度和传输速度,以满足系统实时显示的要求。

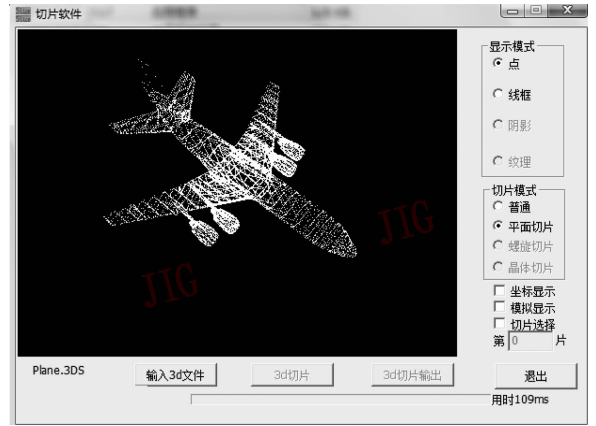


图 10 飞机模型的 360 片平面切片 3 维仿真  
Fig.10 3D emulator of 360 planar slices of the airplane model

表 2 是选取螺旋旋转屏的素线数  $n$  分别为 360 和 180,螺旋切片生成算法在切片耗时和体素量的比较结果。结果表明: $n$  为 180 时,飞机模型螺旋切片的生成算法生成螺旋切片的耗时降低了 268%,切片体素量随之也减少了 319%,但仍比平面切片生成算法生成的体素多 247%。

表 2 螺旋面上选取不同素线数的对比结果

Tab.2 Contrast result of different number of simple-line chosen on the helix rotational screen

模型	素线数	切片时间/ms	体素数量
卫星	360	562	9 755
	180	151	3 751
飞机	360	921	131 655
	180	343	41 198
汽车	360	1 443	324 265
	180	433	101 362

图 11 是螺旋面上选取的素线数为 180 时,生成的 360 片飞机模型的螺旋切片的 3 维仿真图。与图 9 素线数为 360 的 3 维仿真图相比,表明对于比较复杂的飞机模型,有着较多的三角面片,适当减少螺旋面上的素线数,可明显地降低生成算法的耗时量,虽然也造成体素数量的减少,比图 9 中飞机模型少

了一定的图像信息,但与图 10 平面切片的仿真结果的图像信息量相比仍有较大的优势。

根据显示系统要求的切片数  $N$ ,可得到螺旋面在不同旋转角的  $N$  片螺旋切片数据,分别传输到体素激活子系统中,激活系统利用投影的方式把 2 维数据螺旋片投影到相应旋转角度的螺旋旋转屏上,完成真 3 维图像的显示。图 12 为 3 维飞机模型切片在 Helix-3D 系统上的 3 维显示结果图。由于系统原型机尚在研制阶段,还没有扩充到全真彩色体 3 维显示系统,在光学成像技术和机械技术等方面有待进一步突破,因此模型的真 3 维的成像效果还不是十分令人满意,但与图 2 平面旋转屏系统的飞机模型显示效果图相比较,飞机模型的轮廓明显较清晰,在显示亮度的均匀性、体素重叠死区等问题上有着很大的改善。可以验证文中的螺旋旋转屏的优越性和螺旋切片的生成算法的可行性。



图 11 素线数为 180 的 360 片螺旋切片的 3 维仿真结果

Fig. 11 3D emulator of 360 helix slices of the airplane model when the number of simple-line chosen is 180



图 12 螺旋旋转屏显示系统中飞机模型显示结果

Fig. 12 Display result of the airplane model in the helix rotational screen system

## 4 结 论

针对前期研发的平面旋转屏体扫描显示系统中存在诸如成像空间较小、产生的体素数量较少和体素重叠死区严重等缺陷,分析了利用螺旋旋转屏固有的结构稳定性和其构建的成像空间中形成体素的特定方式改善原系统的这些缺陷的原理。根据螺旋旋转屏的结构特征,提出了利用螺旋面的素线和 3 维模型的三角面求交,进而获得一系列有序的螺旋面切片方法。测试了该算法对复杂 3 维模型的切片能力,并与平面切片生成算法做了对比分析。分析结果表明螺旋切片生成算法可以获得更多的切片内体素。针对螺旋切片算法耗时较多的缺陷,提出了通过调整螺旋面的素线数  $n$  的方法来折中处理的方法。通过对运用螺旋切片生成算法生成的螺旋切片的图像、螺旋切片 3 维成像的仿真结果以及螺旋切片在 Helix-3D 系统上的 3 维显示结果与平面切片的生成算法所生成的切片做一系列对应的比照实验,验证了螺旋旋转屏的优越性以及相应的螺旋切片生成算法是方便有效的。

## 参考文献 (References)

- [ 1 ] Barry G B, Adam J S. Volumetric Three Dimensional Display Systems [ M ]. New York: A Wiley-Interscience Publication, 2000:2-27,50-57.
- [ 2 ] Blundell B G, Schwarz A. The classification of volumetric display systems: characteristics and predictability of the image space [ J ]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2002, 8(1): 66-75.
- [ 3 ] Travis A R L. The display of three-dimensional video images [ J ]. Proceedings of the IEEE, 1997, 85(11):1817-1832.
- [ 4 ] Williams R D, Wefer F L, Clifton T E. Direct volumetric visualization [ C ] // Proc. Visualization 92. Los Alamitos, Calif: IEEE Computer Society Press, 1992:99-106.
- [ 5 ] Langhans K. New portable FELIX 3D display [ J ]. SPIE, 1998, 3296:204-216.
- [ 6 ] Favalora G E. Volumetric 3D displays and application infrastructure [ J ]. IEEE Computer, 2005, 38(8): 37-44.
- [ 7 ] Tan Hao. Research on Key Technologies of Volumetric Display System [ D ]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2006. [ 谭皓. 真三维显示系统关键技术研究 [ D ]. 南京: 南京航空航天大学, 2006. ]
- [ 8 ] Shi Lianjun. Research and Implementation of Volumetric 3D

Display System based on DMD[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics,2007;38-44. [施连军. 基于数字微镜的体三维显示系统研究及实现[D]. 南京:南京航空航天大学,2007;38-44.]

- [9] Li Li. Research and Implementation on Key Technologies of Volumetric Display System[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2008. [李莉. 体三维显示系统关键技术研究及实现[D]. 南京:南京航空航天大学,2008.]
- [10] Geng Zheng Jason. Method and Apparatus for High Resolution Three-Dimensional Display; US, 6064423 [P]. 2000-05-16.

- [11] Robert E M. DMD pixel mechanics simulation [J]. TI Technical Journals, 1998, 15(3): 64-74.
- [12] Yue Jian, Fan Qingjian, Jiao Feng, et al. Construction of helix rotational screen volumetric-swept display system [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2010, 32(16): 72-75. [岳键, 樊琼剑, 焦峰, 等. 螺旋旋转屏体扫描三维显示系统的构建. 武汉理工大学学报, 2010, 32(16):72-75.]
- [13] The group of write. Maths Handbook[M]. Beijing: the People Education Publication, 1979: 411-413. [数学手册编写组. 数学手册[M]. 北京:人民教育出版社,1979:411-413.]