面向投影型自适应笛卡尔网格的并行生成方法

朱一红[1]　陈浩[1]　陈波[1]

[1]中国空气动力研究与发展中心

一、背景与挑战

背景

投影型笛卡尔网格兼具笛卡尔网格高效性与贴体网格保型性，是复杂外形绕流仿真的重要网格形式。工程快速迭代设计中，串行网格生成成为仿真效率瓶颈。

两大核心挑战

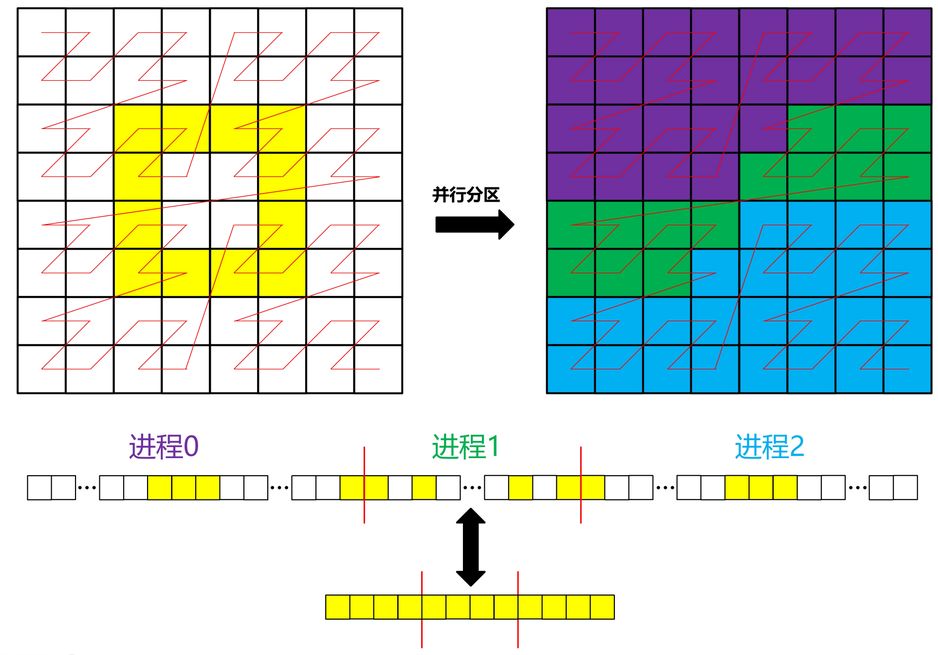
- 负载均衡难：几何自适应加密导致动态负载失衡；需兼顾生成阶段与求解阶段的负载分配。
- 边界一致性难：加密过程中跨节点相邻关系更新与物面生成中多分区公共点协调缺乏高效鲁棒方案。



二、并行生成方法

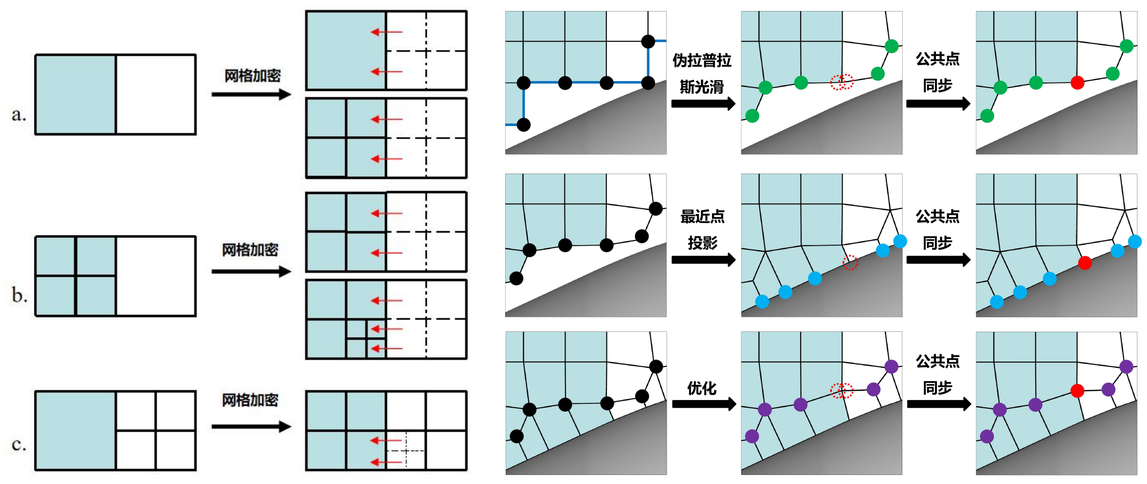
并行分区

Z曲线保证一维排序与划分，相交单元均衡分区策略改善自适应加密过程的计算负载失衡问题。



分区同步

相邻关系和公共点同步保证网格数据拓扑关系的全局一致性。

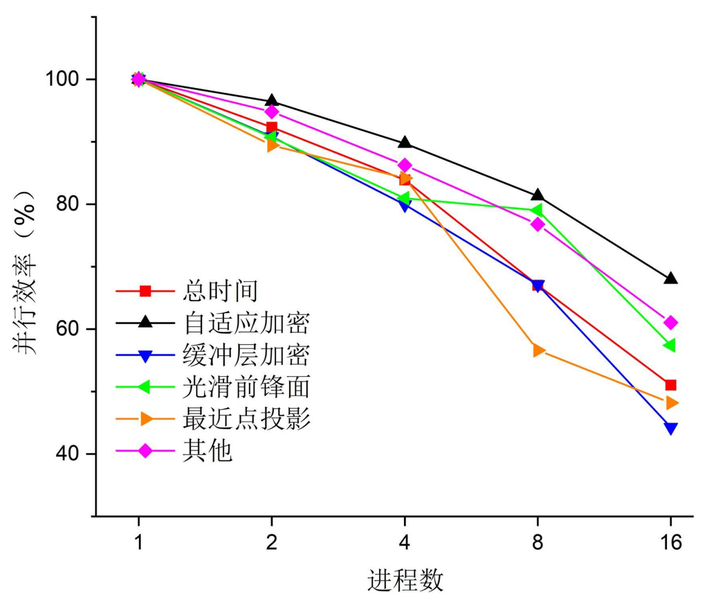


三、算例验证

本文方法能够有效分散计算负载，在多种数模下都能保持较好的并行加速效果，具备良好的通用性。

		生成时间	加速比			
数模	网格量\核数	1	2	4	8	16
CHN-F1	3045572	41.687	1.847	3.356	5.364	8.167
CT-1	3606481	38.838	1.839	2.930	4.612	6.528
MF-1	1593062	20.997	1.830	3.148	5.175	6.570
X-38	4023288	52.805	1.845	3.408	6.126	8.923
HB-2	2941482	33.670	1.946	3.441	5.937	8.353

自适应加密过程表现出良好的并行加速性能。



四、结论与展望

结论

在五个模型上整体验证，网格生成全过程16核加速比稳定在6.5~8.9。并行分区采用Z曲线结合相交单元均衡策略，自适应加密过程16核加速比达10.87，负载均衡得到有效保证。边界同步使气动力误差控制在1%以内，确保与串行结果保持一致。

展望

后续将在更广泛的数模类型与复杂构型上开展系统性测试，针对投影点集中导致的负载不均衡问题，结合算法优化与任务调度加以改进，并推进软件化落地。

