

計算機シミュレーションの対話的同時可視化手法

Interactive In-Situ Visualization of Computer Simulation



陰山 聡 (Akira Kageyama, Ph. D.)

神戸大学 システム情報学研究科 計算科学専攻 教授
(Professor, Department of Computational Science, Graduate School of System Informatics, Kobe University)

プラズマ・核融合学会 日本物理学会 AGU 他

受賞：文部科学大臣表彰 科学技術賞 (研究部門) (2010年) 日本学術振興会賞(2006年) Gordon Bell Prize (2004年) 他

研究専門分野：計算科学 地磁気 データ可視化

あらまし

近年、計算機シミュレーションの結果を可視化するために保存・転送すべき数値データのサイズが爆発的に増大しつつある。数値データを保存し、それをあとから可視化するという現在主流となっている可視化のスタイルは近い将来限界をむかえることが予想される。シミュレーションと同時に可視化もスーパーコンピュータ上で行う同時可視化への移行は不可避といえる。しかし、同時可視化ではあらかじめ可視化の設定を決める必要があるため、視点の移動や視線方向の変更など、ユーザによる対話的な解析ができないという大きな問題がある。これを解決するために本研究では対話的な同時解析を可能にする新しい可視化手法を開発した。それは、多数の全方位カメラをシミュレーション空間に散布するという方法である。それぞれのカメラから同時可視化することで多数の全方位動画ファイル群が生成される。カメラ位置と紐付けしたそれらの全方位動画ファイル群を入力データベースとして、ユーザが対話的に解析するのがこの新しい可視化手法である。この手法の実現に必要なスーパーコンピュータ上での全方位同時可視化ライブラリと、PC 上での動画データブラウザという二つのソフトを開発した。

1. 研究の目的

この研究の目的は、計算機シミュレーションで得ら

れた計算結果を解析するための新しい可視化手法を開発することである。空間 3 次元の大規模な計算機シミュレーションで、時間発展も詳細に追跡したい場合を想定している。その典型的な例はスーパーコンピュータを使った流体シミュレーションであるが、手法自体は普遍的なものであり、さまざまな計算機シミュレーション、あるいはそれ以外のデータにも応用できる。

この手法で鍵となるアイデアは、計算機シミュレーションの際に数値データではなく、位置情報の付加された多数の全方位可視化動画ファイル群を出力し、シミュレーション終了後にその動画データベースを対話的に解析する、というものである。

この手法を確立するために必要となる技術は 2 つある。一つは、スーパーコンピュータでシミュレーション計算を進めながら大量の全方位可視化をする技術であり、もう一つは、全方位動画データベースを入力としてユーザからの指示に応じてリアルタイムに画像を抽出し、スムーズな動画として表示する特殊な動画表示アプリケーションである。

2. 研究の背景

大規模な計算機シミュレーションのデータ可視化はシミュレーション計算が終わった後に行う場合が多い。シミュレーションの途中経過を数値データとしてスーパーコンピュータのディスクシステムに保存しておき、計算終了後にそのデータを可視化用のグラフィックワークステーションや PC 等に転送する。そして可視化ソフトとよばれるアプリケーションプログラムを使ってその数値データを画像にする。可視化ソフトには様々な可視化手法が組み込まれており、可視化を適用する数値データや可視化アルゴリズム (等値面、ポリウムレンダリング、断面表示等)、あるいはそれに関連するパラメータを PC のマウス等を通じて入力されるユーザからの指示に応じてリアルタイムに変更し、瞬時に画像を画面に表示する。可視化する視点位置や視線の方向の変更などもマウストラッグ等によって容易に変更することができる。

しかし、シミュレーション終了後に行うこのような (post-hoc 可視化と呼ばれる) 可視化手法には大きな問題がある。それはシミュレーション規模が大きくな

計算機シミュレーションの対話的同時可視化手法

Interactive In-Situ Visualization of Computer Simulation

ると可視化のために保存・転送すべき数値データのサイズが極めて大きくなってしまいう問題である。この問題は現在のスーパーコンピュータの計算性能の向上につれて近年ますます深刻化しつつ、近い将来、post-hoc 可視化は現実には不可能とはいわないまでも、極めて非効率的な方法となってしまうのは間違いないであろう。

このような状況の中、近年注目を集めているのが同時可視化 (in-situ 可視化) と呼ばれる可視化手法である。これは、シミュレーション計算しながら同時に可視化処理も行うというものである。同時可視化ではシミュレーション終了後に数値データを保存するのではなく、可視化された画像そのものを保存・転送する。画像は2次元データなので3次元データ数値データよりももともとサイズが小さい上に、高い圧縮率をもつすぐれた可逆圧縮アルゴリズムを適用できるという大きな利点がある。

しかしながら同時可視化手法にはいくつか問題がある。中でも深刻なのは、可視化解析における対話性が完全に失われてしまうという問題である。つまり同時可視化を組み込んだシミュレーションでは、計算を投入する際にあらかじめ適用する可視化アルゴリズムとそのパラメータ、特に可視化するカメラの視点位置と視線の方向を設定する必要があり、シミュレーション終了後にそれらを変更することはできない。シミュレーションの結果、興味深い現象が可視化した画像に捉えられていて、別の角度からこの現象を見たいと研究者が判断した場合、post-hoc 可視化であればマウスドラッグすれば瞬時視点位置と視線方向の変更ができるが、同時可視化手法の場合には可視化カメラの設定を変更した上でもう一度全く同じシミュレーションジョブを投入しなければいけない。

以上のような理由から同時可視化手法に対話性を導入する試みが近年盛んになされている。その中で我々は独自の発想に基づく新しい可視化手法を提案している。

3. 研究の方法と成果

我々が提案している可視化手法は、多視点・全方位カメラに基づく同時可視化手法である。その基本的な

アイディアは単純で、画像を見てから視点を変更したくなるのであれば、あらかじめあらゆる視点で可視化しておけばよい。また、視線方向を変更したい場合に備えて、あらかじめあらゆる方向、つまり全方位で可視化しておけばよい、というものである。

もちろん全ての視点で可視化することはできず、その必要性もない。十分小さい距離をおいて多数のカメラをシミュレーション領域の内外に散布すれば、研究者が見たい位置からの可視化画像がそのうちの少なくとも一つのカメラには記録されているであろう。全方位可視化についてはそのような「離散化」をする必要はなく、それぞれの視点から見ることのできる全ての立体角 (4π ステラジアン) の可視化画像を一枚に収めることは容易である。安価な全方位カメラが市販されている現在、全方位画像は盛んになりつつある。

我々はまず、スーパーコンピュータで実行するシミュレーションプログラムからよびだす多視点・全方位可視化ライブラリを開発した。一般に、スーパーコンピュータで実行するシミュレーションプログラムの同時可視化は同期方式と非同期方式の二つに分けることができる。同期方式とは、シミュレーションの途中で同時可視化をする際、可視化が終わるまでシミュレーションの進行を止める方式である。このとき通常、可視化はシミュレーションと同じ計算ノードが用いられる。一方、非同期方式の同時可視化では、可視化にはシミュレーションとは別の計算ノードを割り当て、シミュレーションと可視化はほぼ独立に進行させる。

非同期方式の同時可視化は、可視化視点を増やすために可視化に割り当てる計算ノード数を増やすだけでよいという利点をもつ。そこで我々は本研究において非同期方式の多視点・全方位同時手法ライブラリを開発した。

その可視化の基本ソフトとしてはKVSを採用した。KVSは日本で開発されたオープンソースの汎用可視化ライブラリである。KVSの開発者である坂本博士に協力していただき、通常のKVSの可視化機能を拡張して与えられた視点から全方位で可視化を行う専用のライブラリを開発した。KVSに基づいたこの全方位可視化ライブラリに多数の視点を設定してシミュレーションの進行と共に同時可視化を進めるための新たな枠

計算機シミュレーションの対話的同時可視化手法

Interactive In-Situ Visualization of Computer Simulation

組みを開発した。

シミュレーションプログラム（これ自体が並列化されている）と、可視化プログラム（これも並列化されている）を非同期的に結合する動機の一つは以下の通りである。データがシミュレーション側から可視化側にのみ流れるようにし、可視化プログラムにたとえなんらかの問題（たとえば一枚の画像を生成するの時間がかかるなど）が生じたとしてもシミュレーションが停止しないようにしたい。シミュレーションと可視化という二つの並列プログラムをこのようにゆるく結合させるために、我々はデータの「半透膜」のような役目を果たす仲介プログラムを両者の中間に置いた。実際には半透膜の表面と裏面の二つをそれぞれ独立したプログラムとし、計 4 つの MPI プログラムが独立・かつ同時に実行されるようにした（図 1）。

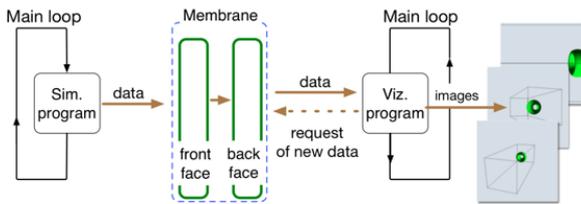


図 1 シミュレーションに極力影響を与えずに in-situ 可視化を行う Membrane ライブラリ。

MPMD (Multiple Program Multiple Data) 型の並列方式に基づくこの非同期可視化ライブラリを Membrane と我々呼んでいる。Membrane ライブラリを用いてスーパーコンピュータで作成した多視点・全方位可視化動画の例を図 2 に示す。

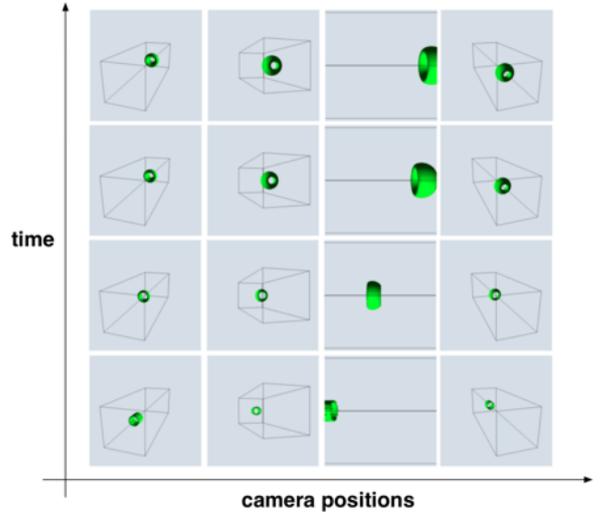


図 2 Membrane ライブラリによって生成された渦輪シミュレーションの多視点・全方位・同時可視化動画。

Membrane ライブラリによって一度のシミュレーションで多数（設定した視点と同じ数）の全方位動画が生成される。これらの全方位動画ファイル群にそれぞれの視点の位置座標を紐付けすることで我々は全方位動画ファイルのデータベースを作成し、これを入力としてユーザからの指示に応じて画像列を抽出する PC 用のアプリケーション「動画データブラウザ」を開発した。

上述のように動画データブラウザの入力は 3 次元空間内に配置された全方位動画ファイル群である。一つの全方位動画ファイルは全方位静止画ファイルを時間方向に積み重ねたものなので、これは 4 次元時空間に配置された全方位静止画ファイル群とみなすこともできる。したがって動画データブラウザとは図 3 に示すように、ユーザが指定した経路に沿って画像列を抽出し、画面に表示するソフトである。

計算機シミュレーションの対話的同時可視化手法

Interactive In-Situ Visualization of Computer Simulation

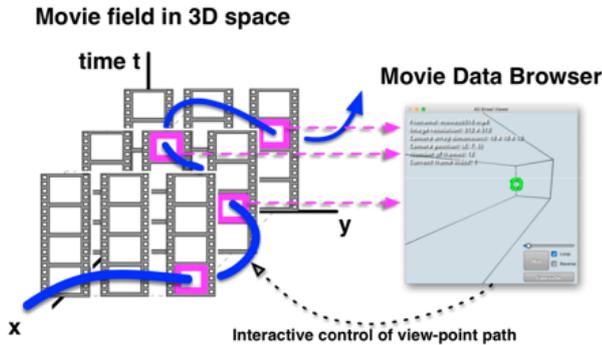


図3 本研究で開発した動画データブラウザの概念図。多視点・全方位動画群からユーザーが対話的に画像列を抽出し、なめらかな動画として画面に表示する。

この動画データブラウザの開発にあたっては上述のKVSの開発者である坂本博士にその基本部分の開発していただいた。KVSは可視化ソフトとしてだけでなく、画像処理プログラム開発のフレームワークとしても活用できる。KVSの持つ高い画像処理機能のおかげもあり、研究開発当初は必要となると予想していたプリフェッチ機能（必要となりそうな動画ファイルをあらかじめドライブシステムからPCのメモリに読み出す機能）が不要となった。

Membraneライブラリを用いた多視点・全方位・同時可視化と動画データブラウザを用いたその対話的解析を実際のシミュレーションに適用することでいくつかの課題も判明した。特に動画データベースブラウザのユーザーインターフェース関連にはいくつか改善すべき問題点があり、それらの課題の解決も行った。中でもシミュレーション領域の外に散布された他の全方位カメラの位置がユーザーにわかりにくいという問題が深刻であったが、これはカメラ位置を球で表現する機能を実装することで解決した。

4. 将来展望

大規模な計算機シミュレーションの対話的同時可視化の実現という当初の目的は十分に果たすことができた。今後は多くのユーザーに伝ってもらえるよう機能の改善が必要と考えている。

また冒頭に述べたように、本研究で開発したシミュ

レーションデータの新しい可視化手法は、計算機シミュレーションに限らず様々な問題に応用できる。全方位動画を撮影することのできるカメラが多数あれば、現実空間で撮影した同画像群を今回開発した動画データブラウザで対話的に見るができるはずである。たとえば多くの人が行き交う場所に10x10=100台の全方位カメラを設置し、動画を撮影し、そのデータを本研究で開発した動画データブラウザで読み込めば、ユーザーは人混みの中を時間的にも空間的にも自由に移動できる新たな画像体験ができるであろう。

まとめ

大規模な計算機シミュレーションを効率的に可視化・解析するための対話的な同時可視化手法を実現した。その方法は、多視点・全方位カメラ群をシミュレーション空間に散布し、それらが撮影した全方位動画ファイル群をデータベースとして、シミュレーションで得られた数値データではなく、動画データベースを対話的に解析する、というものである。

その手法の実現にはスーパーコンピュータ上で実行するための全方位同時可視化ライブラリと、PC上で実行するための動画データブラウザという二つのソフトの開発が必要であった。どちらも十分な機能を実装することができた。

これまでの伝統的なデータ可視化では、数値データから物体（モデル）をつくり、それをコンピュータグラフィックスの技術を用いて画像化（レンダリング）する、という手順をとる。それは単純化して言えば「風景を画像ファイルとして保存し（撮り）、その同じ画像ファイルを見る」という手順であるともいえる。

この研究が目指しているのは「撮るもの」と「見るもの」を分離することである。今後はこの方向をさらに発展させていきたいと考えている。

参考文献

[1] Kageyama Akira, Yamada Tomoki, An approach to exascale visualization: Interactive viewing of in-situ visualization, Computer Physics Communications, 185(1) pp.79-85, 2014
[2] Akira Kageyama, Naohisa Sakamoto and Kohei

計算機シミュレーションの対話的同時可視化手法

Interactive In-Situ Visualization of Computer Simulation

Yamamoto, Membrane Layer Method to Separate Simulation and Visualization for Large-scale In-situ Visualizations, SciTePress (Proceedings of 8th SIMULTECH), pages 106-111 (2018)

- [3] Kohei Yamamoto and Akira Kageyama, In-Situ Visualization with Membrane Layer for Movie-Based Visualization, Lecture Notes in Computer Science (LNCS) vol.11540, pp.588-594 (2019)

関連文献

- [a] Shin'Ya Hosoyamada and Akira Kageyama, A Dialect of Modern Fortran for Computer Simulations, Proc. AsiaSim2018, in Methods and Applications for Modeling and Simulation of Complex Systems, Communications in Computer and Information Science, vol 946, pp. 439-448 (2018)
- [b] Shin'Ya Hosoyamada and Akira Kageyama, efpp: A preprocessor for Modern Fortran, Proc. 37th JSST, pp.372-375 (2018)
- [c] Pierre J. Jarsaillon, Naohisa Sakamoto, and Akira Kageyama, Flexible visualization framework for head-mounted display with gesture interaction interface, International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing, vol.9 (2018) 1840002, 20pp (2018)
- [d] Shintaro Kawahara and Akira Kageyama, Development of CAVELib Compatible Library for HMD-type VR Devices, J. Adv. Simul. Sci. Eng., vol.6, pp.234-248 (2019)

この研究は、平成27年度SCAT研究助成の対象として採用され、平成28～30年度に実施されたものです。