

# 激光传输数值模拟数据的三维可视化研究

黎万义<sup>1,2</sup>, 王 鹏<sup>2</sup>, 张军伟<sup>1\*</sup>, 耿远超<sup>1</sup>, 粟敬钦<sup>1</sup>, 景 峰<sup>1</sup>

<sup>1</sup>中国工程物理研究院激光聚变研究中心, 四川 绵阳 621900;

<sup>2</sup>中国科学院自动化研究所, 北京 100190

**摘要** 大型激光装置具有结构复杂、设计与仿真模型众多以及数据多样等特点,并且设计与仿真结果通常使用不同的软件平台进行展示,没有形成统一的集成平台和数据可视化及交互系统。针对上述问题,提出了一种基于三维引擎 Three.js 和数据可视化库 Vis.js 的激光传输数值模拟数据三维可视化方法,并开发了相应的可视化系统。首先给出激光传输数值模拟数据三维可视化系统的体系结构,然后对功能模块的划分和关键算法进行设计,并给出系统的实现手段,最后对系统运行效果进行展示与总结。结果表明,所开发的系统可用于大型激光器激光传输结构设计结果和模拟数据的可视化,能有效改善激光驱动器光路设计和传输模拟的可视化效果。

**关键词** 激光器; 大型激光装置; 三维可视化; 三维引擎 Three.js; 数据可视化库 Vis.js; 数值模拟数据

**中图分类号** TP391.9      **文献标识码** A

**doi:** 10.3788/LOP54.111410

## Three-Dimensional Visualization for Numerical Simulation Data of Laser Transmission

Li Wanyi<sup>1,2</sup>, Wang Peng<sup>2</sup>, Zhang Junwei<sup>1</sup>, Geng Yuanchao<sup>1</sup>, Su Jingqin<sup>1</sup>, Jing Feng<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Research Center of Laser Fusion, China Academy Engineering Physics, Mianyang, Sichuan 621900, China;

<sup>2</sup>Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

**Abstract** Large laser facility has many characteristics including complex structure, a large number of design and simulation models, and diversity of data. Design and simulation results are usually shown on different software platforms, and a unified integration platform for interactive data visualization is not formed. To solve these problems, we not only propose a three-dimensional (3D) visualization method for numerical simulation data of laser transmission based on 3D engine named Three.js and visualization library for numerical data named Vis.js, but also develop the corresponding software system. Firstly, the architecture of the 3D visualization system for numerical simulation data of laser transmission is presented. And then, the modules and key algorithms are designed and the implementation tools are given. Finally, the performance of the system is shown and summarized. The results show that the developed system can be used to visualize the designed transmission structure and simulation data of large laser facility. The visualization effect of optical path design of laser driver and transmitting simulation can be improved effectively.

**Key words** lasers; large laser facility; three-dimensional visualization; three-dimensional engine named Three.js; visualization library for numerical data named Vis.js; numerical simulation data

**OCIS codes** 140.3580; 200.4560; 200.4880

## 1 引言

大型激光装置(即激光驱动器装置)在开展惯性约束聚变、高能量密度物理研究等方面具有不可替代的作

收稿日期: 2017-05-08; 收到修改稿日期: 2017-06-19

基金项目: 国家自然科学基金(61308040)

作者简介: 黎万义(1983—),男,博士,副研究员,主要从事数字样机、机器人视觉等方面的研究。

E-mail: wanyi.li@ia.ac.cn

\* 通信联系人。E-mail: zjw425@163.com

用,对国防安全、能源等具有重要意义;因此,各大国在新形势背景下纷纷建造大型激光装置。具有代表性的大型激光装置有美国的国家点火装置(NIF)<sup>[1]</sup>、法国的兆焦耳激光器(LMJ)<sup>[2]</sup>和中国的神光系列激光装置<sup>[3-7]</sup>等。

对激光驱动器装置设计过程中的光学、结构等设计数据或仿真数据进行高效和可视化的展示与交互,是装置设计过程与仿真验证进行高效迭代的重要手段,也是确保设计方案可行性和可视性的重要手段。激光驱动器装置结构复杂,设计与仿真数据涉及对象多,而且数据量大,目前的设计与仿真结果往往通过不同的商业软件或不同的开发工具开发的软件进行展示,没有形成统一的数据可视化及交互系统,这给设计与仿真结果的集中展示和不同终端的实时调用带来了问题。

中国工程物理研究院激光聚变研究中心研发了高功率激光系统光传输模拟计算软件 SG99<sup>[8-10]</sup>,该软件能够对固体激光装置的脉冲传输、放大、频率转换等主要物理过程进行模拟计算。王文义等<sup>[11]</sup>基于 SG99 软件开发了激光性能仿真模型,为神光 III 原型装置的运行提供了实时预测。张军勇等<sup>[12]</sup>针对不同的输出通量提出了智能算法和增益通量曲线的分层使用策略,并将其应用于神光 II 全链路的波形反演。上述这些研究主要针对的是激光传输的数值模拟和反演,对激光传输过程和数值模拟数据进行可视化的能力较弱,因此,迫切需要相应的三维可视化技术和手段对激光传输过程和数值模拟数据进行更加直观的可视化展示。夏文俊等<sup>[13]</sup>提出了基于虚拟样机技术的激光传输模拟仿真方案,并开发了相应的激光传输模拟仿真系统,仿真系统以 Visual C++ 6.0 软件为开发平台,以 Vega 软件为仿真引擎,以 MATLAB 软件和 SG99 软件为实时数据处理工具,构造了激光传输装置虚拟样机模型,实现了激光脉冲的可视化建模,并建立了一个三维可视化激光传输过程的仿真系统,实现了激光传输过程的三维模拟、仪器工作状态的监控以及仿真信息的查询等功能;但是,该系统不能对 SG99 等计算软件产生的数值模拟数据进行可视化查看,而且对激光传输过程的三维可视化效果也有待进一步改善。此外,其单机版的开发模式也不利于不同终端对传输过程和模拟数据的实时调用和集成展示。

针对上述问题,本课题组提出了一种基于三维引擎 Three.js 和数据可视化库 Vis.js 的激光传输数值模拟数据的三维可视化方法,并开发了相应的可视化系统;对激光传输数值模拟数据三维可视化系统的体系结构、功能模块和关键算法进行设计,并将激光光路模型和数值模拟数据在同一可视化环境下进行可视化交互和集成展示。本研究的成果和经验对大型激光装置的激光传输结构设计结果和模拟数据的可视化水平提高具有重要意义,对于装置运行过程中各子系统运行数据的实时可视化展示和数字样机的集成展示具有重要的借鉴和推广价值。

## 2 三维可视化系统的体系结构

激光传输数值模拟数据三维可视化系统的体系结构包括数据接口层、数据访问层、系统应用层和用户界面层,如图 1 所示。各层的作用如下:

- 1) 数据接口层从外部产品数据管理数据库(PDM)中获取数据,然后将数据保存到本系统的设计-仿真-安装运行数据库中。
- 2) 数据访问层向设计-仿真-安装运行数据库中存取数据。
- 3) 系统应用层负责处理用户的交互,即处理进入的请求,处理输入,保存数据,并把响应发送回用户界面层。系统是按“一次规划,分阶段实施”的原则进行设计的,系统应用层包括模拟仿真模型/数据的可视化展示和现场运行数据的可视化展示。目前实现了模拟仿真模型/数据的可视化展示中的光学设计参数展示和光学模拟/仿真数据展示,其余部分将分阶段实施。
- 4) 用户界面层是提供用户交互的操作界面,能够可视化地显示数据。

## 3 功能模块与关键算法

### 3.1 功能模块设计

数值模拟数据三维可视化的核心功能模块包括光学设计数据管理、结构模型数据管理、数值模拟数据管理和数据可视化。

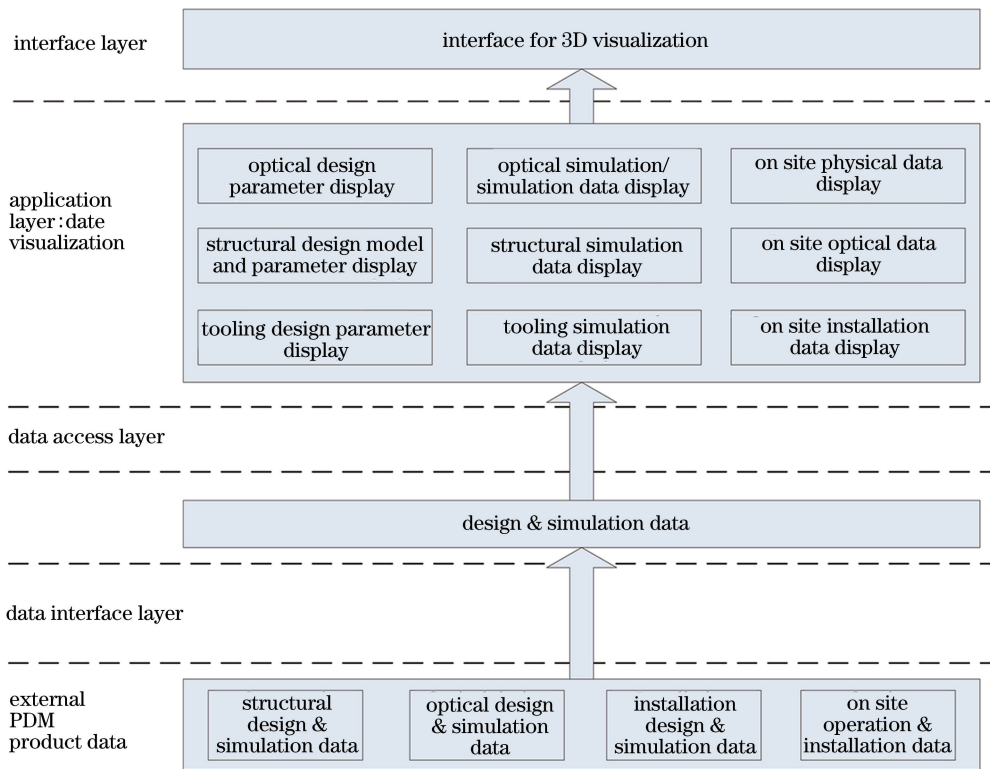


图 1 激光传输数值模拟数据三维可视化系统的体系结构

Fig. 1 Architecture of 3D visualization system for numerical simulation data of laser transmission

光学设计数据管理模块可对光学设计数据的可扩展标记语言(XML)文件进行增加和删除操作,并通过表格的方式给出光路列表。增加操作可将导入的光路数据(XML文件)保存到数据库中。结构模型数据管理模块对驱动器的结构模型数据(3D Max等格式的文件)进行管理,并对结构模型数据和光路模型数据进行关联。对于指定光路,数值模拟数据管理模块调用SG99软件计算或导入现有的数值模拟数据,并将模拟数据绑定到光路中。数据可视化就是在三维可视化环境中查看光路模型、结构模型,以及光路中元件的静态参数和数值模拟数据(动态参数)。具体包括以下两种操作模式:

1) 局部离散查看模式。在光路列表中选择要可视化的光路,点击“查看”,进入三维可视化环境,可从不同角度查看光路模型和结构模型,可选取单个元件并查看其静态参数和动态参数。静态参数包括光学参数、几何参数和物理参数;动态参数包括能量、波形、波前、近场和远场。

2) 全局连续查看模式。该模式通过光传输实时驱动,包括定性演示和定量演示。定性演示指对光传输过程进行可视化演示,重点体现传输的过程;定量演示指既要体现光的传输过程,又要定量显示传输过程中各元件的动态参数,即光经过元件传输时,通过慢镜头的方式显示该元件的动态参数。

### 3.2 关键算法设计

对光路模型文件解析算法、光路Z轴缩放算法、光传输路径模拟算法和光路包络效果生成算法等关键算法进行了设计。算法要点简述如下。

#### 3.2.1 光路模型文件解析算法

光路模型数据保存在XML文件中,根据预先规定的XML文件的节点结构,采用JavaScript语言对光路模型XML文件进行解析。光路模型XML文件为算法的输入,算法的输出为光路中带有层次关系和元件基本信息的元件列表。将解析出的元件信息作为可视化依据,图2展示了单光路的可视化效果。

#### 3.2.2 光路Z轴缩放算法

在三维可视化环境中绘制元件时,元件之间的距离较大,如果按元件实际的Z坐标绘制场景,则在整个相对较大的场景中,元件会显得很小。因此,需要对元件的Z坐标进行缩放。先按比例将Z坐标缩放到指

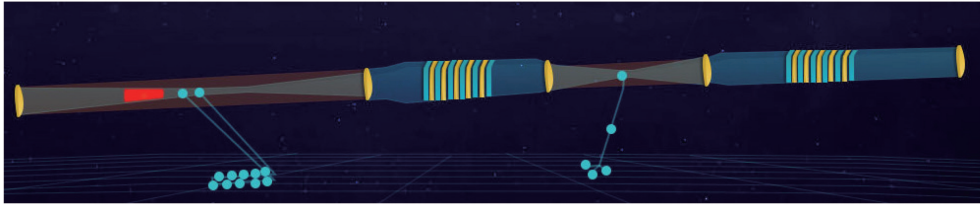


图 2 单光路的可视化效果

Fig. 2 Visualization effect of single optical path

定范围 $[0, Z_{\max\_reset}]$ ,再按一定的规则调整元件的位置。调整元件位置的规则为:如果当前元件与相邻后继元件之间的距离小于当前元件尺寸的最大维度值,则调整当前元件的距离。图 2 所示的单光路可视化效果使用了  $Z$  轴缩放后的坐标数据。

### 3.2.3 光传输路径模拟算法

光轴用灰色直线表示,光传输用 1 个粒子表达,粒子的颜色为红色,亮度随着索引号的增加而增加。用粒子的移动表示光线的传输过程。粒子的主要属性包括外观、位置和速度。图 2 中左侧的红色物体为光传输粒子。

### 3.2.4 光路包络效果生成算法

根据前后元件的位置、形状和通光口径绘制透明的几何体(管道状的棱柱体或圆台体),以此类推,多个透明几何体连接形成包络。图 2 中的光路为应用了包络效果而生成的结果,通过生成光路包络,将零散的光学元件组织成为一个整体,能更清楚地体现元件之间的空间位置关系。

## 4 技术实现手段与运行效果

### 4.1 技术实现手段

本系统采用浏览器/服务器(B/S)模式开发,技术实现手段如表 1 所示。具体而言,使用 C# + ASP.NET 以后端开发的方式实现光学设计数据管理、结构模型数据管理和数值模拟数据管理这三个涉及数据管理的模块。使用(JavaScript + Three.js)<sup>[14-15]</sup> 以前端开发的方式实现光路的三维可视化,使用数据可视化库 Vis.js<sup>[16]</sup> 以前端开发的方式实现数值模拟数据的可视化,这两个功能体现在数据可视化模块中。Three.js<sup>[14-15]</sup> 是一款可在浏览器中运行的三维引擎,它是用 JavaScript 语言编写的 WebGL 第三方库,可以用来创建各种三维场景,包括摄影机、光影和材质等各种对象,已成功应用于数字内容创建、在线游戏、在线教育和建筑与文化遗产等领域<sup>[17]</sup>。Vis.js<sup>[16]</sup> 是一个动态的、基于浏览器的可视化库,易于使用,能处理大量动态数据。

表 1 技术实现手段

Table 1 Implementation tool of the solution

Function	Tool of implementation
Data management	Backend: C# + ASP.NET
3D visualization of optical path	Front end: JavaScript + Three.js (3D engine)
Data visualization	Front end: Vis.js

### 4.2 运行效果

图 3 所示为光路模型管理的使用界面。光路模型管理模块具有上传、删除、查看、修改光路模型文件等功能,可选中多个 XML 文件同时上传,并能自动从文件名中解析出光路所属的束组、光路和文件大小。

在图 2 所示的可视化效果中,可按装置→束组→光路的顺序进行层次化导航,能查看不同层次对象的三维可视化效果。图 4 所示为模拟数据可视化的效果,在这一界面上可分别查看选定光学元件的静态参数(如几何参数和光学参数)、动态参数(如远场、近场、相位和波形等)和全参数,该界面也可以实时显示激光传输过程中光束的能量曲线。

激光光路设计人员和数值模拟工作人员对以上可视化结果的正确性进行判断和确认后,认为该可视化结果是正确的,与预期效果一致。

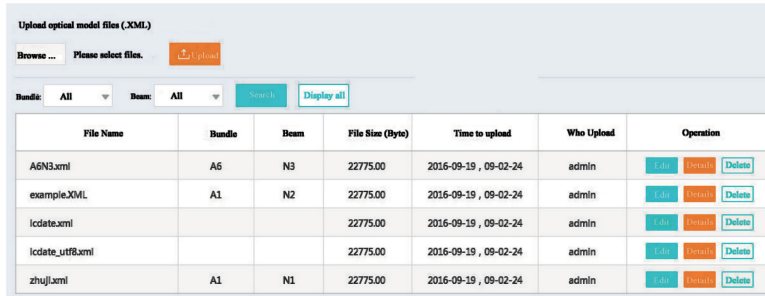


图 3 光路模型的 XML 文件上传界面

Fig. 3 Interface for uploading XML files of optical path model

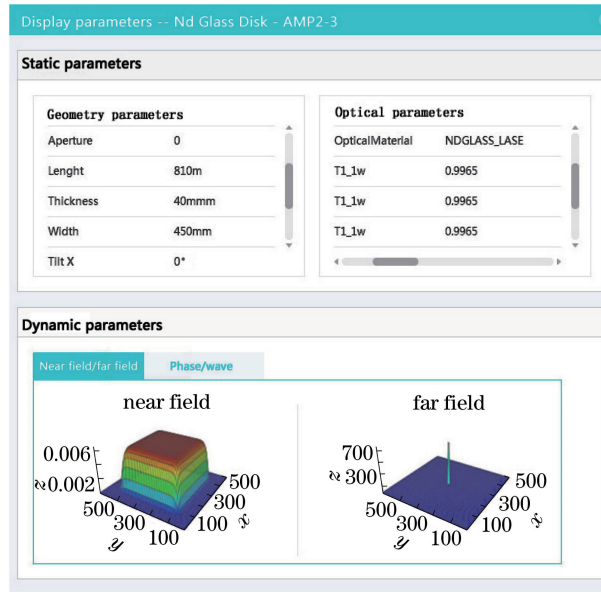


图 4 模拟数据可视化的多参数查看

Fig. 4 Multi-parameters display of simulation data visualization

## 5 结 论

通过对基于三维引擎 Three.js 和数据可视化库 Vis.js 的激光传输数值模拟数据三维可视化技术的研究,设计了激光传输数值模拟数据三维可视化系统的体系结构、功能模块划分和关键算法,结合大型激光器激光传输结构设计结果和模拟数据的可视化实践,验证了方法的有效性。研发的数值模拟数据可视化系统有效改善了激光驱动器光路设计和传输模拟的可视化效果,为装置后续运行过程中各子系统运行数据的实时可视化展示和数字样机的集成展示提供了参考和依据。

## 参 考 文 献

- [1] Hogan W J, Moses E I, Warner B E, *et al.* The national ignition facility[J]. Nuclear Fusion, 2001, 41(5): 567.
- [2] Cavailler C. Inertial fusion with the LMJ[J]. Plasma Physics and Controlled Fusion, 2005, 47(12B): B389.
- [3] Jiang Shaoen, Ding Yongkun, Miao Wenyong, *et al.* Recent progress of inertial confinement fusion experiments in China[J]. Scientia Sinica: Physica, Mechanica & Astronomica, 2009, 39(11): 1571-1583.  
江少恩, 丁永坤, 缪文勇, 等. 我国激光惯性约束聚变实验研究进展[J]. 中国科学 G 辑: 物理学 力学 天文学, 2009, 39(11): 1571-1583.
- [4] 中国工程物理研究院激光聚变研究中心. 神光-III 激光装置建设项目取得重大阶段进展[J]. 强激光与粒子束, 2011, 23(7): 1700.
- [5] 郑万国, 魏晓峰, 朱启华, 等. 神光-III 主机装置研制进展[J]. 光电产品与资讯, 2015, 6(12): 27-30.

- [6] Mu Jie, Wang Xiao, Jing Feng, *et al.* Effect of wavefront distortion on coherent beam combination in high-power laser facilities[J]. Chinese J Lasers, 2015, 42(6): 0602010.  
母杰, 王道, 景峰, 等. 高功率激光装置中波前畸变对相干合成的影响[J]. 中国激光, 2015, 42(6): 0602010.
- [7] Cao Tingfen, Xiong Zhao, Li Keyu, *et al.* Research on precise alignment technique for transport system installation of Shenguang-III laser driver[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2016, 53(11): 112201.  
曹庭分, 熊召, 李恪宇, 等. 神光-III 主机装置光传输系统安装精密准直技术研究[J]. 激光与光电子学进展, 2016, 53(11): 112201.
- [8] 粟敬钦, 景峰, 刘兰琴, 等. 高功率固体激光系统计算机模拟设计平台研究及其应用[Z]. 中国工程物理研究院科技年报, 2001: 102.
- [9] 粟敬钦, 景峰, 朱启华, 等. 高功率固体激光系统计算机模拟设计平台的开发及其应用[C]// 第七届全国激光科学技术青年技术交流会论文集. 北京: [出版者不详], 2003: 331-334.
- [10] 粟敬钦, 王文义, 景峰, 等. 激光系统计算机模拟设计平台[Z]. 中国工程物理研究院科技年报, 2003: 271.
- [11] Wang Wenyi, Zhao Runchang, Su Jingqin, *et al.* High-power solid-state laser performance simulation model[J]. Acta Optica Sinica, 2008, 28(s1): 23-27.  
王文义, 赵润昌, 粟敬钦, 等. 高功率固体激光性能仿真模型[J]. 光学学报, 2008, 28(s1): 23-27.
- [12] Zhang Junyong, Zhang Yanli, Ma Weixin, *et al.* High-precision inversion method of pulse shape at SGII facility[J]. Acta Optica Sinica, 2015, 35(4): 0414004.  
张军勇, 张艳丽, 马伟新, 等. 神光 II 全链路脉冲波形的高精度反演[J]. 光学学报, 2015, 35(4): 0414004.
- [13] Xia Wenjun, Wang Junfeng, Li Shiqi. Development of laser transmission simulation system based on virtual prototype[J]. Journal of System Simulation, 2007, 19(14): 3237-3240, 3338.  
夏文俊, 王峻峰, 李世其. 基于虚拟样机的激光传输模拟仿真系统开发[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(14): 3237-3240, 3338.
- [14] Dirksen J. Learning three.js—the JavaScript 3D library for WebGL[M]. 2nd ed. Birmingham: Packt Publishing, 2015.
- [15] Cabello R. Three.js[EB/OL]. [2017-05-06]. <https://github.com/mrdoob/three.js>.
- [16] Almende B V. Vis.js[EB/OL]. [2017-05-06]. <http://visjs.org/>.
- [17] Evans A, Romeo M, Bahrehmand A, *et al.* 3D graphics on the web: a survey[J]. Computers & Graphics, 2014, 41: 43-61.