

平成18年度科学研究費補助金（基盤研究（S））研究状況報告書

◆ 記入に当たっては、「平成18年度科学研究費補助金（基盤研究（S））研究状況報告書記入要領」を参照してください。

ローマ字	TOMITA SHINJI					
① 研究代表者氏名	富田 眞治		② 所属研究機関・部局・職	京都大学・情報学研究科・教授		
③ 研究課題名	和文	超高速体感型シミュレーションシステムの研究				
	英文	Real-Time Sensable Simulation Systems				
④ 研究経費 18年度以降は内約額 金額単位：千円	平成16年度	平成17年度	平成18年度	平成19年度	平成20年度	総合計
	34,900	13,800	14,700	14,400	9,800	87,600
⑤ 研究組織（研究代表者及び研究分担者） *平成18年3月31日現在						
氏名	所属研究機関・部局・職	現在の専門	役割分担（研究実施計画に対する分担事項）			
富田 眞治 森眞 一郎	京都大学・情報学研究科・教授 京都大学・ 情報学研究科・助教授	情報工学 情報工学	研究の統括とシミュレーションサーバの研究 シミュレーション・サーバの研究ならびにシミュレーション・キャッシングの研究 投機・先行実行方式の研究 体感型シミュレーション呈示システムならびにシミュレーションキャッシングの研究 体感型シミュレーション呈示システムならびにシミュレーションキャッシングの研究			
中島 康彦	京都大学・ 経済学研究科・助教授	情報工学				
黒田 知宏	京都大学・医学研究科・講師	医療情報学				
中尾 恵	奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科助手	医療情報学				
⑥ 当初の研究目的（交付申請書に記載した研究目的を簡潔に記入してください。）						
<p>高性能なPCクラスタによってシミュレーションプラットフォームが比較的容易に構築可能となったため、計算機シミュレーションが従来の実験の代替手段として広く普及しつつある。しかしながら、現在のシミュレーション技術は従来のスーパーコンピュータ上のバッチ処理技術をバックグラウンドとしているため、実時間応答性に関しては殆ど関心が向けられていない。シミュレーションの途中経過の可視化によるモニタリング技術がようやく可能になりつつある段階であり、ましてや、人間がシミュレーション系の中に入り、五感を通して相互作用をし、系自体のモデル変更や境界値などのパラメータ変更を伴うシミュレーションを実時間で実現するシステムは皆無である。</p> <p>人間の聴覚・視覚以外に触覚を通じた反応を考慮に入れたシミュレーションを「超高速体感型シミュレーション」と我々は呼んでいる。代表例として、医療における動脈触診シミュレーションを挙げることができる。動脈は構造シミュレーション、流体シミュレーションを統合してシミュレーションがなされるが、医師の触診によってさらにその形状や血流に変化が生じ、それを実時間で計算し、医師に触覚装置を通してフィードバックする必要がある。このような「超高速体感型シミュレーション」は診療・手術シミュレーションを始めとして、今後、多様な分野での応用が期待される。</p> <p>このようなシミュレーションのためには超高速数値計算サーバ、実時間可視化サーバ、データベースサーバが必要であり、これらの処理をボトルネックなく一元的に処理できる超高速シミュレーションシステムの研究が必要である。また超高速シミュレーションシステムは共同利用となり、ネットワーク利用を前提に設計される必要がある。端末から遠隔地にあるこのシステムを利用する場合に、ネットワークの信号伝播遅延時間が「仮想体験」する上で問題となる。伝播遅延を意識させないためには、端末側に粗いシミュレーションモデルによりシミュレーションを行う安価なシステムを置き、超高速シミュレーションシステムからの精細画像到着までの粗い補間をすることが考えられる。これを我々はマルチスケールシミュレーションと呼んでいる。</p> <p>本研究では、「超高速体感型シミュレーション環境」の実現に向けて、1)超高速シミュレーション・サーバ・アーキテクチャ、2)実時間触覚フィードバックと実時間可視化を伴うシミュレーション結果呈示システム、3)マルチスケールシミュレーション技術を応用した遅延隠蔽手法、の研究を行い、医療分野などで期待される次世代シミュレーション環境に向けた基礎研究を進める。</p>						

⑦これまでの研究経過 (研究の進捗状況について、必要に応じて図表等を用いながら、具体的に記入してください。)

1. 能動的仮想体感型マルチスケール・シミュレーション・サーバの研究

1.1 体感型シミュレーション・サーバ・プロトタイプScubeの構築

シミュレーション結果のリアルタイム可視化を実現するため、シミュレーションクラスタの各ノードに高性能汎用グラフィックスカードを搭載した国内最大級の GPU クラスタ(64 ノード)を構築し、後述する並列ボリュームレンダリングアルゴリズムの実装を行った。

また、Scubeの相互結合網として、中規模コモディティクラスタ向け相互結合網 Three Quads の提案を行なった。 Three Quads は、各ノードが3本のリンクを持つ base-m n-cube 網(あるいは Hyper Crossbar 網)の各リンクが収容するノードを2次元平面上のノードに拡張することで、任意の2ノード間の通信を2ホップで実現可能にする。また、この相互結合網の性質として、コストパフォーマンスの高い小規模スイッチのみを用いた当該相互結合網を用いることで、多くの数値計算アルゴリズムの高速化に寄与する行列転置演算を高速に実現できることを示した。

1.2 ボリュームレンダリングの高速化

非構造格子向けセル投影型並列ボリュームレンダラの開発: ハードウェア支援なしで、非構造格子データの並列可視化を行なうシステムの開発を行なった。動的負荷分散や早期視線終端(ERT)等の手法を組み合わせることで、高い並列化効率を達成できる可能性を示した。

汎用 GPU を用いた並列ボリュームレンダリングシステムの開発: コモディティ部品のみを用いた並列可視化処理で問題となる並列画像合成処理のオーバーヘッドを軽減する主軸優先木構造アルゴリズムを提案し、大規模並列化時に高い性能が得られることを示した。

超高速専用ネットワークを利用した専用並列ボリュームレンダリングアルゴリズムの開発: DVI 規格に準拠した汎用 LSI を用いてノード間遅延 107ns、通信帯域 4Gbps を実現する画像処理向け高速通信リンクの実装を行なうとともに、データの多重化を不要にする並列ボリュームレンダリング・アーキテクチャの提案を行なった。

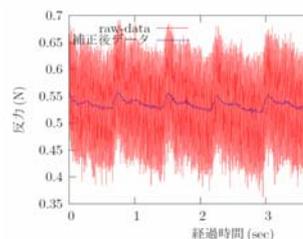
2. 体感型シミュレーション呈示システムと解剖学的属性を考慮した脈動シミュレーション

2.1 対話型ボリューム変形・加工シミュレーションフレームワークの開発

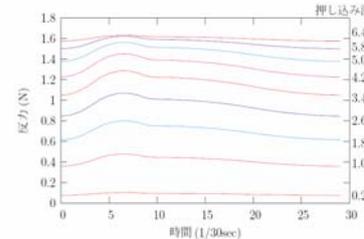
CT/MRI 断層画像集合から三次元再構成されるボリューム像に対してボリュームマスクを用いたインタラクションの記述を行い、ユーザによる加工や変形などの操作に対し、ボリューム像上にシミュレーション結果を対話的に可視化できるフレームワークを開発した。

2.2 手首を対象とした脈動再現シミュレータの開発と検証

ヒトの解剖学的な属性を反映した成人男性の手首力学構造モデルを構築し、脈診時の押込による手首・血管壁の変形及び血流量の変化を反映する有限要素力学計算方法を開発した。その結果、脈診の際に指先に感じられるべき脈動の変化を高精度かつ高速にシミュレートすることに成功した。



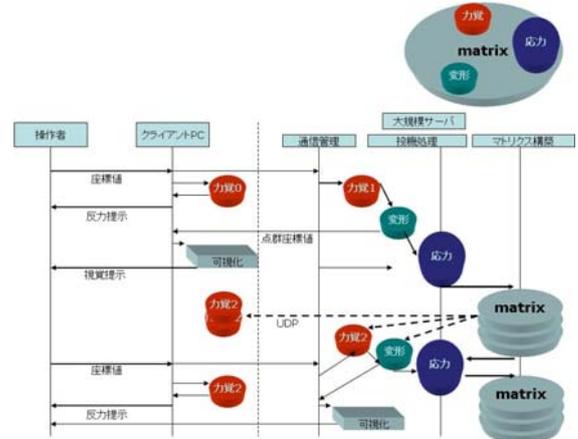
成人男性の脈の実時間計測・解析結果 (3分力センサ使用)



手首の押込による脈動変化のシミュレーション (3.4mm 押込時に脈が最も強く感じられる)

2.3 有限要素法に基づく実時間破壊シミュレーション方法に関する検討と開発

剥離手技を対象として有限要素法に基づく臓器破断モデルを構築した。計測の結果、一度の破断計算に要する時間は 9000msec (586 ノードの物体) であり、従来の方法では対話シミュレーションを行うことが困難であることが判明した。それに対して、剛性マトリクス的高速部分更新により、弾性率や境界条件の変更時に生じる計算コストを大幅に削減する破壊計算アルゴリズムを設計し、部分的に実装を行った。また、クライアントサーバ型分散シミュレーションアーキテクチャを設計した。投機処理と部分剛性マトリクス伝送により、伝送量を抑え、力覚応答の更新レート (実測で最大 0.1msec) を確保する。さらに、応力分布に基づいた破断要素群の一括処理により、破断計算の回数を削減し、処理の効率化を図った。その結果、投機の成功確率が 70% の場合、破断計算が平均 2700msec までに短縮可能であることが分かった。経験的に得られた許容される破断時間 2000msec ~ 3000msec を考慮すると、対話的な破壊シミュレーションの実現性が示唆された。現在、基本システムはほぼ構築が完了し、GPU クラスタ Scube と統合した実験環境の構築に取り組んでいる。右図: クライアントサーバ型分散力学 VR シミュレーションの設計



3. マルチスケールシミュレーション技術を応用した遅延隠蔽手法の研究

3.1 服飾シミュレータの高速化

適応型メッシュ再構成手法(Adaptive Mesh Refinement and Coarsening Method)を服飾シミュレータに適用し 80 台のプロセッサを用いた実験で逐次処理に対して 70 倍以上の高速化を達成した。

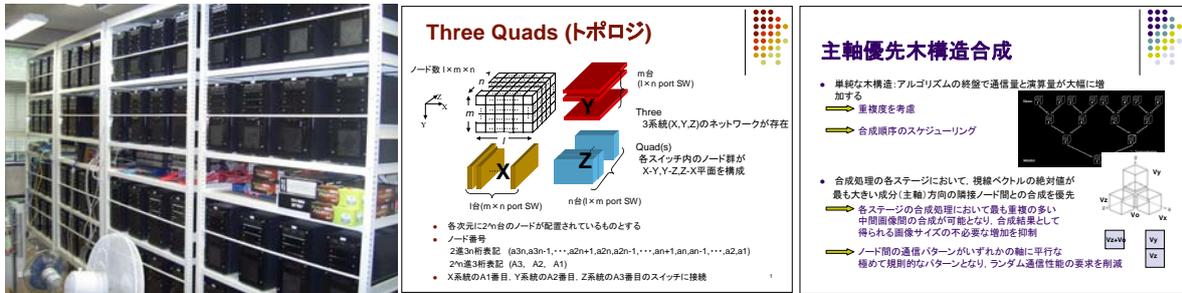
3.2 3次元入出力デバイスを用いたインタラクティブ・シミュレータ・プロトタイプの開発

汎用グラフィックスカード(GPU)を用いたユーザ端末上の簡易シミュレーションの例として、格子ボルツマン法に基づく流体シミュレータを実装するとともに、3次元入出力デバイスを用いて境界条件(攪拌棒の位置に相当)をインタラクティブに変化させる実時間攪拌シミュレータのプロトタイプ実装を行なった。

⑧特記事項 (これまでの研究において得られた、独創性・新規性を格段に発展させる結果あるいは可能性、新たな知見、学問的・学術的なインパクト等特記すべき事項があれば記入してください。)

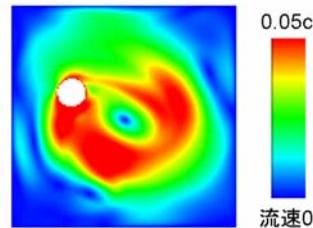
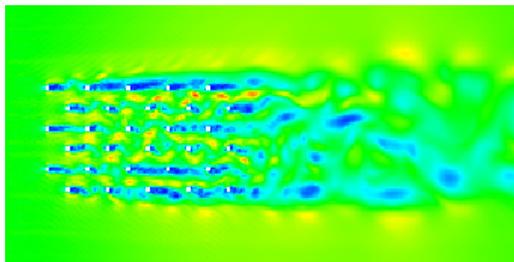
コモディティ部品のみを使用した日本最大級のGPUクラスタ

数値計算のためのPCクラスタの各計算ノードに実時間可視化処理を目的とした汎用GPUを搭載するとともに、新たな相互結合網Three Quadsを提案/実装することで、数値計算と計算過程・計算結果の実時間可視化を可能にした日本最大級のGPUクラスタである。従来、この規模のシステムで実時間並列可視化を実現するためには専用の画像合成ハードウェアが必須と考えられていたが、我々が提案するThree Quads網と主軸優先木構造合成アルゴリズムを併用することで、市販の部品のみを用いたコモディティクラスタにおいても、専用の画像合成装置と同等の性能が得られる可能性を示した。



格子ボルツマン法(LBM法)に基づくインタラクティブ流体シミュレーション

複雑な境界条件にも柔軟に対応可能なLBM法を用いた流体シミュレータを実装し、汎用GPUを用いた高速化を行なうことでCPUに対して10倍近い速度向上を得た。また、境界条件の変動に柔軟に対応できるというLBM法の特徴を利用して、流体内で円柱を移動させた場合に生じる流れをインタラクティブにシミュレーションする実時間インタラクティブ流体シミュレータ(攪拌シミュレータ)のプロトタイプを実現した。攪拌時に流体からうける応力を3次元力覚デバイスを通してユーザに提示するインタフェースの実装も行なったが、現時点では振動・発振等の問題が残っており、その改良は今後の研究課題である。



(<http://www.lab3.kuis.kyoto-u.ac.jp/project/Sensable/>にて両実時間シミュレーションの動画を公開している)

スケーラブルなボリュームレンダリング向け専用GPUの開発

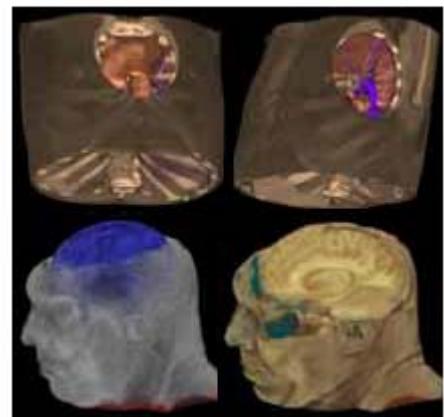
レンダリング処理と並列合成処理をピクセルレベルの演算パイプラインに統合し大規模並列可視化で問題となるフレーム単位の遅延をなくすことで高いスケーラビリティを実現する専用GPUを開発した。前述の通りDVI規格に準拠した安価な汎用LSIを用いてノード間遅延107ns、通信帯域4Gbpsを実現する画像処理向け高速通信リンクの提案・実装を行なうとともに、この通信リンクを時間・空間分割多重化して通信のスケジューリングを行ない多次元ネットワークをエミュレートすることで、従来問題点として指摘されてきたボリュームデータの3重化を回避する新たな並列ボリュームレンダリング・アルゴリズムの開発を行なった。

ボリューム像の対話操作に関する研究

手術時に想定される軟組織の物理的な変化をシミュレートし、インタラクティブにボリューム像上に描出する方法論を開発した。体表に対する切開と開創、触診や圧排などによる臓器変形を有限要素法に基づいてシミュレートできる。開発システムに患者実測CTデータを適用し、外科医と共に術前計画を想定した実験を行った結果、数例の術式に対する手術時の視野をシミュレートすることができ、手術アプローチの計画、計画情報の共有などに有用とみなされた。成果は独創的であり、我が国のインタラクティブ技術の発展に加え、医用VR、コンピュータ外科学研究に関する貢献も見込まれる。

上段: CTボリューム像の対話的な加工による手術計画の様子,

下段: 頭部ボリューム像に与えられた弾性分布と変形シミュレーション結果
国内外において3件の特許出願(特願2005-257415, 特願2005-222477, PCT/JP2005/14024)を行っており、医療への直接的な応用が可能である。



⑨研究成果の発表状況 (この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文(掲載が確定しているものを含む。)の全著者名、論文名、学協会誌名、巻(号)、最初と最後のページ、発表年(西暦)、及び国際会議、学会等における発表状況について記入してください。なお、代表的な論文3件に○を、また研究代表者に下線を付してください。)

審査付雑誌論文

1. ○ 高山征大, 森眞一郎, 中島康彦, 富田眞治: セル投影型並列ボリュームレンダリングのEarly Ray Terminationによる高速化, 情報処理学会論文誌:コンピューティングシステム, 採録決定, (2006).
2. M. Nakao, T. Kuroda, M. Komori, H. Oyama, K. Minato and T. Takahashi, "Supporting Communication on Bioelasticity by Haptic Interaction with Deformable Media", IEEE Multimedia, 2006. (in press)
3. M. Nakao, T. Kuroda, H. Oyama, G. Sakaguchi and M. Komeda, "Physics-Based Simulation of Surgical Fields for Preoperative Strategic Planning", Journal of Medical Systems, 2006. (in press)
4. Y. Kuroda, M. Nakao, T. Kuroda, H. Oyama and M. Komori, "Interaction Model between Elastic Objects for Haptic Feedback considering Collisions of Soft tissue", Computer Methods and Programs in Biomedicine(Elsevier Science), Vol.80, No.3, pp.216-224, Dec 2005.
5. 中尾 恵, 黒田 知宏, 湊 小太郎, "ボリュームインタラクションのためのマスキングとその実時間処理方法", バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 10, No.4, pp. 591-598, Dec 2005.
6. 糸直人, 中尾恵, 黒田知宏, 吉原博幸, 小森優, "VR シミュレータを目指した生体軟組織の剥離シミュレーション", 生体医工学, Vol.43, No.1, pp.76-84, Jan 2005.
7. 丸山悠樹, 中田智史, 篠本雄基, 高山征大, 五島正裕, 森眞一郎, 中島康彦, 富田眞治: 汎用グラフィックスカードを用いた並列ボリュームレンダリングシステム, 情報処理学会論文誌:コンピューティングシステム, Vol.45, No.SIG11(ACS7), pp.332-345 (2004)
8. Mujahid A., Kakusho, K., Minh, M., Nakashima, Y., Mori, S., Tomita, S. : Parallel Cloth Simulation with Adaptive Mesh Refinement and Coarsening Using OpenMP on Fujitsu HPC2500, 情報処理学会論文誌:コンピューティングシステム, Vol.45, No.SIG11(ACS7), pp.321-331 (2004)

国際会議論文(査読付)

1. M. Rissanen, Y. Kuroda, N. Kume, M. Nakao, T. Kuroda and H. Yoshihara, "Audiovisual Guidance for Simulated One Point Force Exertion Tasks", ACM VRCIA, June 2006. (To appear)
2. M. Rissanen, Y. Kuroda, M. Nakao, N. Kume, T. Kuroda and H. Yoshihara, "Annotated Surgical Manipulation for Simulator-based Surgical Skill-transfer using SiRE - Simulation Record Editor", 3rd Symposium on Biomedical Simulation 2006, July 2006. (To appear)
3. M. Nakao, Y. Kuroda, T. Sato, T. Kuroda, K. Minato, "Volume Interaction Framework for Preoperative Surgical Simulation on Volumetric Images", Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS), July 2006. (To appear)
4. Y. Kuroda, M. Nakao, T. Kuroda, H. Oyama and H. Yoshihara, "Study of spatial anisotropy in finger's haptic perception for advanced palpation training", Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS), July 2006. (To appear)
5. M. Rissanen, Y. Kuroda, N. Kume, M. Nakao, T. Kuroda and H. Yoshihara, Interactive Authoring of Example Surgical Procedures from Recorded Physics-based Simulation, Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS), 2006. (To appear)
6. M. Rissanen, N. Kume, Y. Kuroda, M. Nakao, T. Kuroda and H. Yoshihara, "Framework for Annotation of Haptic Data in Simulated Surgical Procedures", Virtual Systems and Multimedia (VSMM), pp.647-656, Oct 2005.
7. M. Nakao, T. Kuroda and K. Minato, "Volume Interaction with Voxels by Manipulating 3D General Grids", ACM SIGGRAPH Poster, July 2005.
8. Y. Kuroda, M. Nakao, T. Kuroda, H. Oyama and H. Yoshihara, "Design and Implementation of MVL: Medical VR Simulation Library", ACM SIGGRAPH Poster, July 2005.
9. M. Nakao, T. Kuroda and K. Minato, "Advanced Volume Visualization for Interactive Extraction and Physics-based Modeling of Volume Data", The First International Conference on Complex Medical Engineering, pp. 277-282, June 2005.
10. N. Kume, M. Nakao, T. Kuroda, H. Yoshihara, M. Komori, "Ablation Simulator Based on FEM Soft Tissue Destruction Model", The First International Conference on Complex Medical Engineering, pp. 283-286, June 2005.
11. T. Ueda, M. Komori, S. Nagata, M. Nakao, T. Sato, K. Minato, "Sharing Tactile Information Embedded in EMR", 6th Asian-Pacific Conference on Medical and Biological Engineering, PA2-17, Apr. 2005.
12. Y. Kuroda, M. Nakao, T. Kuroda, H. Oyama and H. Yoshihara, "Shape Perception with Friction Model for Indirect Touch", IEEE Proc. of World Haptics, pp.571-572, 2005.
13. M. Nakao, T. Watanabe, T. Kuroda and H. Yoshihara, "Interactive 3D Region Extraction of Volume Data Using Deformable Boundary Object", Proc. Medicine Meets Virtual Reality 13 (MMVR13), pp. 349-352, 2005.
14. Y. Kuroda, M. Nakao, T. Kuroda, H. Oyama and H. Yoshihara, "MVL: Medical VR Simulation Library", Medicine Meets Virtual Reality 13 (MMVR13), pp. 273-276, 2005.
15. N. Kume, M. Nakao, T. Kuroda, H. Yoshihar and M. Komori, "FEM-Based Soft Tissue Destruction Model for Ablation Simulator", Medicine Meets Virtual Reality 13 (MMVR13), pp. 263-269, 2005.
16. Takayama, M., Mori, S., Shinomoto, Y., Goshima, M., Nakashima, Y., Tomita, S. : Cell-Projection Parallel Volume Rendering with Early Ray Termination, Int'l Conf. on Visualization, Imaging, and Image Processing(VIIP2004), pp.613-618 (2004)
17. Takayama, M., Shinomoto, Y., Goshima, M., Mori, S., Nakashima, Y., Tomita, S.: Implementation of Cell-Projection Parallel Volume Rendering with Dynamic Load Balancing, Int'l Conf. on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications(PDPTA2004), pp.373-379 (2004)

⑨研究成果の発表状況（続き）

国際会議論文(査読付) つづき

18. M. Nakao, T. Watanabe, T. Kuroda and H. Yoshihara, "3D Interactive Clipping for Flexible Visualization and Extraction of Volume Data", Proc. 10th International Conference Virtual Systems of MultiMedia, pp. 225-231, 2004.
19. Y. Kuroda, M. Nakao, T. Kuroda, H. Oyama and H. Yoshihara, "Haptic Rendering Method of Friction Forces for Indirect Shape Perception", Proc. 10th International Conference Virtual Systems of MultiMedia, pp. 232-238, 2004.
20. N. Kume, M. Nakao, T. Kuroda, H. Yoshihara and M. Komori, "FEM-Based Soft Tissue Destruction Model for Ablation Training Simulator, Proc. 10th International Conference Virtual Systems of MultiMedia, pp. 670-677, 2004.

審査付シンポジウム論文

1. 黒田嘉宏, 中尾恵, 黒田知宏, 小山博史, 吉原博幸, "触診スキルにおける指操作と知覚精度に関する考察", ヒューマンインタフェースシンポジウム 2005, pp.101-104, Sep. 2005
2. 中島康彦, 五島正裕, 森眞一郎, 富田眞治: 外部連想バッファを備えるSpMTモデルの分析, 先進的計算基盤システムシンポジウムSACSIS2005, pp.397-406, (2005).
3. 福山智久, 福田正則, 三輪忍, 小西将人, 五島正裕, 中島康彦, 森眞一郎, 富田眞治: スラック予測を用いた省電力アーキテクチャ向け命令スケジューリング, 先進的計算基盤システムシンポジウム, pp.123-132, (2005).
4. 中島康彦, 五島正裕, 森眞一郎, 富田眞治: 外部連想バッファを備えるSpMTモデルの分析, 先進的計算基盤システムシンポジウム, pp.397-406, May. 2005.
5. 福山智久, 福田正則, 三輪忍, 小西将人, 五島正裕, 中島康彦, 森眞一郎, 富田眞治: スラック予測を用いた省電力アーキテクチャ向け命令スケジューリング, 先進的計算基盤システムシンポジウム, pp.123-132, May. 2005.
6. 渡邊孝和, 黒田嘉宏, 中尾恵, 黒田知宏, 吉原博幸, "三次元 CT・MRI データを対象とした形状・硬さモデリング支援環境の構築", ヒューマンインタフェースシンポジウム 2004 論文集, pp. 949-952, Oct. 2004.
7. 渡邊孝和, 黒田嘉宏, 中尾恵, 黒田知宏, 吉原博幸, "曲面を用いた対話的な三次元臓器領域修正法", 生体医工学シンポジウム 2004 講演論文集, pp. 50-51, Sep. 2004.
8. 糸直人, 中尾恵, 黒田知宏, 吉原博幸, 小森 優, "生体軟組織の剥離シミュレーション", 生体医工学シンポジウム 2004 講演論文集, p. 48, Sep. 2004.
9. 高山征大, 森眞一郎, 篠本雄基, 五島正裕, 中島康彦, 富田眞治: セル投影型並列ボリュームレンダリングのEarly Ray Terminationによる高速化, Visual Computing/グラフィクスとCAD合同シンポジウム, pp.169-174, June 2004.
10. 丸山悠樹, 中田智史, 高山征大, 五島正裕, 森眞一郎, 中島康彦, 富田眞治: 汎用グラフィックスカードを用いた並列ボリュームレンダリングシステム, 先進的計算基盤システムシンポジウム, pp.415-424, May. 2004.
11. Mujahid A., Kakusho, K., Minho, M., Nakashima, Y., Mori, S., and Tomita, S.: Parallel Cloth Simulation with Adaptive Mesh Refinement and Coarsening Using OpenMP on Fujitsu HPC2500, 先進的計算基盤システムシンポジウム, pp.397-406, May. 2004.
12. 津邑公暁, 笠原寛壽, 清水雄歩, 中島康彦, 五島正裕, 森眞一郎, 富田眞治: 大容量汎用 3 値CAMを用いた並列事前実行機構の効率的実現, 先進的計算基盤システムシンポジウム, pp.251-260, May. 2004.
13. 劉小路, 小西将人, 五島正裕, 中島康彦, 森眞一郎, 富田眞治: クリティカリティ予測のためのスラック予測, 先進的計算基盤システムシンポジウム, pp.187-196, May. 2004.

特許

1. 中尾 恵, 湊 小太郎, 情報処理装置、およびプログラム, 特願 2005-257415 (平成 17 年 9 月 6 日出願)
2. 中尾 恵, 湊 小太郎, 三次元の物体を表示する情報処理装置およびそのプログラム, 特願 2005-222477 (平成 17 年 8 月 1 日出願)
3. 中尾 恵, 黒田 知宏, 情報処理装置およびプログラム (三次元物体の表面・内部構造の実時間変形・描画方法), PCT/JP2005/14024 (平成17年8月1日出願)

講演、解説記事など

1. 黒田嘉宏, "臨床教育の質を向上させるためのトレーニングシミュレータ", 病院, Vol.65, No.3, 医学書院, Mar. 2006.
2. 富田眞治, "コンピュータシステムの今後の展開", 地域産業論, 松江高専, Nov. 2005.
3. 中尾 恵, "臓器力学特性の可視・可触化と術前計画・臨床教育への応用", 日本バーチャルリアリティ学会 変形と力覚研究会, 名古屋工大, Nov. 2005.
4. 富田眞治, "マイクロプロセッサの構成方式の現状と将来", 第 25 回高等専門学校情報処理教育研究発表会, 松江テラサ, Aug. 2005.
5. 黒田 知宏, "医療VRシステムとその周辺技術", VR工学部会 講演会, Nov 2004.
6. 中尾 恵, 黒田 知宏, 小山 博史, 湊 小太郎, "術前VRリハーサル", 第 17 回 VR-Lab. シンポジウム講演, Mar 2005.

メディア報道など

1. 体内を立体画像化, 日経産業新聞 10 面, 2005 年 12 月 14 日
2. 高解像度でリアル立体画像を実現, 日刊工業新聞 11 面, 2005 年 6 月 15 日
3. 高精細な立体映像表示, 電波新聞 6 面, 2005 年 6 月 15 日

⑨研究成果の発表状況（続き）

口頭発表

1. 黒田嘉宏, M. Rissanen, 吉村耕治, 中尾恵, 黒田知宏, 賀本敏行, 小山博史, 小川修, 吉原博幸, "前立腺触診を対象とした技能教材 VR システムに関する研究", 第 25 回日本医用画像工学会大会, July 2006. (To appear)
2. 糸直人, 黒田嘉宏, 中尾恵, 黒田知宏, 吉原博幸, 小森優, "力学計算に基づく分散 VR シミュレーションの設計と計算量の算定", システム制御情報学会 第 50 回大会講演論文集, 2006. (To appear)
3. ミッコ・リッサネン, 黒田嘉宏, 糸直人, 中尾恵, 黒田知宏, 吉原博幸, "力学 VR シミュレーション記録の対話編集手法", システム制御情報学会 第 50 回大会講演論文集, 2006. (To appear)
4. 吉村知晋, 三輪忍, 嶋田創, 中島康彦, 森眞一郎, 富田眞治: 中規模コモディティクラスタ向け相互結合網 Three Quads の提案, 情報処理学会研究報告, 2006-ARC-167, Mar. 2006.
5. 岡村大, 野田祐介, 三輪忍, 嶋田創, 中島康彦, 森眞一郎, 富田眞治: DVI による超高速単方向リンクを用いた並列ボリュームレンダリング, 情報処理学会研究報告, 2006-SLDM-123, pp.97-100, Jan. 2006.
6. S. Mori, D. Okamura, Y. Noda, H. Shimada, S. Miwa, Y. Nakashima, S. Tomita : An FPGA-based Visualization Accelerator : VisA Pro, Int'l Symposium on Advanced Reconfigurable Systems, (poster presentation), Dec. 2005.
7. 嶋田創, 森眞一郎, 中島康彦, 富田眞治: 大規模パイプラインステージ統合-CPU 内部からチップセットまで-, 情報処理学会研究報告, 2005-ARC-165, pp.63-66, Dec. 2005.
8. 高洪波, 李森, 中島康彦, 嶋田創, 森眞一郎, 富田眞治: 並列事前実行における再利用バッファの高速化, 情報処理学会研究報告, 2005-ARC-165, pp.27-32, Dec. 2005.
9. 中尾 恵, 黒田 知宏, 湊 小太郎, "ボリュームマスクを用いた対話型ボリューム変形・加工システム", システムインテグレーション部門講演会概要集, p238, Dec. 2005.
10. ミッコ・リッサネン, 糸直人, 黒田嘉宏, 中尾恵, 黒田知宏, 吉原博幸, "手術手技シミュレーションを目的とするアノテーション・フレームワーク", システムインテグレーション部門講演会概要集, pp.791-792, Dec. 2005.
11. 中尾 恵, 黒田 知宏, 湊 小太郎, "LiveVolume: ボリュームインタラクションフレームワーク", 日本バーチャルリアリティ学会 第 10 回大会論文集, pp. 437 - 440, Sep. 2005.
12. 黒田嘉宏, 中尾恵, 黒田知宏, 小山博史, 吉原博幸, "医用 VR シミュレーションライブラリ MVL によるシミュレータ構築", 日本バーチャルリアリティ学会 第 10 回大会論文集, pp.536-537, Sep. 2005. (学術奨励賞受賞)
13. 糸直人, 石田達朗, 金 孝京, 中井 隆史, 平井 真, 全 信宏, 岡本 和也, 司 隆史, 吉原博幸, "Brain-Touch ~脳コン~, 日本バーチャルリアリティ学会 第 10 回大会論文集, p. 507, Sep. 2005.
14. 糸直人, 黒田嘉宏, 中尾恵, 黒田知宏, 吉原博幸, 小森優, "力学計算に基づく力覚応答が可能な大規模分散シミュレーションシステムの設計", 日本バーチャルリアリティ学会 第 10 回大会論文集, pp.221-222, Sep. 2005.
15. 平井真, 黒田嘉宏, 中尾恵, 黒田知宏, 吉原博幸, "医療手技訓練のための手による弾性体操作習熟環境", 日本バーチャルリアリティ学会 第 10 回大会論文集, pp.391-392, Sep.2005.
16. 李森, 高洪波, 中島康彦, 富田眞治: 区間再利用バッファの分割とその高速化, 平成 17 年度情報処理学会関西支部支部大会講演論文集, pp.181-182, Oct. 2005.
17. 高洪波, 李森, 中島康彦, 嶋田創, 森眞一郎, 富田眞治: 並列事前実行における連想検索装置の設計, 平成 17 年度情報処理学会関西支部支部大会講演論文集, pp.183-186, Oct. 2005.
18. 篠本雄基, 三輪忍, 嶋田創, 森眞一郎, 中島康彦, 富田眞治: 汎用 GPU を用いたボリュームレンダリングにおけるテクスチャアクセスの改善, 平成 17 年度情報処理学会関西支部支部大会講演論文集, pp.187-188, Oct. 2005.
19. 中尾 恵, 黒田 知宏, 湊 小太郎, "手術計画支援のための対話型ボリューム変形・加工システム", 第 5 回日本 VR 医学会学術大会抄録集, p. 24, Sep. 2005.
20. 黒田嘉宏, 中尾恵, 黒田知宏, 小山博史, 吉原博幸, "触診 VR シミュレーションと機能のライブラリ化", 第五回日本 VR 医学会学術大会抄録集, pp.13, Sep. 2005.
21. ミッコ・リッサネン, 糸直人, 黒田嘉宏, 中尾恵, 黒田知宏, 吉原博幸, "触診訓練を目的としたシミュレーション記録に基づく力の可視化によるアノテーション", 第五回日本 VR 医学会学術大会抄録集, pp.14, Sep. 2005. (奨励賞受賞)
22. 上田 知生, 中尾 恵, 湊 小太郎, 小森 優, "腕の構造モデルを用いた脈動再現シミュレータ", 第 5 回 VR 医学会大会論文集, p11, Sep. 2005.
23. 篠本雄基, 三輪忍, 嶋田創, 中島康彦, 森眞一郎, 富田眞治: 並列ボリュームレンダリングにおける投機的描画に関する考察, 情報処理学会研究報告, 2005-ARC-164, pp.145-150, Aug. 2005.
24. 吉村知晋, 吉良祐司, 森眞一郎, 中島康彦, 富田眞治: 汎用 GPU を用いた大規模可視化クラスタの構築, 可視化情報, Vol. 25, Suppl. No. 1, pp.277-280, Jul. 2005.
25. 黒田嘉宏, 渡邊孝和, 中尾恵, 黒田知宏, 吉原博幸, "三次元メッシュを用いた対話的な曲面操作によるボクセルデータ修正法", 第 24 回日本医用画像工学会大会抄録集(CD-ROM), IIB47, Jul. 2005.
26. 小松原誠, 森眞一郎, 中島康彦, 富田眞治: 汎用グラフィックカードを用いた格子ボルツマン法による流体シミュレーション, 情報処理学会研究報告, 2005-ARC-163, pp.37-42, May 2005.
27. 黒田嘉宏, 中尾恵, 黒田知宏, 小山博史, 吉原博幸, "間接形状知覚の実験を目的とした仮想環境における摩擦力提示手法", システム制御情報学会 第 49 回大会講演論文集, pp.653-654, May 2005.
28. 平井真, 糸直人, 黒田嘉宏, 中尾恵, 黒田知宏, 吉原博幸, "グローブ型力覚提示装置を用いた触診 VR シミュレータの試作", システム制御情報学会 第 49 回大会講演論文集, pp.651-652, May 2005.
29. M. Rissanen, N. Kume, Y. Kuroda, M. Nakao, T. Kuroda, H. Yoshihara, "Dynamic Pressure Visualization for Mimicking Simulated Palpation of the Aorta", 日本人間工学会第 46 回大会講演集, pp.110-111, Apr. 2005.
30. 岡村大, 五島正裕, 森眞一郎, 中島康彦, 富田眞治: 並列可視化処理向け FPGA 搭載 PCI カードへのボリュームレンダリングの予備実装, 電子情報通信学会 技術研究報告, CPSY2004-76, pp.1-6, Jan. 2005.
31. 小松原誠, 森眞一郎, 五島正裕, 中島康彦, 富田眞治: 汎用グラフィックカードを用いた格子ボルツマン法による流体シミュレーション, ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム(HPCS2005)ポスター論文集, p.22, Jan. 2005.

他 28 件