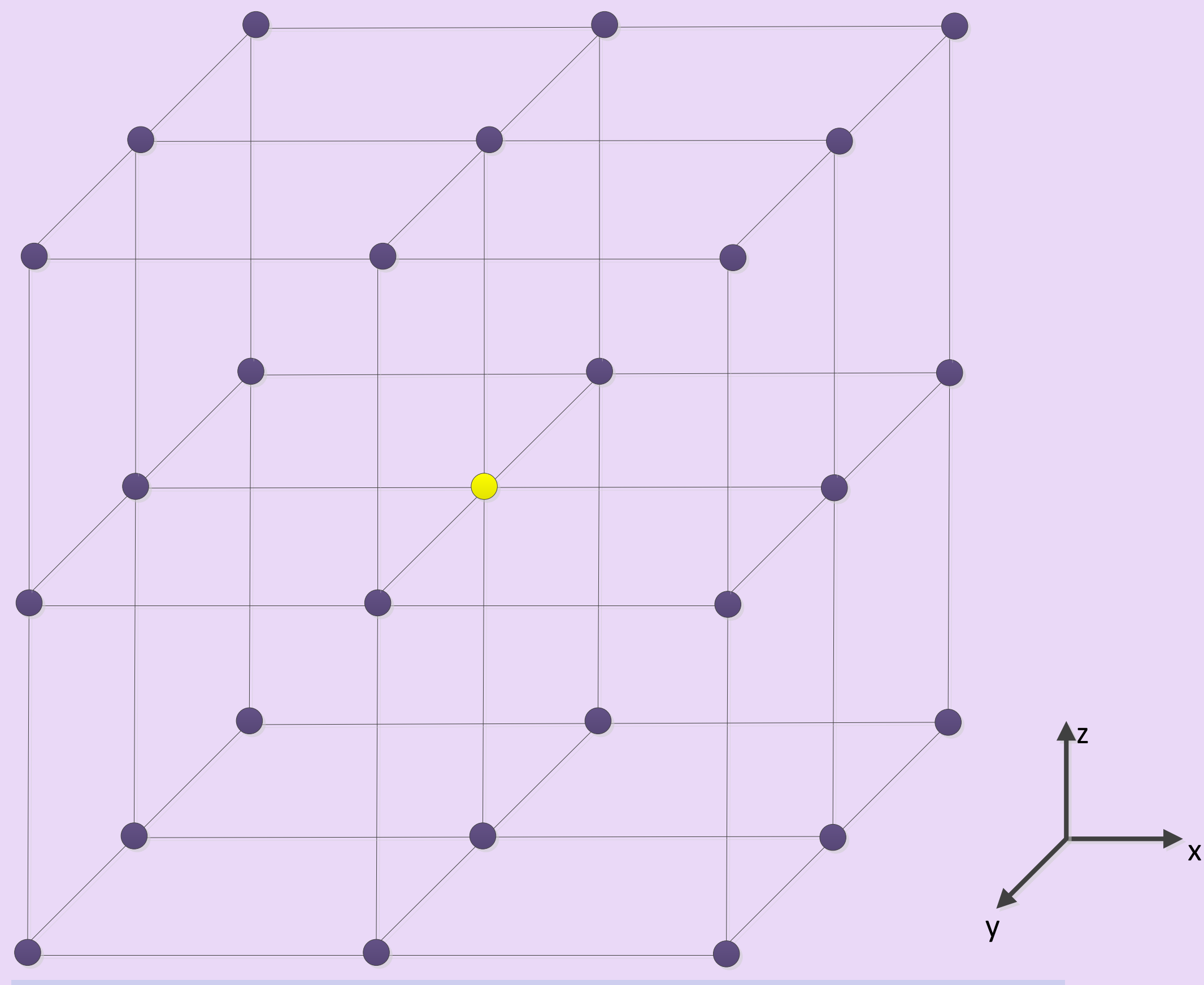


国产某先进计算平台上HPCG并行算法及优化技术研究

刘芳芳, 王志军, 汪荃, 吴丽鑫, 马文静, 杨超, 孙家昶
联系人: 刘芳芳 fangfang@iscas.ac.cn 13466713051

HPCG是一种新型的超级计算机评测软件, 主要用于衡量超级计算机解决大型稀疏线性系统的能力, 其实测性能与实际应用性能更为接近, 目前已与传统的评测软件HPL同时发布, 受到了国内外的广泛关注。本工作主要面向国产某先进计算平台开展HPCG异构众核并行算法及优化技术研究。



- HPCG求解的是三维网格上的泊松方程
- 使用27点stencil进行有限差分离散

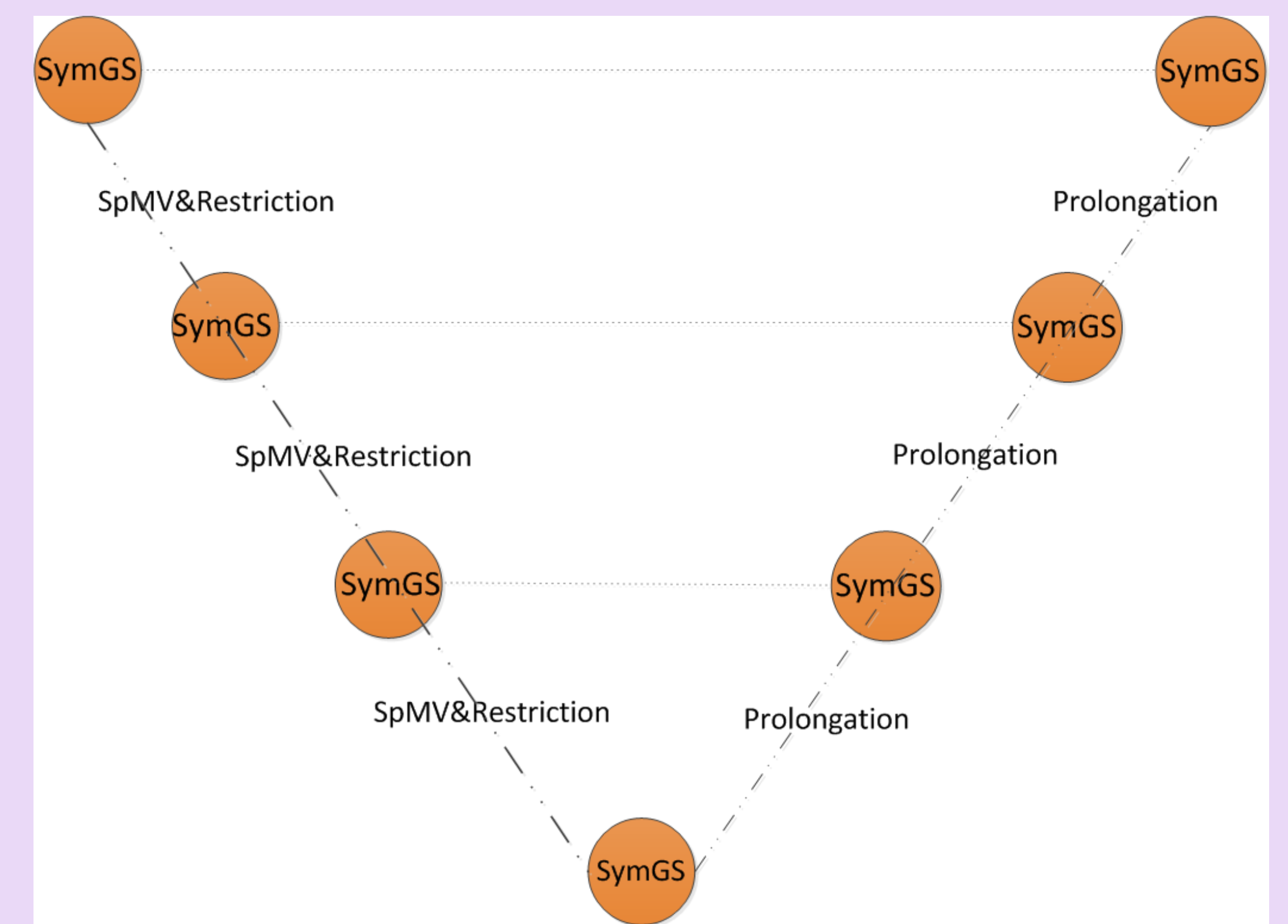
Algorithm 1 CG for $Ax = b$

Input: $A, b, x_0, it_{max}, \varepsilon$

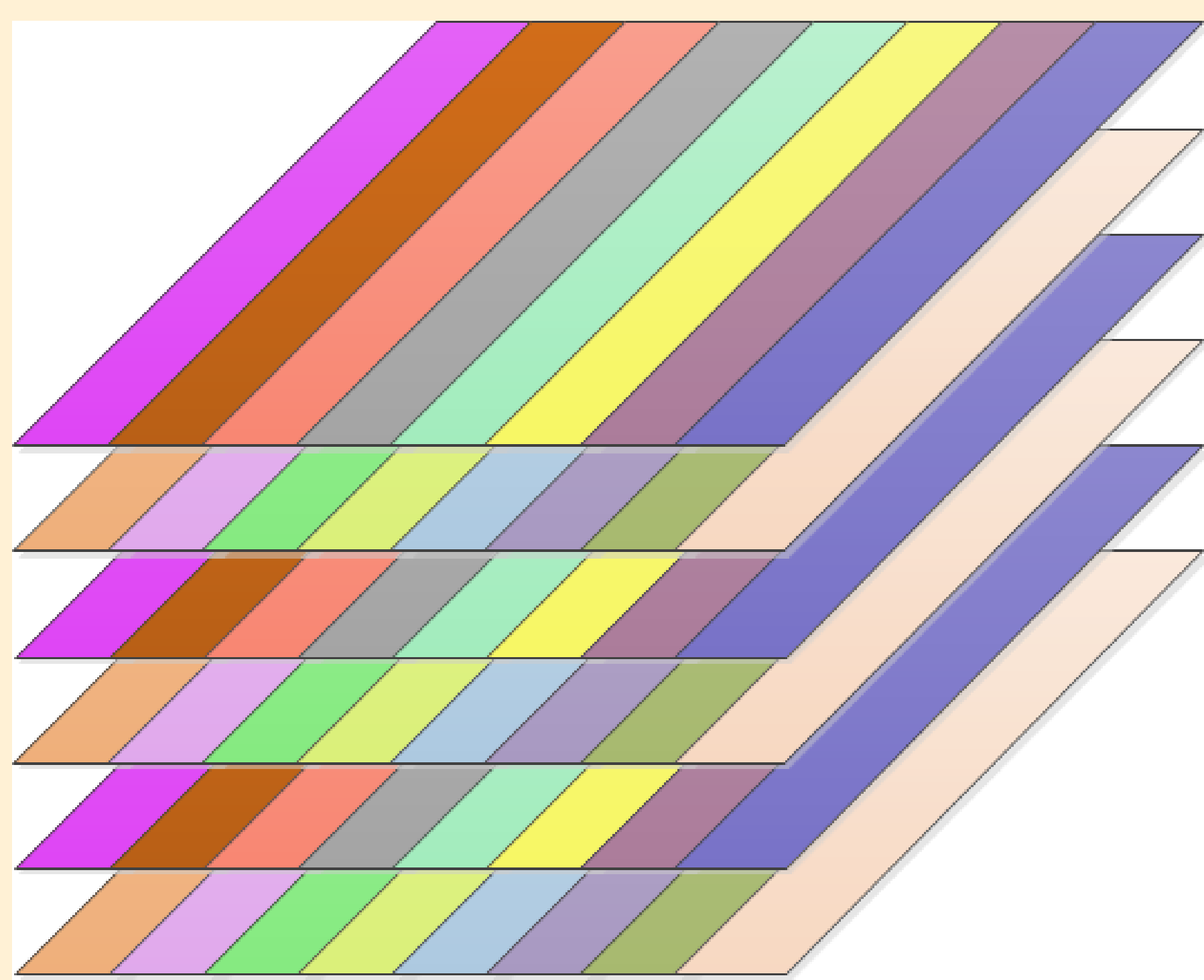
```
1:  $r_0 \leftarrow b - Ax_0$ 
2: for  $i = 0, 1, \dots, it_{max}$  do
3:    $z_i \leftarrow M^{-1}r_i$ 
4:    $s_i \leftarrow (r_i, z_i)$ 
5:   if  $(i = 0)$   $p_i \leftarrow z_i$ 
6:   else  $p_i \leftarrow z_i + (s_i/s_{i-1})p_{i-1}$ 
7:    $\alpha_i \leftarrow s_i/(p_i, Ap_i)$ 
8:    $x_{i+1} \leftarrow x_i + \alpha_i p_i$ 
9:    $r_{i+1} \leftarrow r_i - \alpha_i Ap_i$ 
10:  if  $(\|r_{i+1}\|_2/\|r_0\|_2 \leq \varepsilon)$  break;
11: end for
```

Output: x_{i+1}

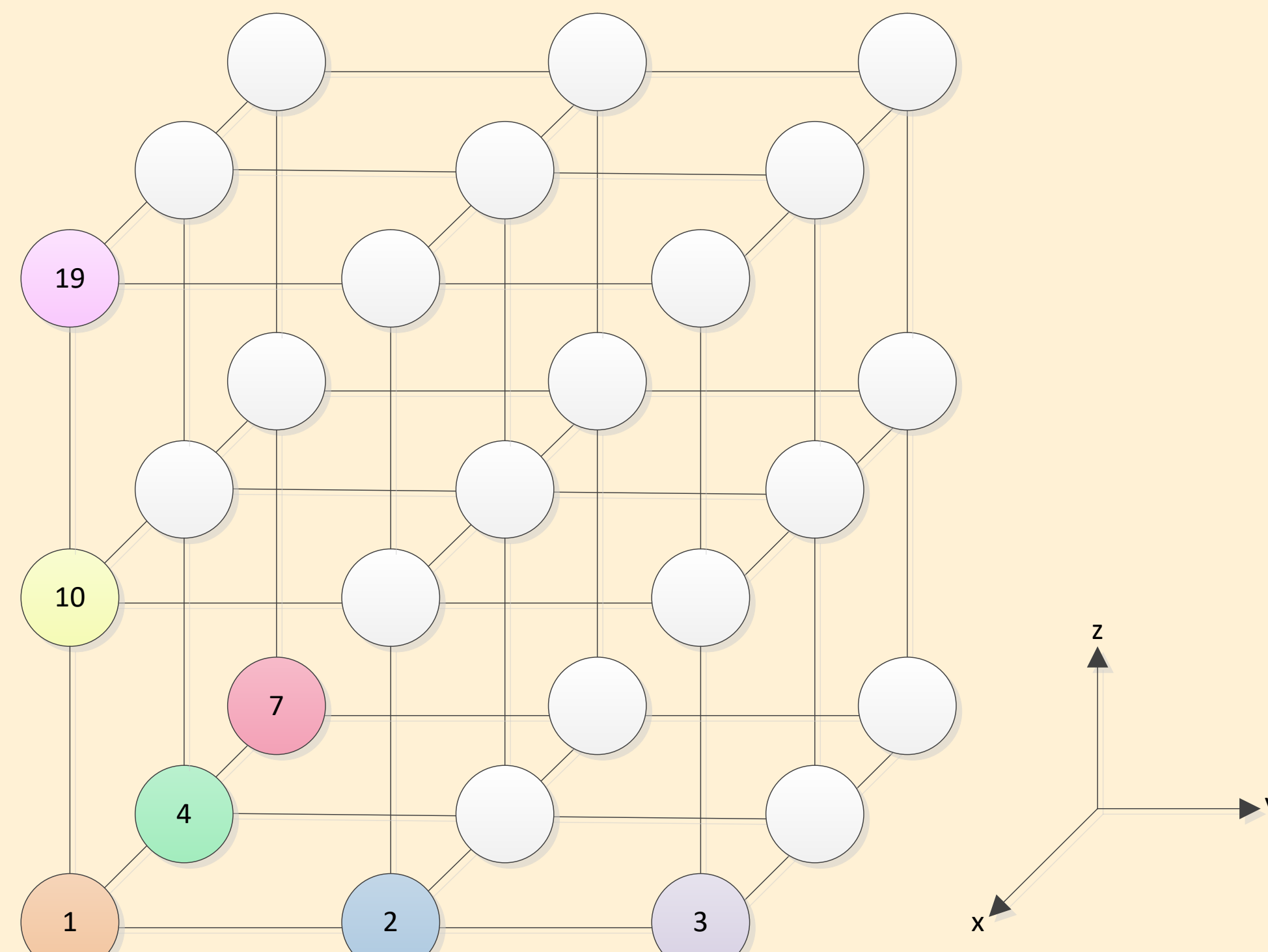
- 采用共轭梯度算法进行求解
- 包含邻居通信和全局通信



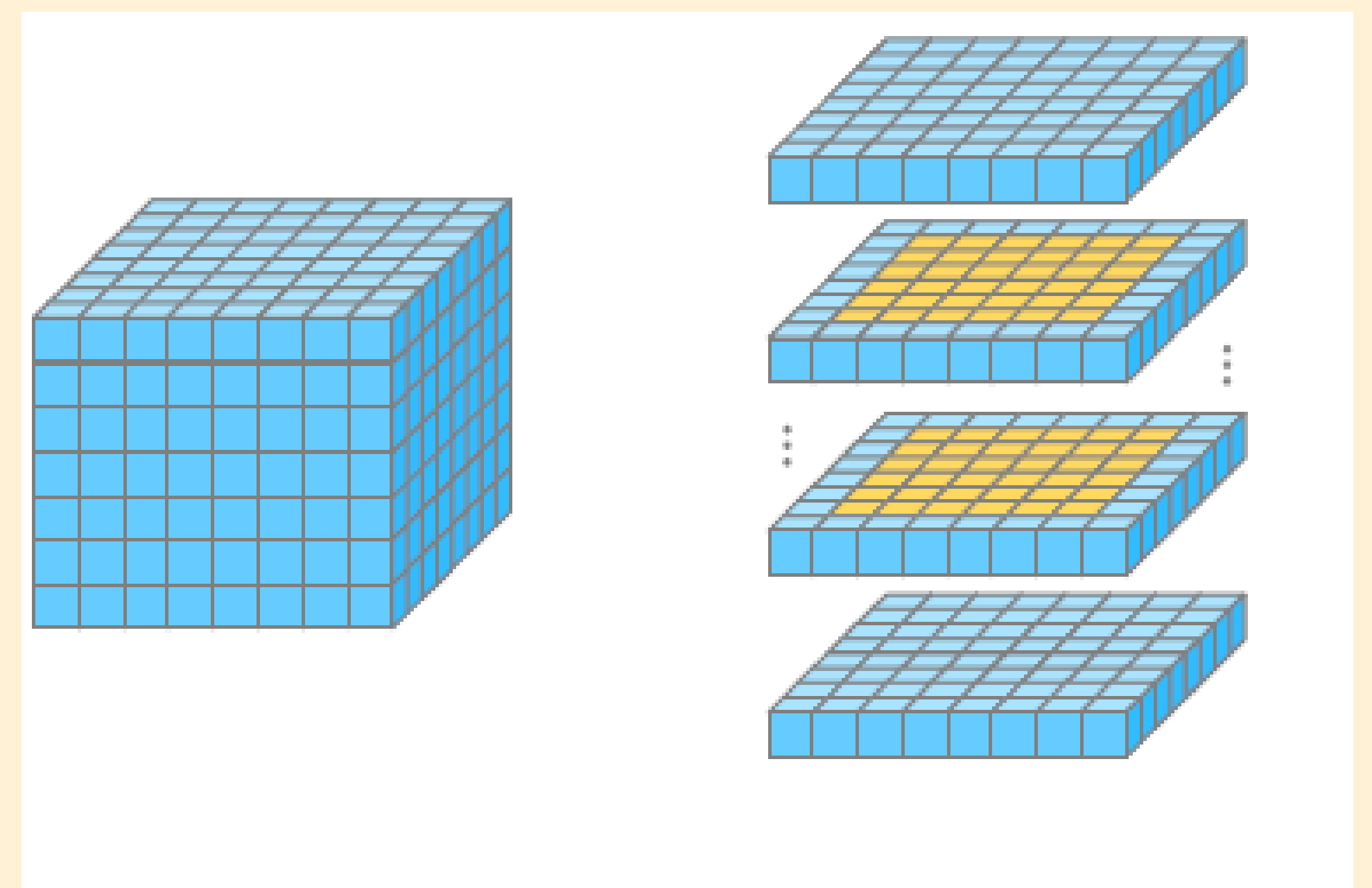
- 采用多重网格为预条件子, SymGS为内部求解器
- SymGS耗时最长, 其本质串行, 对其并行时会破坏原始算法部分依赖, 导致收敛次数增加



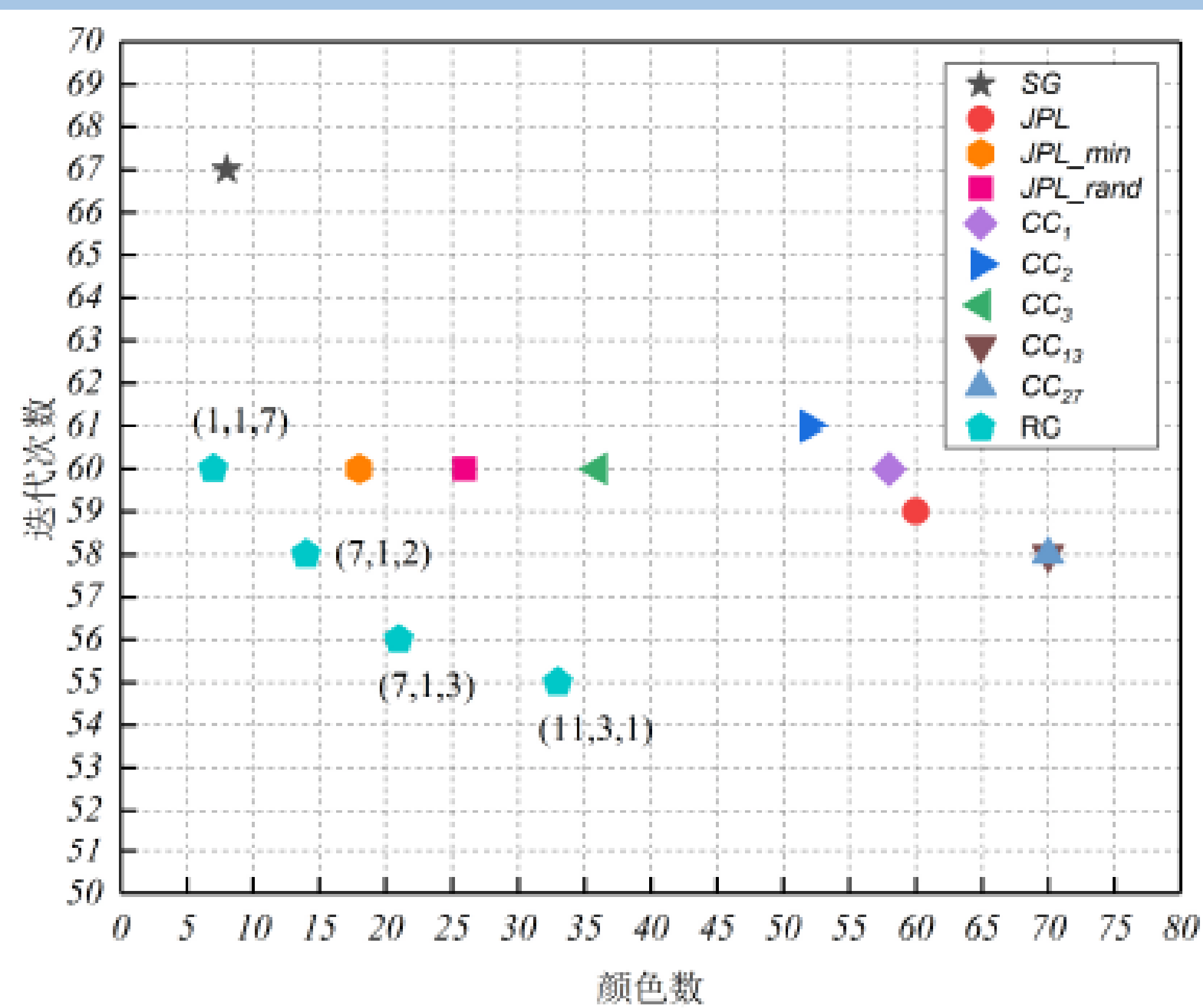
- 采用分块图着色算法进行并行
- 块间和块内两级并行
- 着色方案将会影响收敛次数



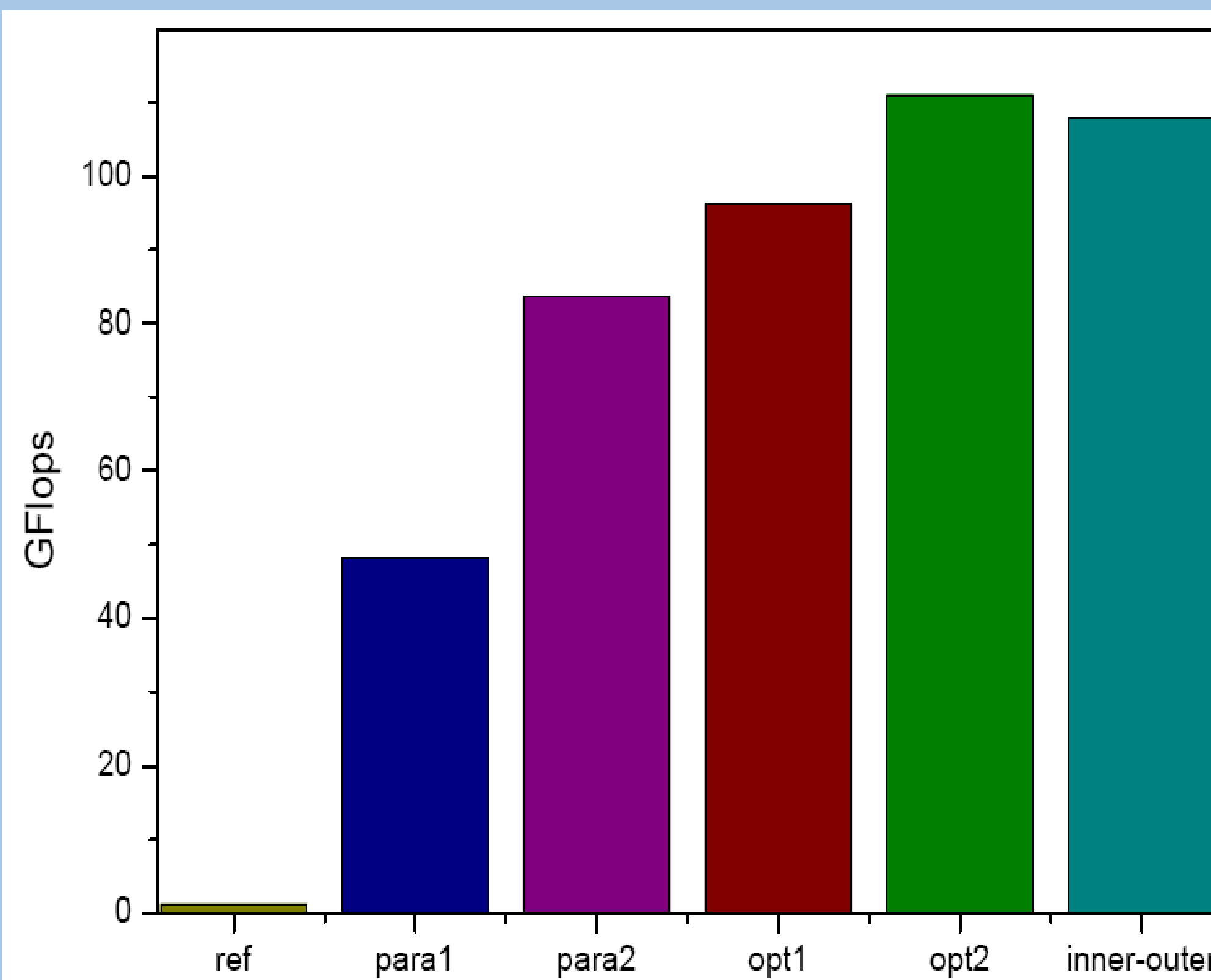
- 提出一种适用于该类问题的图着色算法
- 相比国际上现有图着色算法JPL、CC等, 颜色数更少, 但着色质量更好



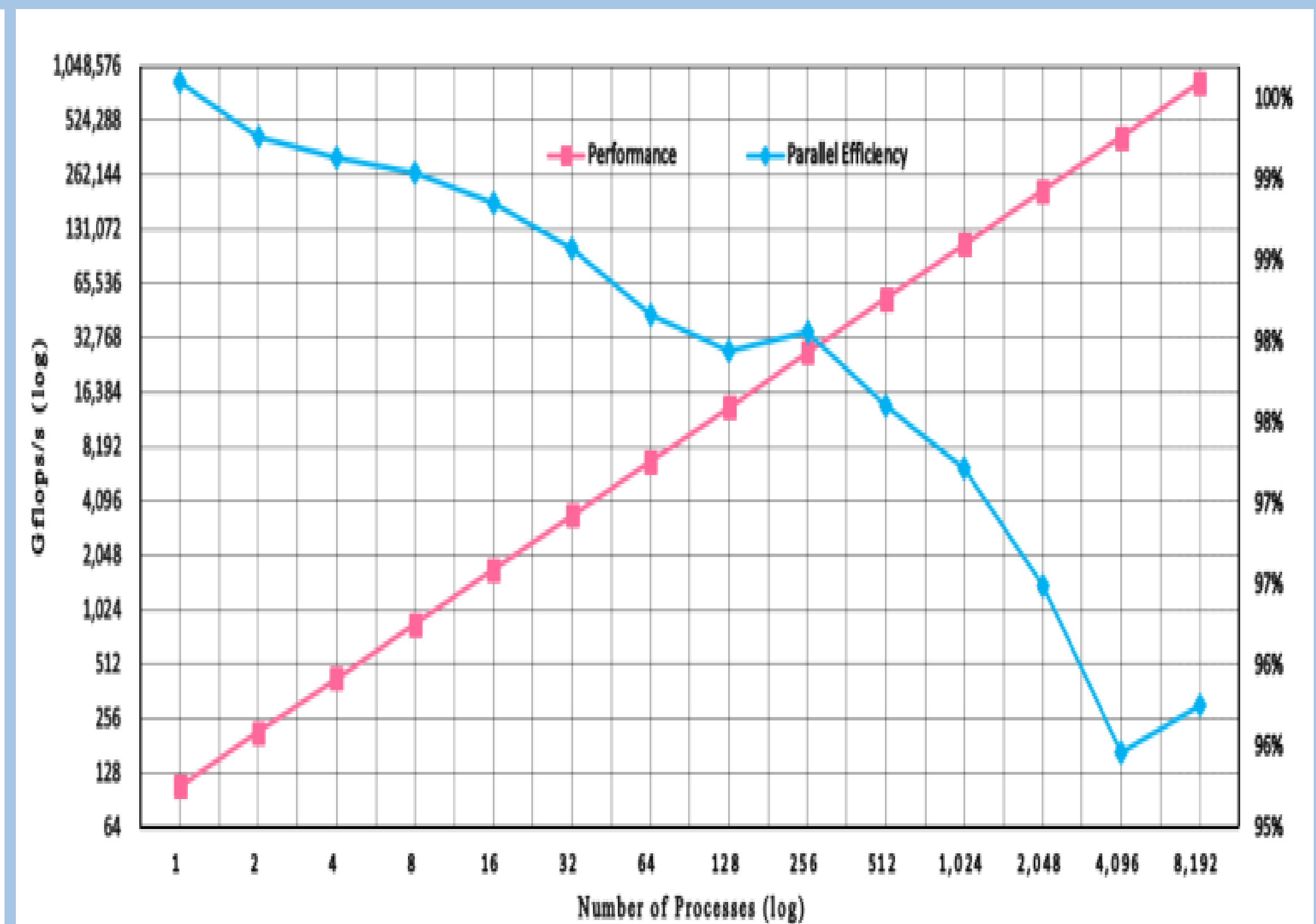
- 采用内外区划分技术将邻居通信与计算重叠
- 块边界单独存放, 以减少离散访存



- 新的图着色算法最少迭代次数为55次
- 相比国际上其他图着色算法减少3次
- 颜色数也更少, 该算法为33色, 现有算法最少为70色



- 规模为 $256 \times 256 \times 256$, 单节点性能429.53GFlops
- 相比参考版加速88倍



- 研制的HPCG众核并行版软件先后用于3次整机测试
- 8192进程下, 并行效率达到96.15%, 实测性能达到峰值性能的1.63%