

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。

我々はボリュー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、「ボリュームグラフィックス (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ボリュー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ボリュー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（ボリュームデータ）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。

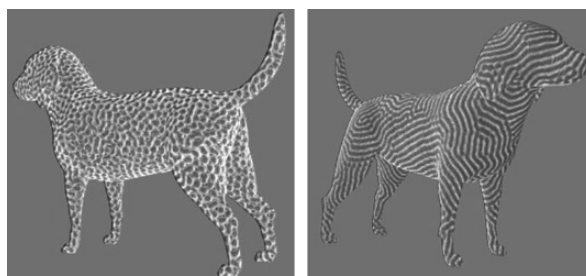


図1. 反応拡散系シミュレーション

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対応などを検討し、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デジタ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。

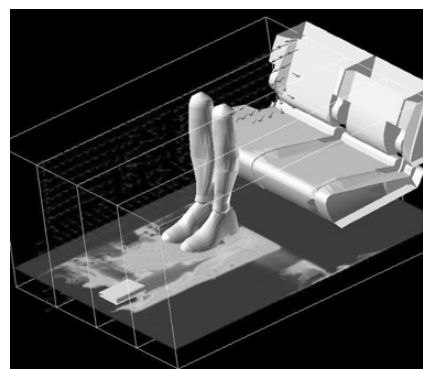
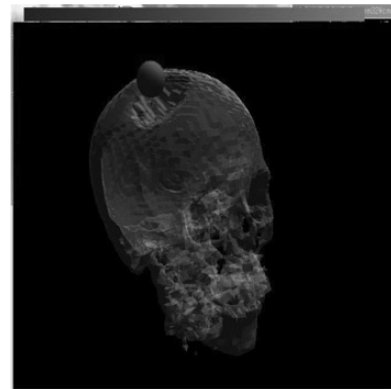


図2. 自動車空調流れの可視化例
(東京大学IML小野助教授 提供)



(a) 多画面表示例



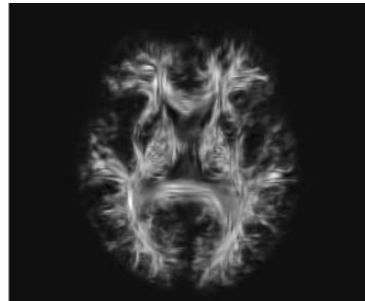
(b) 軟組織の変形シミュレーション

図3. ポリュメトリックシミュレーション用API

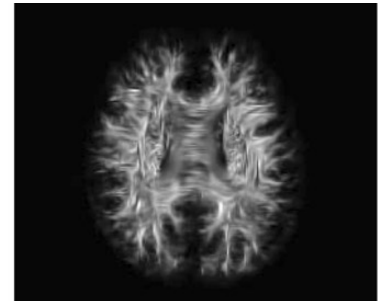
2.3 VGクラスタアプリケーションの研究

VGクラスタのアプリケーションとして、拡散強調MRIデータの可視化法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、

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、属性値付き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)。

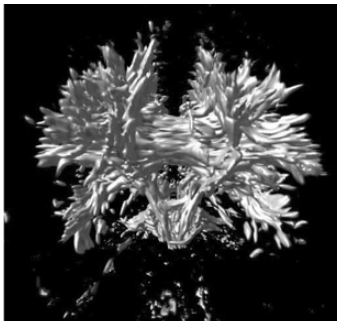


第15断面

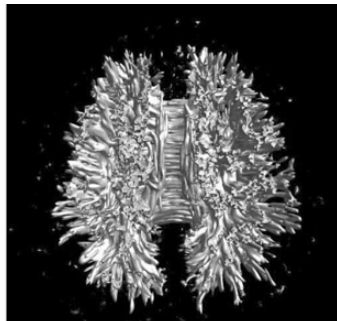


第20断面

図4. DBT法による拡散強調MRIの可視化



(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, 三菱プレシジョン株式会社	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, 三菱プレシジョン株式会社	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 ポリュー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

三菱プレシジョン株式会社 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