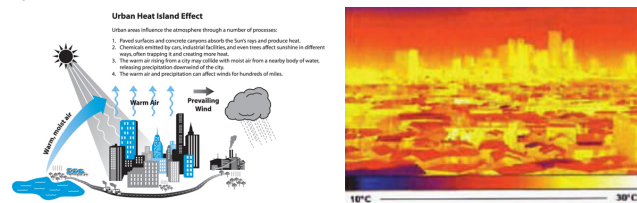


局所気象シミュレーションで現れる線形方程式に対する前処理の評価

平野 光（筑波大学）：代表者，多田野 寛人（筑波大学），櫻井 鉄也（筑波大学），
池田 亮作（筑波大学），日下 博幸（筑波大学）

背景と目的

気象シミュレーションの分野の1つに、現実場の都市気候の予測や小スケールの気象現象の再現を行い、霧やヒートアイランドなどの現象の予測、解明を行うものがある。



モデル化

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_i \bar{u}_j}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{1}{Re} \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \right]$$

離散化

$$Ax^{(i)} = b^{(i)}$$

- A : 数万～数十万次元の疎行列
 - i : 時間ステップ (数十万ステップ)
- 各時間ステップで解く

全体では膨大な計算量。
より効率的に解きたい。

・池田亮作，日下博幸，複雑地形上のLESモデルの開発，2009.
・www.ucar.edu/communications/staffnotes/0603/cities.shtml
・www.urban-climate-energy.com/urbanHeatIsland.htm

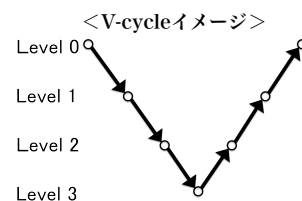
MLD2P4パッケージ[1]

- Multi-Level hybrid preconditioner(ML)が使用可能 (V-cycleとblock-Jacobi(BJAC)を組み合わせた解法)
- 気象シミュレーションで現れる線形方程式に有効であるとされる[2]

- MPIにより並列化可能

- パラメータ

- Level : V-cycleの階層
- subdomain solver : 各階層の方程式に用いる反復法の前処理
- coarsest solver : 最下層の方程式に用いる反復法
- coarsest subsolver : coarsest solverに用いる前処理

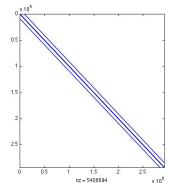


実験環境

- CPU: AMD Opteron(tm) Processor 6180 SE(2.5GHz) 12-Core x 4
- Memory: 256 Gbytes
- OS: Cent OS 5.4
- Compiler: GFortran4.5.2
- Package: GotoBLAS2[3], PSBLAS[4]
- Middleware: MPI
- 最大行列ベクトル積回数: 1,000
- 収束判定条件: $\|r_i\| / \|b\| \leq 1.0 \times 10^{-5}$

The test matrix

- 気象シミュレーションで現れる行列 (実問題)
- Size : 292,864
- #nnz : 5,406,694 (次元数の約18倍)
- 非正則



数値実験

- ML前処理+BiCGstabと前処理なしBiCGstab (既存解法) と並列性を比較した

表1:ML+BiCGstab vs 前処理なし BiCGstab (反復回数)

#process	ML	BiCGstab
1	27	445
2	27	399
4	27	391
8	30	445
16	30	400

remark	
Level	3
subdomain solver	ILU(0)
coarsest solver	BJAC
coarsest sub solver	ILU(0)

表2:ML+BiCGstab vs 前処理なし BiCGstab (計算時間)

#process	ML	BiCGstab
1	7.98E+00	2.37E+01
2	9.85E+00	1.08E+01
4	5.29E+00	5.49E+00
8	4.01E+00	3.84E+00
16	5.07E+00	2.23E+00

シリアルでは計算時間が減少したがパラレルでは既存方法に逆転されている

- パラメータ設定を変更しMLD2P4の挙動を調べた

表3:Levelの変更

Level	計算時間
3	7.98E+00
2	7.07E+00
4	7.31E+00
5	7.49E+00

表4:coarsest solverの変更

coarsest solver	計算時間
BJAC	7.98E+00
JACOBI	6.54E+00

表5:coarsest subsolverの変更

coarsest subsolver	計算時間
ILU(0)	7.98E+00
ILU(1)	7.65E+00
ILUT(1e-4)	7.11E+00
ILUT(1e-3)	6.78E+00
ILUT(1e-2)	7.10E+00

表6:subdomain solverの変更

subdomain solver	計算時間
ILU(0)	7.98E+00
ILU(1)	7.65E+00
ILUT(1e-4)	7.11E+00
ILUT(1e-3)	6.78E+00
ILUT(1e-2)	7.10E+00

表7:表3～6で最適なパラメータに設定した場合

#process	計算時間
1	7.13E+00
2	7.73E+00
4	4.55E+00

remark	
Level	2
coarsest solver	JACOBI
coarsest sub solver	ILUT(1e-3)
subdomain solver	ILUT(1e-3)

まとめと今後の展望

1. ML前処理の性能評価をした。シリアルでは計算時間が短縮されたが、並列度を上げると前処理なしBiCGstabに逆転されてしまった。
 2. パラメータ設定を変更しMLD2P4の挙動を調べた。設定の仕方によっては短縮されたが、最適な設定はまだ見つからない。
- 今後は、1の原因の解析及び並列性の高い有効な前処理を検討していく。

[1] <http://www.na.icar.cnr.it/~dambra/p/>

[2] A. Aproxvitoia, P. D'Ambra, F.M. Denaro, D. di Serafino, S. Filippone, Application of parallel algebraic multilevel domain decomposition preconditioners in large eddy simulations of wall-bounded turbulent flows: first experiments, ICAR-CNR Technical Report RT-ICAR-NA-07-02, 2007

[3] <http://www.tacc.utexas.edu/tacc-projects/gotoblas2>

[4] <http://www.ce.uniroma2.it/psblas/>