

面向云计算环境的后处理服务 *

李佰文¹, 淮晓永¹, 高若辰¹, 陈 博², 蒋金虎³

(1.华北计算机系统工程研究所, 北京 100083;

2.一汽(南京)科技开发有限公司, 江苏 南京 211100; 3.复旦大学 大数据研究院, 上海 200433)

摘要: 后处理分析是计算流体力学仿真分析中的一个重要组成部分。面向云计算环境设计了一种后处理服务模型, 基于模型实现了一个后处理服务原型软件, 用户可以通过客户端访问实现对流场数据的后处理分析。这种面向云计算环境的后处理服务充分利用了云端服务器的高性能计算资源, 实现了大规模数据的高效后处理计算, 实现了“云+端”的灵活后处理分析, 具有良好的可扩展性。

关键词: 后处理; 云计算; 服务架构; ParaView

中图分类号: TP311.5

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.211882

中文引用格式: 李佰文, 淮晓永, 高若辰, 等. 面向云计算环境的后处理服务[J]. 电子技术应用, 2022, 48(7): 96–99, 104.

英文引用格式: Li Baiwen, Huai Xiaoyong, Gao Ruochen, et al. A post-process service for cloud computing environment[J]. Application of Electronic Technique, 2022, 48(7): 96–99, 104.

A post-process service for cloud computing environment

Li Baiwen¹, Huai Xiaoyong¹, Gao Ruochen¹, Chen Bo², Jiang Jinhu³

(1. National Computer System Engineering Research Institute of China, Beijing 100083, China;

2. FAW(Nanjing) Technology Development Co., Ltd., Nanjing 211100, China;

3. Institute for Big Data, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: Post-processing analysis is an important part of computational fluid dynamics simulation analysis. In this paper, a post-processing service model is designed for the cloud computing environment. Based on the model, a post-processing service prototype software is implemented. The user can realize the post-processing analysis of the flow field data through client access. This post-processing service for the cloud computing environment makes full use of the high-performance computing resources of the cloud server to realize the high-efficiency post-processing calculation of large-scale data, realizes the "cloud + terminal" flexible post-processing analysis, and has good scalability.

Key words: post-processing; cloud computing; service architecture; ParaView

0 引言

计算流体力学(Computational Fluid Dynamics, CFD)是流体力学、数值求解计算和计算机科学与技术结合的一门新兴交叉学科^[1]。目前 CFD 已被广泛应用于汽车、船舶、航空航天等多个工业设计领域^[2-3]。

CFD 的基本结构一般分为前处理、数值求解和后处理分析三部分^[4]。后处理分析是对求解器计算出的结果数据进行可视化, 以直观的可视化方式呈现给用户^[5]。

仿真模拟人员在后处理时往往需要面对大量抽象的时空物理量, 整理分析这些数据将占据整个仿真模拟计算流程中的大部分时间。得益于计算机技术的发展, 如今使用后处理软件处理仿真模拟计算结果已经非常灵活和直观。但复杂大型的计算流体动力学仿真后处理

仍需要耗费大量的计算资源^[6]。另外, 研究人员常需要在不同的平台以不同的形式进行后处理分析。

针对目前 CFD 软件后处理所需计算量较大、操作平台不灵活等问题, 本文将后处理技术与云计算技术进行集成, 设计了一个面向云计算环境的后处理服务模型, 根据该模型基于 ParaView 模块设计实现了一个面向云计算环境的后处理服务原型软件。

1 后处理服务模型

后处理分析的主要功能包括: 残差图、等值面图、等值线图、矢量图、流线图、流场特征动画、仿真分析报告等^[7]。

用户通过残差图了解求解过程中求解值的收敛特性; 通过模型的等值面图、流场切面等值面图分析流场的速度、压力、温度、湍动能等在流场中的分布情况; 通过速度矢量图、流线图分析了解流体在流场中运动特性^[8];

* 基金项目: 国家重大项目(GJXM92579)

帧动画将流场分析的动态过程保存,以方便用户使用;仿真分析报告将较为全面的后处理分析结果整合在一个报告中供用户查阅。

WAMP(WebSocket Application Messaging Protocol)是一种建立在 WebSocket 之上可以进行发布、订阅和远程调用的通信协议^[9]。

根据后处理服务的主要功能需求,可以设计一个后处理服务模型,模型包含了常用功能的应用协议,客户端使用支持 WAMP 的通信协议向服务端发送包含不同应用协议的信息即可完成对具体后处理服务的调用。最终实现后处理功能的服务化。

后处理服务模型如图 1 所示。

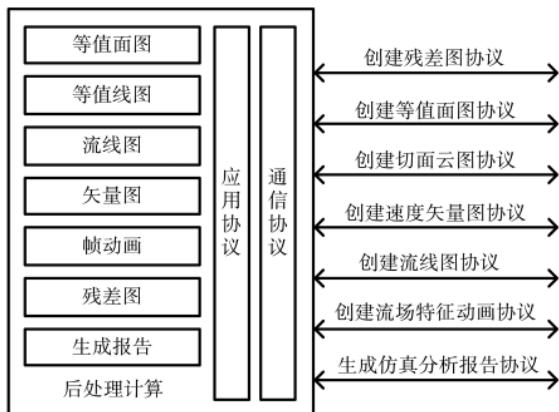


图 1 后处理服务模型

1.1 后处理服务应用协议

由后处理服务模型可知,由通信协议传递至服务端的信息,通过后处理服务应用协议调用具体的后处理计算功能。

根据后处理服务模型可以设计后处理服务应用协议类 PostprocessProtocols, PostprocessProtocols 类中包含了后处理服务功能的应用协议与实现方法,不同的方法使用不同的应用协议,通过对类中协议与方法的添加与修改即可完成后处理服务功能的增加与修改。类中包含的主要协议及功能如表 1 所示。

表 1 后处理协议类的主要接口协议

接口协议方法	接口功能
pp.create.residual	创建残差图
pp.vis.contour	创建等值面图
pp.vis.slice	创建等值线图
pp.vis.vector	创建速度矢量图
pp.vis.stream	创建流线图
pp.setting.update	更新设置项
pp.create.animation	创建流场特征动画
pp.create.report	创建仿真分析报告

1.2 基于服务的后处理分析流程

基于后处理服务协议和后处理服务模型建立一个

后处理服务,通过 ClientFactory 管理客户端连接,当 Client 成功连接时则创建协议对象接收 Client 请求执行相应计算功能。

基于本后处理服务模型的后处理分析流程时序图如图 2 所示。

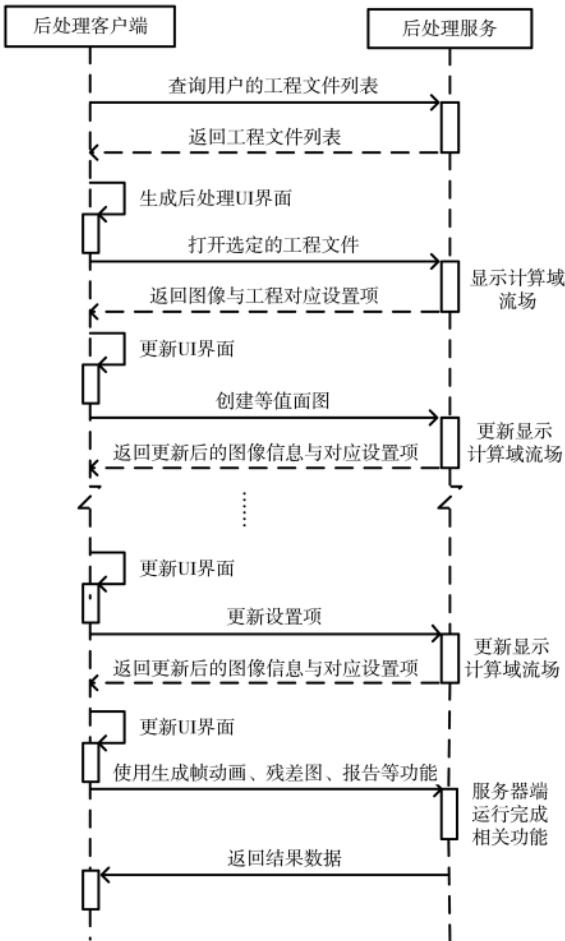


图 2 后处理分析流程时序图

主要有如下步骤:

- (1) 客户端获取到流场工程列表, 用户点击要打开的流场工程文件, 服务器端执行打开操作进行图像渲染并将图像发送给客户端, 客户端显示出几何模型的图像;
- (2) 用户点击想要使用的可视化功能按钮, 客户端向服务器端发送新建可视化功能申请, 服务器端接收到申请后将更新后的图像信息和可视化功能相关的设置项信息传回客户端, 最后客户端完成 UI 界面的更新;
- (3) 用户调整几何模型及可视化功能的设置项, 调整设置完成后应用设置项, 此时客户端向服务区端发送更新设置项请求, 服务器端更新图像信息并将信息返回至客户端, 客户端接收信息后完成 UI 的更新;
- (4) 用户点击想要使用的后处理其他功能, 如生成帧动画等功能, 客户端向服务器端发送相应的请求, 服务器端接收到信息后执行相关指令, 执行完成后将图像与结果返回给客户端。客户端再执行相应的显示功能。

2 后处理服务原型软件设计与实现

2.1 后处理服务原型软件总体设计

在后处理服务模型和协议的基础上,使用 wslink 模块^[10]作为通信协议,以 PostprocessProtocols 作为应用协议,配合 ParaView 等多个模块,设计实现一个后处理服务架构实例架构,如图 3 所示。

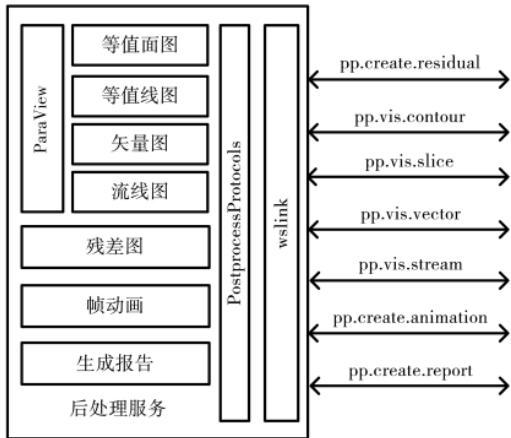


图 3 后处理服务架构

本后处理服务运行在 Python3.7 及以上版本,服务包含了后处理使用的各种模块,如 ParaView、Wslink、docx、ImageIO、Matplotlib 以及连接 VTK 的库包 vtkmodules 等。

Wslink 基于 autobahn 实现了 WAMP 协议,可以实现 Python Server 与 JavaScript 之间的双向通信。

ParaView 模块是一个用于构建科学可视化应用服务的 Python 模块^[11]。由于 ParaView 模块提供了较为完整的图形处理接口,因此可以按需求使用 ParaView 模块中的所需可视化算法构建后处理服务^[12]。在本后处理服务中通过对 ParaView 模块的图形处理接口,按照此前后处理服务模型的设计进行服务化封装,实现了后处理中与图形显示及操控有关的功能,如创建过滤器、获得设置项、应用设置项等。

2.2 后处理服务原型主要功能设计与实现

2.2.1 可视化功能相关设计项设计

根据需求本后处理服务需要提供等值面图、等值线图、速度矢量图与流线图 4 种可视化功能,并且在可视化功能执行后客户端需要展示相应的设置项,因此需要对主要设置项进行设计。

本服务中针对不同的可视化功能的主要设置项设计如表 2 所示。

等值面图中的等值面属性可以选择 p 或 u 等选项,等值面值是可以由用户输入的数值,服务在应用设置后则根据所选属性生成相应数值的等值面。等值面可以以点阵或者面的形式进行显示。

等值线图通过设置截面中心点 3 个数值和截面法向量 3 个数值来确定截面在空间中的位置。在生成的截

表 2 可视化功能主要设置项类型

功能类型	主要设置项类型
等值面图	等值面属性
	等值面值
等值线图	截面位置
	等值线属性
速度矢量图	等值线值
	矢量显示放大比例
流线图	矢量显示类型
	显示类型
	流线长度
	流线位置
	流线数量

面上会显示指定属性如 p、u 或者 k 的等值线。可以通过设置一个或多个等值线值调整截面上的等值线。

速度矢量图以箭头方向和不同颜色表示经过某些预设点的速度方向和大小,通常这些预设点的位置由求解计算过程确定。在速度矢量图中可以设置矢量箭头的放大比例和显示类型。矢量图显示类型可以选择面或者体两种,面类型下可以设置速度显示面的中心点和法向量,即展示包含在此面中的预设点的速度矢量箭头。体类型则直接展示此模型中所有预设点的速度矢量箭头。

流线图显示了流体质点具体的流动轨迹,可以设置显示类型和流线长度。显示类型包括线、面、体 3 种。在线类型下输入一个点坐标即可显示通过此坐标点的流线图;在面类型下可以设置面中心点位置和法向量。此外在面或体类型下可以设置流线数量。

在完成本后处理服务提供的功能类型及对应设置项的设计之后,即可进行可视化相关协议方法的设计与实现。

2.2.2 基于过滤器的可视化功能

下面以创建等值线图功能为例,介绍功能方法的设计与实现。方法的实现主要包括三步:(1)对流场功能调用 ParaView 模块的生成切面图过滤器展示某个流场切面;(2)在此切面内调用 ParaView 模块的生成等值图过滤器完成等值线图的创建;(3)获取功能的设置项。具体实现如下:

客户端在选定工程的情况下通过通信协议向服务端发送创建等值线图消息,消息中包含工程参数;服务端收到消息开始执行创建等值线图功能,首先解析出客户端发送协议中的工程参数,根据参数创建对象,将此对象设置为活动实例,读取流场文件的数据信息,然后调用 paraview.simple 中的创建流场切面过滤器方法为活动用例创建流场切面过滤器;从流场数据中根据默认等值线属性获得该属性值的数值范围,在数值范围取 N 等分值,调用 paraview.simple 中的创建流场等值图过滤器方法,并将 N 等分值作为创建等值线过滤器的等值线值;调用 simple.Show() 和 simple.Render() 方法更新 VTK 模块

显示的图像；使用等值线图实例对象下的 ListProperties 方法获取对象中的所有属性名，然后循环遍历属性列表，根据列表中的值执行 GetProperty 方法获得列表中属性值对应的具体设置项，将其中的属性值和设置项组成字典；最后将执行结果和字典发送给客户端。

程序基本流程图如图 4 所示。

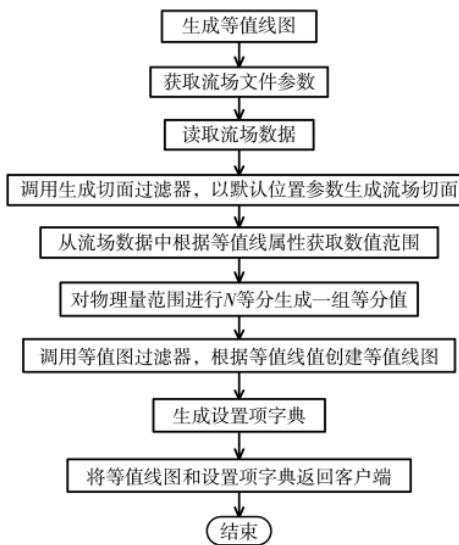


图 4 创建等值面图程序流程图

2.2.3 生成残差图功能

当用户调用生成残差图协议方法时，服务端将生成能够反映选定工程在求解计算过程中求解值收敛情况的残差图。

方法执行后，首先打开当前流场工程中的残差数据文件，读取文件中的数据，将表头储存并根据表头将数据保存在列表中，再根据时间变量进行行列转换等预处理得到最终的绘图列表，对绘图列表调用 Matplotlib 的 plot 方法进行二维绘图，最后将图像发送给客户端进行展示。

2.2.4 帧动画功能

帧动画根据实现反映了流场的动态变化情况，实现中使用 ParaView 模块实现了流场文件的读取，使用 ImageIO 模块完成场景动画的保存。

主要实现如下：方法执行后首先读取当前工程的流场数据，获得流场中的动画和动画步长；然后根据预设数据设置具体的属性与设置项，创建一个用来显示的观察器，将活动用例的数据显示在观察视角当中，调整观察视角的方位；再把所有动画步数的视角数据存入数组，调用 ImageIO 模块的方法将数组中的数据保存到本地 gif 文件；最后将帧动画数据打包返回客户端。程序基本流程图如图 5 所示。

2.2.5 生成仿真分析报告功能

仿真分析报告较为全面地整合了后处理分析结果，在功能实现中使用了 paraview-docx 模块完成文档文件

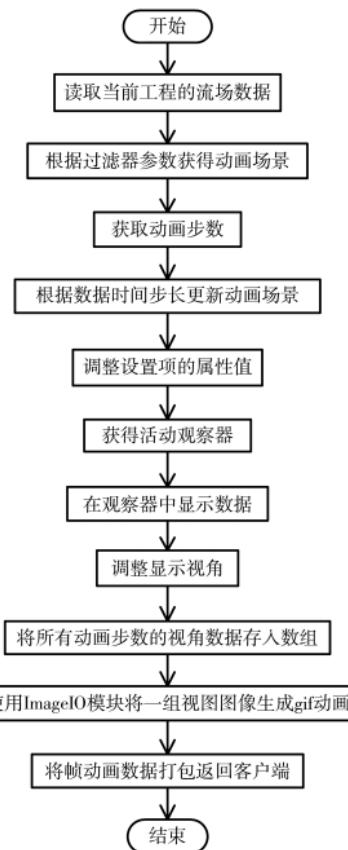


图 5 生成帧动画程序流程图

的创建与内容的添加。如使用 Document 方法创建文档对象，使用 add_heading 与 add_paragraph 方法添加段落和标题，使用 save 方法保存文档。主要实现步骤如下：

调用 docx 模块中的 Document 创建文档对象；根据网格划分数据和求解器参数设置生成工程概述段；读取残差图数据生成工程计算收敛图，将图片添加在残差图段落；在默认设置项下获取各个可视化分析图并保存在可视化分析段落。

3 后处理服务测试

将后处理服务部署在云端，用户可以通过客户端实现后处理分析功能。

这里通过一个基于 React 框架的 Web 后处理分析客户端对后处理分析服务功能进行测试，选择打开一个工程，如摩托车外流场仿真工程，验证创建等值面图、等值线图、矢量云图、流线图等可视化分析功能的可用性，然后验证生成残差图、帧动画和生成报告等功能的响应情况。

其中，生成等值面图及等值线图功能测试结果如图 6、图 7 所示。

经过测试，面向云计算环境的后处理服务能够给客户端提供后处理计算相关接口，满足了后处理分析需求；由于利用了云上的高性能计算资源，后处理计算效

(下转第 104 页)

息通信技术与政策,2020(7):27-37.

- [7] PASTERNACK.PE15A3506 datasheet[EB/OL].(2014-xx-xx)[2022-04-14].<https://www.pasternack.cn/images/ProductPDF/PE15A3506.pdf>.
- [8] 泰莱微波.RS4W2080-S datasheet[EB/OL].(2014-xx-xx)[2022-04-14].<http://www.talentemw.com/upload/RS4W2080-S.pdf>.
- [9] 苏州瑞贝斯电子科技有限公司.RBS-70-12.4-6-5W data-sheet[EB/OL].[2022-04-14].<http://www.rebes.net/folder/%E5%8F%AF%E8%B0%83%E8%A1%B0%E5%87%8F%E5%99%A8/6%E7%B3%BB%E5%88%97%E5%-->

(上接第 99 页)

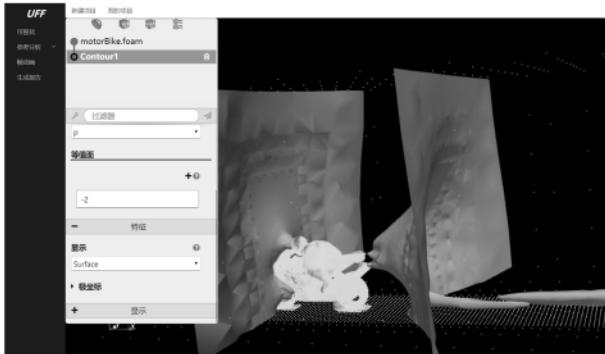


图 6 等值面图测试结果

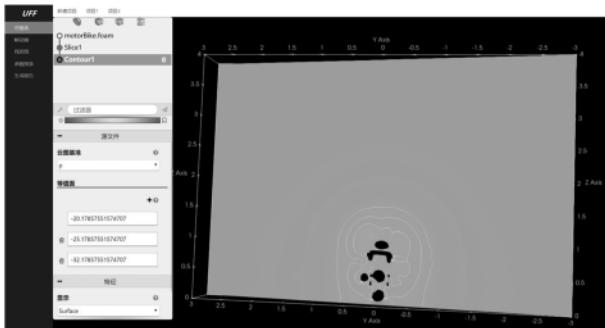


图 7 等值线图测试结果

率也得到了有效提高。

4 结论

本文通过对 ParaView 等模块进行服务化封装,设计实现了一种基于云计算环境的后处理服务框架。这种“云+端”的后处理服务架构同时具有服务器端的高性能和客户端的便捷性,实现了云端协同的优化计算,且具有良好的可扩展性。

参考文献

- [1] 李建东,胡光初.混合网格大规模并行自主 CFD 软件研发进展[C]//第十六届中国 CAE 工程分析技术年会,2020.
- [2] 庞润芳,郑坤灿,任雁秋,等.关于 CFD 流场后处理软件的开发及应用[J].现代电子技术,2017,40(20):61-63,66.
- [3] 郭晓威,李超,刘杰,等.一种高可扩展的通用 CFD 软件

8F%AF%E8%B0%83%E8%A1%B0%E5%87%8F%E5%99%A8.pdf.

(收稿日期:2022-04-14)

作者简介:

张恺(1982-),男,博士,副研究员,主要研究方向:超导高频、射频微波技术以及光电信号检测与处理技术。

陈秋菊(1982-),通信作者,女,博士,副研究员,主要研究方向:射频微波与信号处理技术,E-mail:qqchern@ustc.edu.cn。



扫码下载电子文档

架构设计与原型系统实现[J].计算机工程与科学,2020,42(12):8.

- [4] 倪小丹,刘金武,高为国.基于 K3PREP 的流体动力学计算(CFD)的块和网格生成规则[J].湖南工程学院学报(自然科学版),2003,13(1):27-29.
- [5] 杨勇.基于 SolidWorks 的 CFD 前后处理软件的设计与实现[D].重庆:重庆大学,2008.
- [6] 孙晗琦.并行计算在计算流体力学中的研究[D].大连:大连理工大学,2005.
- [7] 陈永,张建海,刘会娟,等.基于 Surfer 的有限元后处理等值线图批处理程序开发[J].物探化探计算技术,2005,27(2):181-184.
- [8] 马千里.CFD 非结构化网格流场体可视化方法研究[D].长沙:国防科学技术大学,2011.
- [9] CANNUHLAR.Web application messaging protocol(WAMP)[EB/OL].(2018-xx-xx)[2021-06-22].<https://wamp-proto.org/>.
- [10] WSLINK.Wslink,provide easy,bi-directional communication between a python server and a javascript or C++ client over a websocket[EB/OL].(2020-xx-xx)[2021-06-22].<https://kitware.github.io/wslink/>.
- [11] PARAVIEW.ParaView / Python scripting [EB / OL].(2019)[2021].https://www.paraview.org/Wiki/ParaView/Python_Scripting.
- [12] 刘庆彬,潘懋,刘洁,等.基于 ParaView 的 Abaqus 有限元输出结果的可视化与虚拟现实[J].岩土力学,2019,40(12):9.

(收稿日期:2021-06-22)

作者简介:

李佰文(1995-),通信作者,男,硕士研究生,主要研究方向:智能信息处理,E-mail:lbw0228@126.com。

淮晓永(1973-),男,博士,高级工程师,主要研究方向:智能软件工程、云计算。

高若辰(1996-),女,硕士研究生,主要研究方向:智能信息处理。



扫码下载电子文档

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所