



ビッグデータ時代の科学を拓く – 可視化におけるHPC活用

- 1. はじめに:可視化における創発的シンセシス
- 2. 有限要素法を用いた構造解析過程と可視化
- 3. HPCのための可視化
- 4. HPCを活用した可視化
- 2014年11月7日(金) 5. まとめ

日本原子力研究開発機構 システム計算科学センター

中島 憲宏





科学(構造解析)における可視化とは

- ① 観察結果のデフォルメ(可視化すべき特長の抽出と偶像化・印象化)
- ② 観察困難な事象の顕現化(偶像化・抽象化(意図を持った印象化))

可視化の本質は、観察事実(計算結果の分析結果)から可視化則を推論することにある. >観察された諸事実の集合から出発し、最良の説明(可視化)へと推論する仮説を形成すること (意図を持った印象化)

課題:明示的に記述されていない挙動を具象化する方法論の確立



構造解析における可視化課題(不完全目的情報問題):解析作業者でなく,設計者の視点が重要 (環境だけでなく目的に関する情報が不十分なため、問題を完全に記述できない問題で、共創的解探索が必要となる問題) ●設計上は,環境や利用目的が定義できるが,一層安全や安心という社会的要請には不完全 (一方で,より安くというような変化や市場要求により,不完全さは一層混沌化)

●構造の全てについて仕様はさだめられていないことから仕様との関連分析による問題の記述

➡可視化情報のシンセシス 物理量の可視化から、物理量と物理量の分析結果と分析手続きの可視化へ

(1)



有限要素解析のモデリング過程











京を活用した計算実験:計算モデル













設計過程では、局所的な確認が重要(美しくない)

物理量の可視化から, 物理量と物理量の分析結果と分析手続きの可視化へ







By courtesy of HLRS, the High Performance Computing Center Stuttgart of the University of Stuttgart

6



- 原子力機構(システム計算科学センター)におけるシミュレーション・データの特徴
 - CADデータに基づく複雑な実形状データ(あるがまま解析の実現へ向けて)
 - <u>High Performance Computing(ペタスケール)シミュレーションが出力する解析結果データ</u>
 - 大規模な時空間計測データ
 - 原子カプラントの有限要素法を用いた組立構造解析
 - 溶融燃料複雑系シミュレーション
 - 核融合炉のプラズマ乱流シミュレーション
 - 福島県放射線量分布計測データ
- 情報可視化技術を応用した効率的データ探索
 時空間データマップの開発
 Miyamura Hyashi Suzuki Takamiya Prog Nucl Sci Tech 2 603 (20)

Miyamura, Hyashi, Suzuki, Takemiya, Prog. Nucl. Sci. Tech. 2, 603 (2011). 宮村、河村、鈴木、井戸村、武宮、情報処理学会誌(in press)

- 大規模データの遠隔可視化
 - 粒子ベースボリュームレンダリングに基づく遠隔可視化システム

Kawamura, Idomura, Miyamura, Takemiya, SC12 (2012). 河村、井戸村、宮村、武宮、日本シミュレーション学会論文誌(in press)

(7)





有限要素モデル

高温工学試験研究炉(HTTR : <u>H</u>igh <u>T</u>emperature Engineering <u>T</u>est <u>R</u>eactor) 127,077,003 要素

非構造六面体要素(四面体/五面体)

- 時刻歴応答解析
 - 4Dデータ
 - (3次元空間 × 時間+10,000ステップ)
 - ミーゼス応力、変位ベクトル…

→応力/変位等の大きな箇所の探索

固有値解析

4Dデータ

- (3次元空間 × 周波数+100モード)
- 変位ベクトル(固有関数)
- →固有モード構造の特徴抽出

(8)



八分木モデルによるデータ簡約化



複雑な形状(非構造メッシュデータ)をハ分木空間分割技法でパラメトリック座標系へ変換

- N層の八分木で対称な領域分割
- ② 特徴量(例:分割領域の最大応力)に応じて八分木の枝を打切り
- ③ 非対称八分木モデルによって1次元方向にサブボリュームを再構築
- ④ 4Dデータを2次元時空間マップに射影













時空間マップによる変位ベクトル(固有関数)のノルムの可視化

- 複雑な共鳴構造
- 機器毎に異なる共鳴的、あるいは、広帯域の応答







- 大規模データ遠隔可視化の課題
- ネットワーク帯域幅
- 研究室におけるストレージ容量
- 研究室における可視化ワークステーションのメモリ・処理速度

例: HTTRデータの商用ソフトAVSによる可視化
[126M cells, 4.2GB/step x 200 steps]
① ボリュームデータ転送 > 40h/case
② ポリゴンデータ生成 > 1min/step
③ 必要メモリ量 > 10GB
④ レンダリング速度 ~1 frame per second
上記に加え、内部機器を含む複雑データのサーフェスレンダリングが困難

→解決策

- スーパーコンピュータ上の超並列可視化
- 効率的なデータ圧縮に基づく遠隔可視化
- 複雑な機器データに対するボリュームレンダリング

(12)



粒子ベースボリュームレンダリング(Particle Based Volume Rendering)

- 構造/非構造ボリュームデータを粒子で表現
- 粒子生成のモンテカルロ計算をGPGPUや超並列計算機で並列処理
- 画像解像度に依存する粒子データサイズは比較的小規模(~100MB)
- →~100MBの粒子データによって可視化に必要なデータ転送を極小化



(13)



可視化処理速度のAVSとの比較



Data	Туре	Cells	Data size
非構造	四面体	126,713,831	4.2 GB x 200 step

<u>ステップあたりの処理時間</u>

	PBVR	AVS
ボリュームデータ転送	N/A	754 [sec]
粒子生成 ポリゴン生成	0.6 [sec] (257MB)	179 [sec] (1.2GB)
粒子データ転送	44.4 [sec]	N/A
合計	45 [sec]	933 [sec]
描画速度(fps)	60 [fps]	1.7 [fps]

サーバ(6ノード) CPU Intel Xeon E5607, RAM:90 GB

GPU	Tesla M2075, VRAM:6 GB

クライアント

CPU	Intel Core 2 Quad, RAM:12 GB			
GPU	GeForce GT 330M, VRAM:1 GB			
ネットワーク帯域幅〜5.7[MB/sec]				

◆ 低メモリ/ストレージのクライアントで動作
◆ データ転送の大幅な削減
◆ 非構造格子の高速ボリュームレンダリング
◆ 内部機器を含む複雑データの可視化に有効
◆ 対話的フレームレートでデータ探索

(14)



構造解析における時刻歴応答解析のデータ量=計算自由度×タイム・ステップ

地震の揺れ:150秒×0.02刻み=7,500タイム・ステップ

1000万自由度×200タイム・ステップ・・・・バイナリー書式ベース10TB (by 京)

リアルタイム処理(効率化):早く可視化できると繰り返し試行が可能に

グラフィックス技術:ハード任せのレンダリングからの脱却(例:三角形パッチから四辺形へ) (物理現象の抽象化から具象化へ)

データ分析技術との融合:手作業による分析はもはや不可能

	直接法A	直接法B	間接法A	間接法B
最大相対差 (節点番号)	_	1.0 E−14 (50369)	1.0 E−12 (35376)	1.0 E-10 (11618)
最少相対差	_	0.0	0.0	0.0
平均相対差	_	1.0 E-18	1.0 E-15	1.0 E-12
標準偏差	_	1.0 E-16	1.0 E-14	1.0 E-11
同值率	_			
計算時間 [s]	180	180	800	108











可視化において「HPCとグラフィックス」は、技術の両輪である.

観察された諸事実の集合から出発し,最良の説明(可視化)へと推論する仮説を形成すること (意図を持った印象化)が今後の研究開発課題である.

観察事実(計算結果の分析結果)から可視化則を推論するためには, ①膨大な計算機パワーが必要 ②グラフィックス技術の統合的活用や新技術の探求が必要 ③明示的に記述されていない挙動を具象化する方法論が必要

今後の課題

計算結果の可視化モデリングの動的管理機構により確認・検証

①可視化と分析技術の処理関数の組み合わせを対話的,あるいは自動的に行えるように ②可視化と分析技術の処理関数の処理パラメータを動的に制御可能とした

> 文部科学省HPCI戦略プログラム「分野4次世代ものづくりにおける 課題5原子力施設等の耐震シミュレーションの研究開発」の一部補助による.

(16)