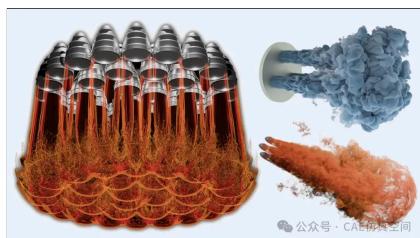


星舰仿真挑战：500万亿个网格点，CFD仿真33台发动机！

CAE仿真空间 2026年1月8日 17:07 山东

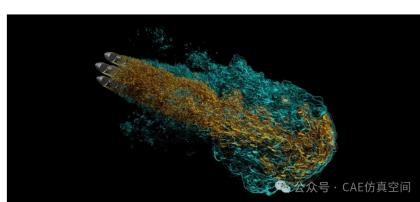
美国的研究人员利用一台百亿亿级超级计算机进行了有史以来最大规模的流体动力学仿真。它在单一计算流体力学（CFD）问题中超过了1万亿亿自由度。团队使用了劳伦斯利弗莫尔国家实验室（LLNL）的百亿亿级超级计算机El Capitan。



比以往方法加快了80倍

研究团队还指出，他们比以往方法实现了80倍的加速，内存占用减少了25倍，且能耗与解的比例降低了5倍以上。通过将算法效率与El Capitan的芯片设计结合，他们展示了如此规模的仿真可以在数小时内完成，而非数周。

该研究团队入围了2025年ACM戈登·贝尔奖，该奖项是高性能计算领域的最高荣誉。



为了应对模拟多台火箭发动机同时点火产生的湍流排气流的极端挑战，团队的方法结合了一种新提出的激波正则化技术——信息几何正则化（Information Geometric Regularization, IGR），该技术由佐治亚理工学院的斯宾塞·布林格尔斯教授、纽约大学库朗特大学的弗洛里安·谢弗教授和现为康奈尔大学博士生的曹瑞佳教授发明并实现。

500万亿自由度

团队利用El Capitan上所有11,136个节点和超过44,500个AMD Instinct MI300A加速处理单元（APU），实现了超过500万亿个网格点，或500万亿亿个自由度。他们进一步将这一标准扩展到ORNL的Frontier，自由度超过了1万亿度。

模拟使用了MFC，这是Bryngelson团队维护的宽松许可开源代码。这些模拟展示了受SpaceX超级重型助推器启发的复杂配置的完整排气动力学，正如发布文件所述。

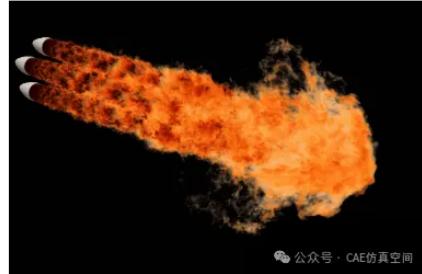
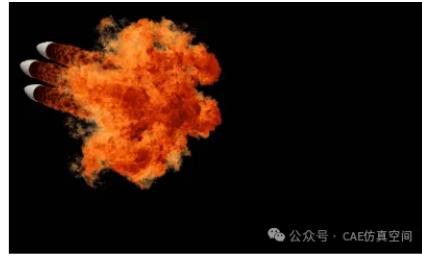


仿真树立了新的标杆

研究团队还强调，该模拟为百亿次CFD性能和内存效率树立了新的标杆。它还为计算驱动的火箭设计铺平了道路，用前所未有的分辨率预测建模取代昂贵且有限的物理实验。

“在我看来，这是流体力学领域的一个引人入胜且显著的进步，”该项目负责人佐治亚理工学院的Bryngelson表示。“该方法更快更简单，对埃尔卡皮坦的能量消耗更低，且能模拟比以往最先进的方法更大的问题——大好几个数量级。”





团队强调，随着私营部门航天的扩展，运载火箭越来越依赖紧凑型高推力发动机阵列，而非少数大型助推器。

这种设计带来了制造优势、发动机冗余和更便捷的运输，但也带来了新的挑战。当数十台发动机同时点火时，它们的烟羽以复杂的方式相互作用，将炽热气体驱回飞船基地，威胁任务成功。

求解器来源文章

MFC 5.0: An exascale many-physics flow solver

Benjamin Willong^{1,*}, Henry A. Le Berre^{1,*}, Anand Radhakrishnan^{1,*}, Ansh Gupta¹, Daniel J. Vickery¹, Diego Vaca-Revelo², Dimitris Adam³, Haoseng Yu³, Hyokun Lee⁴, Jose Rodolfo Chiriv¹, Mireya Carcamo Barrios⁵, Yanjin Zhang¹, Esteban Cisneros-Garibay⁶, Aswin Gunasekaran², Mauro Rodriguez Jr.⁷, Reuben D. Budiantri⁷, Stephen Abbott⁸, Tim Colonius⁸, Spencer H. Bryngelson^{1,3,9}

¹School of Computational Science & Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 30332, USA

²Mechanical and Materials Engineering, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, MA 01609, USA

³Daniel Guggenheim School of Aerospace Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 30332, USA

⁴Department of Mechanical and Civil Engineering, California Institute of Technology, Pasadena, CA 91125, USA

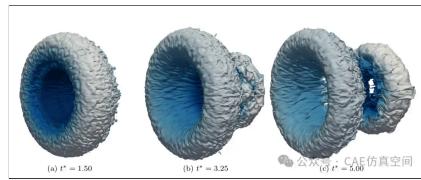
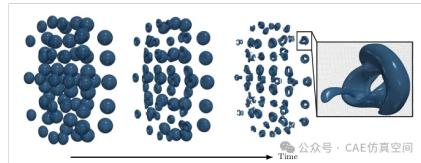
⁵School of Engineering, Brown University, Providence, RI 02912, USA

⁶Mechanical Science & Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL 61803, USA

⁷Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN 37830, USA

⁸Hewlett Packard Enterprise, Bloomington, MN 55435, USA

⁹George W. Woodruff School of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 30332, USA



注：部分资料可能来源于网络，转载的目的在于传递更多信息及分享，如涉及侵权，请联系我们及时修改或删除。

