

doi: 10.7690/bgzd.2015.07.013

## 激光系统高层语义数据模型设计与工具研发

谢晓钢, 沈卫超, 张建柱, 夏芳, 陈虹, 岳玉芳, 张飞舟

(北京应用物理与计算数学研究所一室, 北京 100094)

**摘要:** 针对当前激光领域缺乏统一的数据格式和专用的分析处理工具的问题, 设计并实现了一种基于通用的高性能科学数据 I/O 软件库的激光系统高层语义数据模型。通过研究现有的科学数据存储格式, 设计了带有激光领域物理语义的数据模型, 定义了各个数据对象所包含的内容, 并基于激光系统数据模型的编程接口, 设计并实现了专用的数据分析工具。分析应用的结果表明: 该工具集成了大量激光领域的常用分析算法, 能够大大提高研究人员的分析效率。同时, 也对统一激光领域数据存储的格式进行了有益的尝试, 有利于数据的共享和复用。

**关键词:** 激光; 数据模型; 数据分析

**中图分类号:** TP391.9 **文献标志码:** A

## Design of High Level Semantic Data Model for Laser System and Tool Developing

Xie Xiaogang, Shen Weichao, Zhang Jianzhu, Xia Fang, Chen Hong, Yue Yufang, Zhang Feizhou

(No. 1 Department, Institute of Applied Physics &amp; Computational Mathematics, Beijing 100094, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of the lacking of uniform data format and tools for analysis in laser domain, a high level semantic data model for laser system was designed and implemented based on the general high performance I/O library for scientific data. By the researching of the current formats for scientific data, we designed the new data model with the laser domain semantics, defined the contents of every data object, designed and implemented the specific tool for data analysis based on the new model's APIs. Many useful algorithms for analysis were integrated in the tool, which can greatly improve the researchers' working efficiency. This is also a trying of unifying the data format in laser domain, which is good to the sharing and the reuse of the data.

**Keywords:** laser; data model; data analysis

### 0 引言

随着激光技术的发展, 激光系统的复杂度不断增加, 每一次激光系统试验和仿真计算都会产生大量的数据。目前, 这些数据主要以文本文件的格式存放, 采用通用的后处理工具软件 (Origin、Tecplot、Matlab 等) 进行分析。存在如下问题: 1) 通用后处理软件的操作对象是数组和矩阵等, 虽然通用性好, 但是不含特定语义, 当用于特定领域绘图时, 需要较多附加操作, 使用较繁琐; 2) 特定领域专用分析能力不足, 需要编制分析程序对数据处理后再分析; 3) 采用文本格式, 占用空间大, 访问效率低; 4) 没有统一的存储格式, 不利于数据的共享和复用。

为了解决上述问题, 笔者基于通用的 JAD 格式<sup>[1]</sup>, 设计并实现了激光系统高层语义数据模型, 并开发了专用的数据处理分析工具, 该工具集成在激光系统组件化仿真软件 EasyLaser<sup>[2]</sup>中, 实现了对仿真数据的高效管理与分析。该数据模型经扩展, 还可进一步应用于试验数据的管理与分析中。

### 1 科学数据存储格式介绍

科学计算数据通常被表示成网格数据, 它是由

数值模拟通过一系列时间步序列产生、基于剖分的具有网格结构、连续数据的离散采样, 由数据点的几何拓扑结构和时空结构组成, 具有对象复杂、存储分散和时空同步等特点。如何高效组织结构复杂的大规模科学计算数据, 已经成为制约领域研究人员分析和探查计算结果的瓶颈问题。

从 20 世纪 80 年代起, 美国一些研究机构陆续推出了 netCDF<sup>[3]</sup>、PDBLib、HDF5<sup>[4]</sup>等科学数据 I/O 软件库, 实现了通用数据对象的抽象与操作, 提供高效的数据存储与管理机制, 在海洋、大气、天体物理等科学与工程计算中得到广泛应用。在此基础上, 还涌现出另一类科学数据 I/O 软件库, 如 Exodus<sup>[5]</sup>、Silo<sup>[6]</sup>、SAF、UDM、JADLib<sup>[1]</sup>等, 它们实现了对数值计算模型对象的抽象, 如网格和网格上的物理量等, 有助于实现领域范围内的数据共享。

其中, JADLib 是由北京应用物理与计算数学研究所高性能计算中心为满足应用领域大规模复杂结构数据的存储与共享需求而研制的科学数据 I/O 软件库。JADLib 实现了如下目标: 1) 实现网格数据语义的高层数据存储模型, 支持并行结构的多网格、多物理量等复杂数据的表示与管理; 2) 提供面向对

收稿日期: 2015-03-21; 修回日期: 2015-04-27

基金项目: 中国科学院光束控制重点实验室基金(2014LBC003)

作者简介: 谢晓钢(1982—), 男, 福建人, 硕士, 助理研究员, 从事激光系统建模与仿真技术研究。

象、直观的数据访问接口，提供 C、Fortran 函数接口形式，方便并行计算及可视化程序读写文件数据；  
3) 采用 HDF5 作为底层数据文件存储格式，格式统

一，易于通用数据分析工具的开发和程序间的数据；  
4) 集成压缩存储、数据子集访问、并行 I/O 等高性能数据存储机制，确保数据存储与访问的效率。

表 1 数据对象内容

| 数据对象       | 缩写        | 包含内容   |
|------------|-----------|--|
| 光束         | BeamGroup | 网格维数 (int 型)<br>网格覆盖区域 (double 型)<br>光场实部分布 (float 型二维数组)<br>光场虚部分布 (float 型二维数组)<br>光束半径 (double 型)<br>功率 (double 型)<br>波长 (double 型)<br>遮拦比 (double 型)<br>中心光线坐标和方向 (double 型一维数组)<br>边缘光线坐标和方向 (double 型一维数组)   |
| 相位         | Phase     | 网格维数 (int 型)<br>网格覆盖区域 (double 型)<br>相位半径 (double 型)<br>相位遮拦比 (double 型)<br>相位值 (float 型二维数组)  |
| 光瞳         | Tong      | 网格维数 (int 型)<br>网格覆盖区域 (double 型)<br>光场强度分布 (float 型二维数组)<br>特征光线坐标 (double 型一维数组)   |
| Zernike 系数 | Cznk      | Zernike 系数阶数 (int 型)<br>Zernike 系数值 (float 型一维数组)  |
| 哈特曼探测器图像   | HartP     | 图像单边像素数 (int 型)<br>图像区域 (double 型)<br>远场图像强度分布 (float 型二维数组)<br>哈特曼单元数 (int 型)<br>哈特曼子孔径排布 (int 型一维数组)   |
| 电视图像       | TvP       | 电视类型 (int 型)<br>图像横向像素数 (int 型)<br>图像纵向像素数 (int 型)<br>图像视场角 (double 型)<br>图像像素值 (float 型二维数组)  |
| 大气参数       | Atm       | 大气分层数 (int 型)<br>波长列表 (double 型一维数组)<br>各层高度 (double 型一维数组)<br>各层温度 (double 型一维数组)<br>各层大气压 (double 型一维数组)<br>各层密度 (double 型一维数组)<br>各层风速 (double 型一维数组)<br>各层风向 (double 型一维数组)<br>各层分子吸收 (double 型二维数组)<br>各层分子散射 (double 型二维数组)<br>各层气溶胶吸收 (double 型二维数组)<br>各层气溶胶散射 (double 型二维数组)<br>湍流模式 (int 型)<br>各层湍流内尺度 (double 型一维数组)<br>各层湍流外尺度 (double 型一维数组)<br>各层 Cn2 (double 型一维数组) |
| 光斑诊断信息     | Diagnose  | 网格维数 (int 型)<br>网格覆盖区域 (double 型)<br>诊断光强分布 (float 型二维数组)<br>总功率 (double 型)<br>峰值功率 (double 型)<br>边缘功率 (double 型)<br>质点坐标 (int 型一维数组)<br>峰值点坐标 (int 型一维数组)<br>X 方向半高全宽 (double 型)<br>Y 方向半高全宽 (double 型)<br>包含一定能量的光桶半径 (double 型一维数组)<br>包含一定能量的光桶平均功率 (double 型一维数组)   |

### 2 激光系统高层语义数据模型

首先，笔者设计了带有激光领域物理语义的数据模型，定义了各个数据对象所包含的内容，如表 1 所示。

激光系统通常由多个元件构成，每个元件上可能有多束光通过，每束光的数据都是在各元件上产生并记录下来<sup>[7]</sup>。根据这一特点，笔者设计了每一次仿真计算所产生的数据文件的内部存储结构，如图 1。这是一棵树，从树根到树叶共 6 个层次。每个数据文件包含多个时间步节点，每个时间步节点下包含多个元件节点，每个元件节点下包含多个光束通道节点，每个光束通道节点下可以保存不同类型的数据，各类数据存放在不同的类型标识节点下。

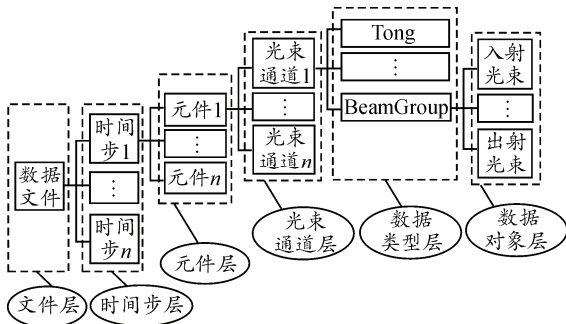


图 1 数据文件内部存储结构

在 JADLib 提供的 API 支持下，采用 C 语言实现了如下编程接口，同时为考虑兼容性提供 Fortran 语言接口，如表 2 所示。应用程序可以直接调用这些接口实现激光仿真数据对象的读写。

表 2 主要编程接口

| 层次    | 操作 API     |
|-------|------------|
| 文件层   | 创建文件       |
|       | 打开文件       |
|       | 关闭文件       |
| 时间步层  | 创建时间步节点    |
|       | 读取时间步节点列表  |
| 元件层   | 创建元件节点     |
|       | 读取元件列表     |
| 光束通道层 | 创建光束通道节点   |
|       | 读取光束通道节点列表 |
| 数据类型层 | 创建数据类型节点   |
|       | 读取数据类型节点列表 |
| 数据对象层 | 写入光束数据对象   |
|       | 读取光束数据对象   |
|       | ...        |

### 3 数据分析工具

#### 3.1 体系结构

基于上述激光系统数据模型的编程接口，设计

并实现了专用的数据分析工具，其体系结构如图 2 所示。数据分析工具与激光系统组件化仿真软件 EasyLaser 集成在一起，提供给用户使用，该软件可以支持 Windows 和 Linux 操作系统。在通用 I/O 库 JADLib 的支持下，软件可以高效地存储、访问跨平台的二进制数据文件。



图 2 数据分析工具体系结构

#### 3.2 工作模式

软件的工作模式如图 3 所示，EasyLaser 执行仿真计算的结果数据以 JAD 文件的形式存入数据库中，计算完成后，采用数据分析工具从数据库中选择打开数据文件进行分析处理。图 4 为某“倾斜镜”元件保存的数据列表，用户可通过右键菜单选择分析项目。

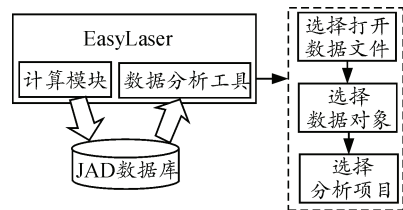


图 3 工作模式

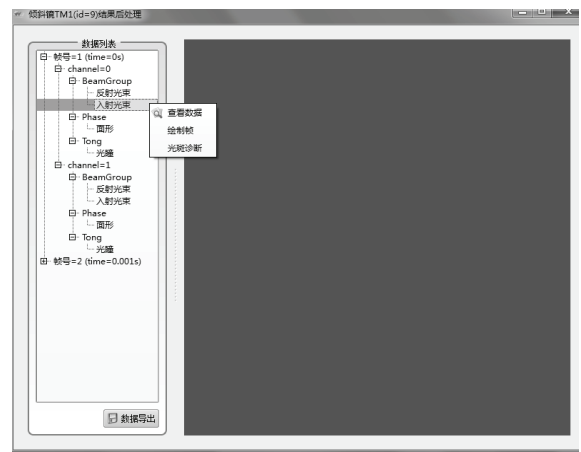


图 4 选择分析项目

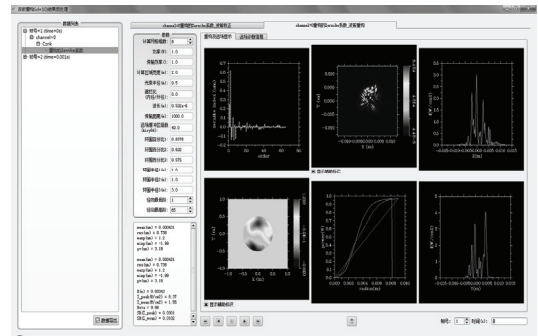
#### 3.3 分析功能

数据对象是分析操作的基本元素，表 3 列出了分析工具中实现的所有分析项目。对于所有的数据对象都支持数据查看、绘图和动画播放功能，而其

他特定的分析项目则集成了激光领域常用的数据分析算法。用户只需要一个按键，即可实现需要的分析和外推，绘制出满足需求的可视化图形。使用该工具，可以把激光系统的研究人员从繁琐的数据整理、制图和程序编制中解放出来，专注于数据的物理分析。图 5 展示了一些有代表性的数据分析界面。

表 3 分析项目

| 数据对象       | 对应的分析项目       |
|------------|---------------|
| 各类数据       | 查看数据          |
|            | 绘制某一帧图像       |
|            | 动画播放各帧图像      |
| 光束         | 光斑诊断          |
| 相位         | 统计            |
|            | 远场计算及统计       |
| 光瞳         | 延迟非等晕远场计算及统计  |
| 哈特曼探测器图像   | 恢复 Zernike 系数 |
| Zernike 系数 | 波前重构          |
|            | 波前校正          |
|            | 绘制阶           |
|            | 统计阶           |
|            | 时间相关性分析       |



(c) 波前重构及远场诊断

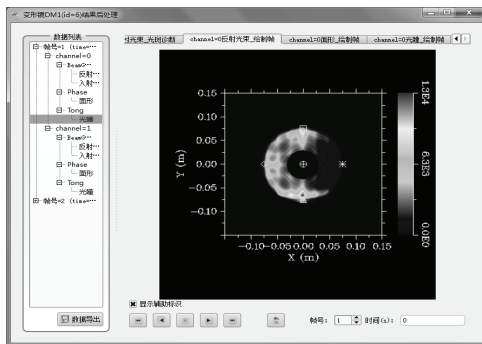
图 5 数据分析界面

### 4 结论

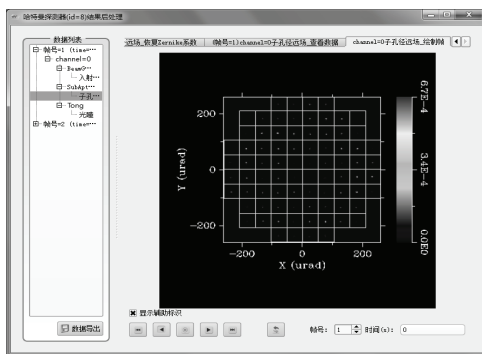
基于通用的高性能科学数据 I/O 软件库 JADLib，笔者设计并实现了激光系统高层语义数据模型，并在此基础上研制了专用的数据分析工具，集成在激光系统组件化仿真软件 EasyLaser 中。该工具集成了大量激光领域的常用分析算法，能够大大提高研究人员的分析效率。同时，也对统一激光领域数据存储的格式进行了有益的尝试，有利于数据的共享和复用。下一步，笔者将开展把该数据模型应用于试验数据的管理与分析中的研究工作。

### 参考文献：

- [1] 夏芳, 陈虹, 宋磊, 等. JADLib-科学计算数据高层 I/O 软件库[J]. 计算机工程与科学, 2009, 31(A1): 227-230.
- [2] 谢晓钢, 张建柱, 岳玉芳, 等. 激光系统组件化仿真软件 EasyLaser[J]. 强激光与粒子束, 2013, 25(10): 2536-2540.
- [3] Rew R, Davis G, Emmerson S, et al. The NetCDF User's Guide[EB/OL]. [2010-06-16]. <http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/docs/netcdf.pdf>.
- [4] NCSA. HDF5 User's Guide Working Draft[EB/OL]. [2010-05-13]. <http://hdf.nsa.niuc.edu/>.
- [5] Schoof L A, Yarberr V R. EXODUS II: A Finite Element Data Model[EB/OL]. [2009-07-10]. <http://endo.sandia.gov/SEACAS/Documentation/exodusII.pdf>.
- [6] Miller M C, Childs H, Bonnell K, et al. Silo User's Guide[EB/OL]. [2009-07-15]. [http://wci.llnl.gov/silo/media/pdf/LLNL\\_sm\\_406516.pdf](http://wci.llnl.gov/silo/media/pdf/LLNL_sm_406516.pdf).
- [7] 徐国梁, 杜运通. 基于光纤耦合的激光引信测试设备[J]. 机电工程, 2013, 30(1): 60-64.



(a) 光斑绘制



(b) 哈特曼探测器图像绘制