

広域ビジュアルコンピューティング技術

産業技術総合研究所 脳神経情報研究部門 栗田 多喜夫

Large Scale Visual Computing Technology

Takio Kurita, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

Abstract:

In this project, we have built upon the VG (Volume Graphics)-Cluster system to catch up with wide-area visual computing technologies, which make it possible to perform large-scale volumetric simulation and visualization in an interactive manner. The achievements include coupling of GPU-enhanced VG-clusters for 4D reaction-diffusion system analysis, improvements of the image compositing hardware and its API, an API of finite difference method (FDM) for volumetric simulation, and texture-based contraction methods for visualizing vector/tensor fields.

1. はじめに

脳神経情報処理、生物の形態形成、気象変動など、自然界の大規模で複雑な現象を計算機上で精密にシミュレーションしようとする研究が世界各地で行われている。こうした大規模系のシミュレーションでは、3次元差分方程式やセルオートマトンなどのシミュレーション計算をスーパーコンピュータ上で行った後、その結果をハイエンドグラフィックワークステーションに転送し、オフラインで可視化する方法が用いられている。しかしこの方法では計算結果の受け渡しがボトルネックとなり、対話性の高いシミュレーションは困難である。

我々はポリウムデータで表現された大規模系のシミュレーションと可視化を対話的な速度で実行でき、かつ、低コストでスケーラビリティの高いビジュアルコンピューティングシステム、「ポリウムグラフィックス (VG) クラスタ」を開発した。本課題では、VGクラスタの対話性を損なうことなく、さらに大規模なビジュアルコンピューティング環境を安価に提供するための「広域ビジュアルコンピューティング技術」の開発を行った。

具体的には、広域ネットワークを用いた高速な分散ポリウムレンダリング技術を開発し、産業技術総合研究所、三菱プレシジョン株式会社、お茶の水女子大学、カリフォルニア大学デービス校から成る国際産学官連携チームにより、VGクラスタを広域ネットワーク上で並列稼働させた「VGクラスタ・クラスタ」を構成し、一研究サイトのみでは実現が困難な大規模シミュレーションを対話的な速度で実行・可視化するための要素技術の確立を目指した。

2. 研究開発項目とその成果概要

2.1 VGクラスタ・クラスタの研究

VGクラスタは、フレーム重畳装置を利用してリアルタイムポリウムレンダリング機能を実現したPCクラスタである。VGクラスタの最大の特徴は、CTやMRIなどに代表される3次元画像（ポリウムデータ）を複数PC間で分割し、それぞれのPCが持つグラフィックスプロセッシングユニット（GPU）で並

列に可視化を行い、その結果の画像をフレーム重畳装置で合成することにより、全データの可視化画像を高速に得る点である。

本課題では、このフレーム重畳装置（Image Compositing Device）を多段接続し、大規模なPCクラスタを構築することにより、原理的にいかなるサイズのボリュームデータに対してでも、リアルタイムでのシミュレーションと可視化が可能であることを実証した。具体的には、フィジオーム（生体の生理レベルシミュレーション）の主要理論である「反応拡散系」（reaction-diffusion）のシミュレーションを行うために、2台の9PC構成VGクラスタを、フレーム重畳装置で接続した、18PC構成の「クラスタ・クラスタ」を構成し、最大16並列の空間分割型シミュレーションを行い、計算と可視化のパフォーマンスを調査した。その結果、反応拡散現象を起こすボクセルの数を均等に、かつ、分割空間の境界部分の袖ボクセル数を最少にする分割法が、高いシミュレーションパフォーマンスを示した。

また、反応拡散系のポリュメトリック・シミュレーションをより高速に実行するため、nVIDIA社のPC用グラフィックスプロセッサ（GPU）GeForce FX 5900 Ultraを購入し、代表的な反応拡散方程式であるSchnakenberg, Thomas, Gray-Scottモデルなどを、Cg言語を用いたフラグメントプログラムとしてGPUにインプリメントした。この結果、CPU（Pentium 4, 2.6GHz）を使った可視化を伴わないシミュレーションよりも高速なビジュアルシミュレーションが可能であることを確認した。

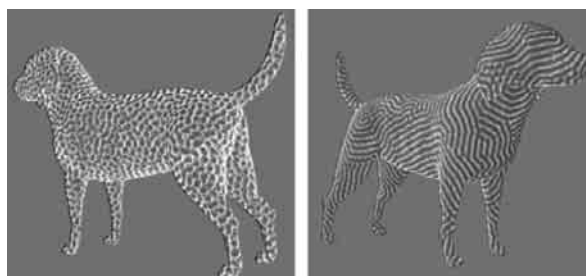


図1．反応拡散系シミュレーション

2. 2 VGクラスタの高機能化の研究

これまで開発してきたフレーム重畳装置などの要素技術をより広く利用できるように、数値計算・可視化分野で大きなシェアを占めているソフトウェアAVS/Express PCEが実行可能となるようにフレーム重畳装置を改良した。図2に示したのは、AVS/Express PCEと改良したフレーム重畳装置を使って、東京大学Intelligent Modeling Laboratory小野助教授が実施した、自動車後部座席への空調の流れを可視化した例である。

また、問題をシミュレーションにより数値的に解決しようとする技術者・研究者がVGクラスタを容易に使用するためのAPI（Application Programming Interface）について、データ構造、通信方式およびフレーム重畳装置の多画面对応などを検討し、差分法に適応可能なポリュメトリックシミュレーション（Volumetric Simulation）用のAPIを開発した。図3(a)は、APIの多画面化機能を用いたビジュアルヒューマンデータの表示例であり、図3(b)は、同APIを用いた軟組織の変形シミュレーション映像である。

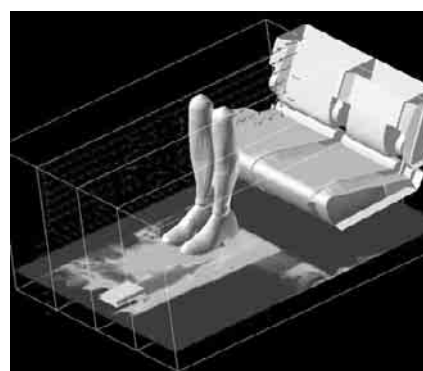
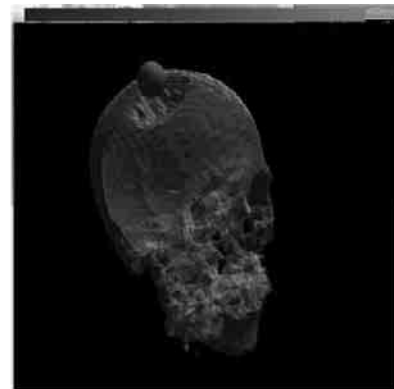


図2．自動車空調流れの可視化例
（東京大学IML小野助教授 提供）



(a) 多画面表示例

(b) 軟組織の変形シミュレーション

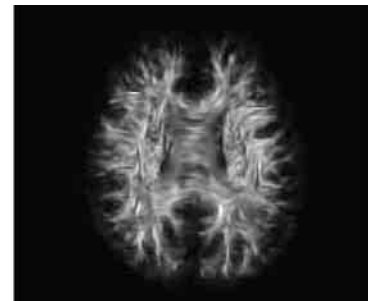
図3．ポリュメトリックシミュレーション用API

2.3 VGクラスタアプリケーションの研究

VGクラスタのアプリケーションとして、拡散強調MRIデータの可視化に関する検討を行い、3次元流体データの可視化方法である Line Integral Convolution (LIC)法をテンソル場へ拡張的に適用する方法について研究した。また、ボリュームフィールドの局所的/大局的な特徴解析に基づく伝達関数生成法とともに、同法をVGクラスタに実装した。さらに、



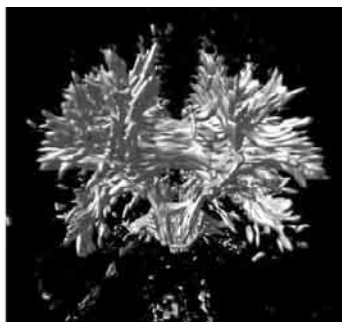
第15断面



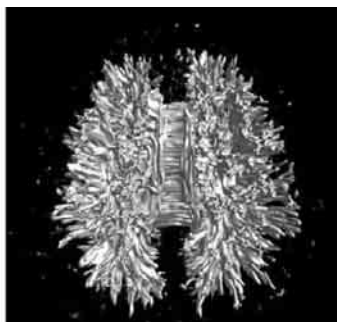
第20断面

図4. DBT法による拡散強調MRIの可視化

LIC法をVGクラスタで高速かつ効果的に使用するために、カリフォルニア大学デービス校の成果を応用した属性値付きVLIC (Volume LIC)法(図4)を開発した。また、ベクトル可視化法である場属性値付きVLIC法をテンソル場に拡張するために、新たにDiffusion Based Tractography (DBT)法を開発し、属性付きVLIC法とともに産総研より2件の特許出願を行った。その他、DBT法により生成される3次元テクスチャ(DBTテクスチャ)から、3次元の大脳白質構造をより効果的に可視化するためのボリュームレンダリング法について検討を行った(図5)。



(a) 前から見た大脳白質構造



(b) 上から見た大脳白質構造



(c) 大脳左半球の白質構造

図5. DBTテクスチャのボリュームレンダリング

3. ネットワークの活用について

平成13年度に利用したネットワーク

研究機関名 ~ 研究機関名	ネットワーク名	データの種類	容量	使用頻度
産業技術総合研究所 ~ 三菱プレシジョン株式会社	IMネット	画像等		

平成14年度に利用したネットワーク

研究機関名 ~ 研究機関名	ネットワーク名	データの種類	容量	使用頻度
産業技術総合研究所 ~ 三菱プレシジョン株式会社	IMネット	画像等		
産業技術総合研究所 ~ お茶の水女子大学	IMネット	画像等		

平成15年度に利用したネットワーク

研究機関名 ~ 研究機関名	ネットワーク名	データの種類	容量	使用頻度
産業技術総合研究所, 三菱プレジジョン株式会社	擬似広域ネットワー ク	画像等	1G bits/s	

平成16年度に利用したネットワーク

研究機関名 ~ 研究機関名	ネットワーク名	データの種類	容量	使用頻度
産業技術総合研究所, 三菱プレジジョン株式会社	擬似広域ネットワー ク	画像等	1G bits/s	

4. まとめ

本課題では、高並列計算可視化システム（VGクラスタ）を広域ネットワーク上で結合し、一研究機関では実現困難な可視化をともなう大規模なシミュレーションを行うことを可能にする、「広域ビジュアルコンピューティング技術」の開発を目標とした。本課題での最大の成果は、フレーム重畳装置（Image Compositing Device）を多段接続し、大規模なPCクラスタを構築することにより、原理的にいかなるサイズのポリウムデータに対しても、リアルタイムでのシミュレーションと可視化が実現できることを実証したことである。また、VGクラスタアプリケーションの研究では、ベクトル可視化法である場属性値付きVLIC法をテンソル場に拡張するために、新たにDiffusion Based Tractography（DBT）法を開発した。DBT法では、重みベクトルの調整により、複数方向の拡散を考慮した密な神経走行の可視化が可能であり、観測された拡散情報をそのまま利用したシミュレーションを行うことが可能である。DBT法は、高速シミュレーション技術を一般医療に応用することを可能とする技術であり、社会的・経済的に大きな意義があると確信している。

5. 研究開発実施体制

代表研究者 産業技術総合研究所 脳神経情報研究部門 栗田 多喜夫

研究分担

研究開発項目：VGクラスタ・クラスタの研究

産業技術総合研究所 ポリウムグラフィックス連携研究体 村木 茂

研究開発項目：VGクラスタの高機能化の研究

三菱プレジジョン株式会社 開発統括部 緒方 正人、劉 学振

研究開発項目：VGクラスタアプリケーションの研究

お茶の水女子大学大学院 人間文化研究科 藤代 一成

研究開発項目：低コスト広域ビジュアルコンピューティング技術の研究

カリフォルニア大学デービス校 計算機科学科 Kwan-Liu Ma