

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：13401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25280042

研究課題名(和文) マッシブコア環境での対話的実時間シミュレーション手法の研究

研究課題名(英文) Development of Interactive and Realtime Simulation Frameworks for Massive-Core Supercomputing Environment

研究代表者

森 眞一郎 (MORI, Shin-ichiro)

福井大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：20243058

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：マルチコアプロセッサを多数相互結合したマッシブコア環境において、実時間でシミュレーションを行うための2種類のシミュレーションフレームワークの構築を行なった。これらは、時系列シミュレーションにおける時間空間連続性を利用したもので、計数行列ならびに右辺ベクトルがともに時間変化する線形方程式の求解問題に対して1)未来の予測に基づく投機計算を予測ミス時のペナルティなしで可能にするフレームワーク、2)過去の計算結果の補正計算により計算速度を大幅に向上するフレームワークの2つであり、問題サイズ7000×7000クラスの電気回路網解析が100ms/stepの実時間で解析可能であることが検証できた。

研究成果の概要(英文)：In order to realize interactive simulation under massive-core supercomputing environment, we have developed two simulation frameworks that utilize the time-space similarity in the time series simulations which solve the linear equation where both the matrix A and the right hand side vector are slightly changed in each time step. The first framework is based on the speculative computation for some predicted simulation scenarios with low miss-prediction penalty. The second one is the correction based scheme which utilize SMW formula to derive the inverse matrix of A by modifying the known inverse matrix of similar matrix A' using information on the difference between A and A'. To confirm the effectiveness of these framework, we made some simulation experiments using these frameworks. As a result, we could confirm an electrical circuit simulation of 7000x7000 in size could be made real time in 100ms per time step.

研究分野：計算機工学

キーワード：ハイパフォーマンス・コンピューティング 超高速情報処理 シミュレーション工学 並列処理 実時間処理 投機計算 超並列 サイバーフィジカルシステム

1. 研究開始当初の背景

近年の計算機性能の急速な向上に伴い、インタラクティブな実時間シミュレーションへの期待が高まっている。フライトシミュレーションや航空管制シミュレーションのようにコンピュータ上のシミュレーション結果を操作者が直接体感し、その反応として対話的にシミュレーションをステアリング可能なシミュレーションの形態は "human-in-the-loop simulation" あるいは "interactive simulation" と呼ばれる。従来、このようなシミュレータ上で行われてきたシミュレーションは主に離散事象シミュレーションであったが、これをスーパーコンピュータ上の科学技術計算のシミュレーションにも拡張する試みも進められている。しかしながら、実時間での対話的なステアリングまでを考慮した研究は始まったばかりである。これに対して我々は遠隔地のスーパーコンピュータ上で科学技術計算に対して対話的な操作を可能とする体感型シミュレーションシステムの実現を目指した研究を行ってきた。ここでは遠隔地のスーパーコンピュータが十分なスループットと実時間応答性を持つという仮定のもと、遠隔地から対話的なステアリングを可能にするためのシミュレーションキャッシングと呼ぶ通信遅延隠蔽技術とそれに基づく遠隔シミュレーションフレームワークの研究を行ってきた[引用 1]。

2. 研究の目的

本研究では、今までの研究の仮定となってきたスーパーコンピュータ上での大規模な対話的実時間シミュレーションを実現するためのシミュレーションモデルの開発という課題に挑戦する。特に、近年のスーパーコンピュータの特徴であるマルチコアあるいはメニーコアプロセッサを多数相互結合した計算機環境(本提案では以下『マッシュアップコア環境』と呼ぶ)において、『実時間』でシミュレーションを行うためのシミュレーションフレームワークの構築にターゲットを絞り、更に多くのシミュレーション中に現れる大規模線形方程式 $Ax=b$ の高速求解問題に焦点を当てる。また、『実時間』という用語に対しては多様な解釈が可能であるが、本研究では数ミリ秒～数秒以内で1回のシミュレーションが完結する人間の物理的な反応速度程度を想定した『実時間』シミュレーションを想定する。例えば、手術手技のトレーニングを目的としたシミュレーション等がその例である。

3. 研究の方法

このような『実時間』の制約を課すと、おのずと問題サイズの上限も設定され従来の並列処理手法の枠組みではこの範囲内でのストロングスケール効果しか得られ

ない。そのため、従来のスーパーコンピュータが得意とする超大規模問題に対するウィークスケール効果に依存する大規模並列処理効果の恩恵をうけられなくなる。その結果として、有り余る計算資源としてのプロセッサコアが十分に活用できなくなってしまふ。本研究では、個々の問題の性質と問題サイズで決まる最適並列度を大幅に超えるプロセッサ資源が利用可能なマッシュアップコア環境において、(1)インタラクションの連続性を考慮した投機的手法[引用 2]ならびに(2)補正計算と追跡実行に基づく手法[引用 3]を用いて潤沢な計算資源を活用可能なシミュレーションモデルを開発し、従来法では得られない台数効果を得ることを目的とする。また、これらのシミュレーションモデルに対応したシミュレーションフレームワークの実装に際し、(3)補正計算にもなう累積誤差の影響に関する評価、(4)シミュレーションフレームワークの実問題への適用に関する研究、(5)問題の大規模化に伴い発生する通信時間軽減のためのデータ圧縮法に関する研究を行なった。

4. 研究成果

(1) 投機的手法を用いたシミュレーションフレームワークに関する研究

潤沢な計算資源が存在するという仮定のもと、投機的な事前計算を併用することで速度向上をえるシミュレーションフレームワークを構築した。具体的には、反復型数値計算の高速化に用いられる前処理行列を投機的に計算しておくことで投機ミス時のペナルティを最小化する投機手法を採用した。従来から提案されてきた問題の解自体を投機的に予測する手法では、投機が失敗した際に再計算が必要であるのにたいし、投機的に複数の前処理行列を計算しておく本手法は、求めた前処理行列を本来求めるべき前処理行列の近似行列として計算に利用可能であるという性質を利用して投機ミスのペナルティ最小化を図るものである。

構築したシミュレーションフレームワークを用いて、64 ノードの PC クラスタを用いた予備評価を行い近似前処理行列を投機的に求めておくことの有効性を検証した。

一方で、多数の計算資源を利用することに伴うシミュレーションフレームワークの資源管理オーバーヘッドの増加は否めない。そこで、計算機環境の大規模化に向けた各種管理情報の効率的な更新アルゴリズムを開発することで多段投機を可能にした。この際、多段投機の採用にともない必要となる「実行中に動的かつ頻繁に形成されるプロセッサグループ向けの情報配信」を可能とする通信ライブラリを設計し、マッシュアップコア環境向けに実装した。256 コア(32 ノード)の自作クラスタシステムならびに、スーパーコンピュータ Cray XC30 の 256 コア(256 ノード)を用いて評価実験を行ない、汎用の MPI ライブラ

りて実現が困難な細粒度動的マルチキャストを可能とするとともに、十分な性能が得られることを確認した。図1はCrayXC30を利用して、8MBのメッセージを複数のコアにマルチキャストするのに要した時間を示している。図には比較のため汎用MPIの静的マルチキャスト(Bcast)を行った場合の時間も示してある。実験した全ての配信Rank数(ノード数と等価)において我々が提案する動的Mcastが高速であることがわかる。

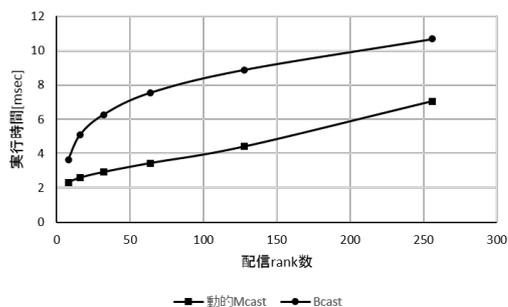


図1. マルチキャスト性能の比較

現在の実装では、配信するデータサイズが非常に小さい場合においては、管理コストのオーバーヘッドによりBcastに劣る性能となるが256ノードへの配信時でも1ms以下の値であり実用上の問題は発生せず、動的なマルチキャストが可能であるという利点の方が重要である。

(2) 連続性を考慮した補正計算と多重追跡実行を用いたシミュレーションフレームワークの構築

フレームワークの構築

我々は線形方程式 $Ax=b$ の求解において、係数行列 A の近似行列の逆行列を用いた補正計算により高速に逆行列を導出したうえで線形方程式の解を求める逆行列計算モデルと同様の計算手法を採るものの逆行列そのものの導出を行わない直接計算モデルを提案している。そこで、潤沢な計算資源があることを前提として、これら2つの計算モデルで重複計算を行い、逆行列の導出が完了するまでは直接計算モデルを逆行列導出後は逆行列計算モデルを利用することで実時間応答性を改善するシミュレーションフレームワークの実装を行った。この際、当初計画では逆行列を直接計算モデルに反映させるモデルを検討していたが、通信オーバーヘッドを回避するために、各計算ノードが所有する直近の逆行列からの補正計算を行うモデルを新規に提案し実装を行った。

次に、逆行列計算自体に対しても、通信と計算のオーバーラップによる最適化を行ったハイブリッド並列処理方式を導入し高速化に成功した。その結果、電気回路網解析のための行列サイズ 7379×7379 の問題に対して、行列内の 100×100 程度の領域で計数行列が変化した場合においても、8台の計算ノード

(Intel Core i7 3770 [3.4GHz], 主記憶 8GB, Intel Compiler Ver12.0) を用いて 100ms 程度で逆行列が導出可能であることを示した。また図2にノード数が2の場合において、前述と同じ行列に対して計数行列の変化の割合を変化させつつ通信と計算のオーバーラップによる遅延隠蔽が実行時間に与える影響を評価した結果を示す。通信の粒度を2分割(タイリング2)から16分割(タイリング16)まで変化した場合において、今回の実装では若干の違いはあるものの通信の粒度によらずオーバーラップ実行を行なうことで約2倍の性能が得られることが確認できた。これらの成果を統合し多段補正ならびに補正計算のハイブリッド並列処理を実装したフレームワークを構築した。

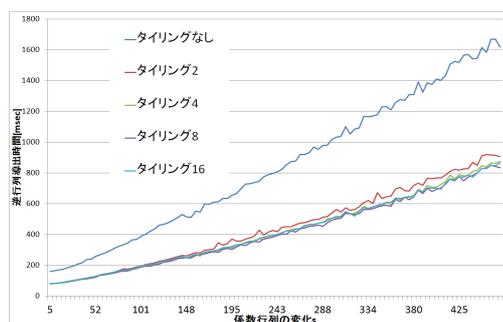


図2. 通信と計算のオーバーラップの有無および粒度の違いが計算速度に与える影響

誤差解析ならびにシミュレーションモデルの安定性検証

係数行列の一部が連続的に変化する連立1次方程式の求解問題に対して、SMW公式とブロック化手法を用いた数値計算法を構築し、有効性を数値実験を用いて検証した。その結果、LU分解などを用いて方程式を解く一般的な数値計算法に比べて、SMW公式を用いて逆行列を更新していく本方法の方が高速であることを確認した。乱数を用いた係数行列を用いた実験においては解の精度が低下する傾向が観測できたが、繰り返し適用した場合の誤差蓄積に関しては必ずしも顕著な傾向は見られなかった。

しかしながら、求められた逆行列への計算誤差の蓄積が発生することは事実であり、定期的に蓄積誤差のキャンセルを行なうことの必要性の検証が必要である。そこで、解くべき問題の条件数と誤差蓄積の傾向を解析した。初期行列の条件数が小さい対称行列に対しては、誤差蓄積の影響があまり現れず、毎回LU分解を用いて計算を続ける場合よりも計算が高速でかつ誤差も少ないという結果が得られた。条件数が小さい限りにおいては、100回程度の反復でも誤差蓄積の影響が見られなかった。一方で初期行列の条件数が大きい場合、初期条件として与えられる初期行列の逆行列自体の性質が悪いことに起因して、初期段階より解の精度が悪いという結果がえられた。このことは、補正計算を用いた提案手法の適用条件として初期行列の条

件数が一定以下である必要性を示しており、その条件を満足すれば、蓄積誤差キャンセルの頻度を十分に抑えられる可能性が示されたと考える。

(3) 予測制御法を用いた電力系統シミュレータによる実用性評価

投機的手法を用いたシミュレーションフレームワークの実用性評価にむけたアプリケーションの開発を行った。具体的には電力系統シミュレーションにおける気象条件にもとづく電力消費ならびに太陽光発電量を予測し、電力系統制御に利用する2種類のアプリケーションの検討、および一部の実装を行った。

一つ目のアプリケーションでは、逐次的手法を用いた予測制御法に基づき電力系統シミュレーションのモデル化を行い、手法の有効性を含めたシミュレーションフレームワークの構築手法を検討した。提案手法では従来のアルゴリズムを用いたパラメータ補正を行うが複数の候補パラメータに対して投機的に補正計算を行い予測精度を向上する手法等の検討を行った。

2つ目のアプリケーションとしては、気象庁が公開している気象情報に関する動的オープンデータと連動した電力系統シミュレーションシステムを想定したサーバフィジカルシミュレーションシステムの構築を行なった。具体的には10分毎に更新される雨量レーダ画像をもとに、地域での太陽光パネルでの発電量を複数パターン予測し、電力系統に与える影響を投機的に計算し評価するためのプロトタイプシミュレータを作成した。図3はその概要である。

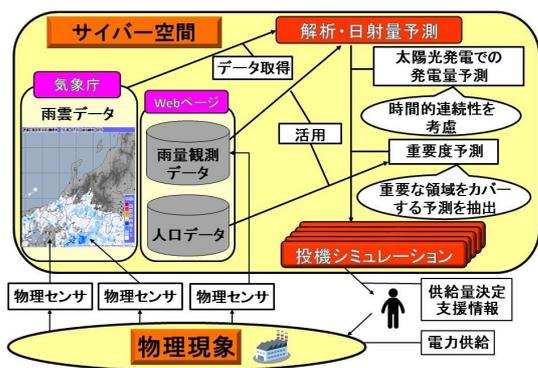


図3 動的オープンデータと連携した実時間サイバーフィジカルシミュレーションシステムの電力系統解析への応用

具体的には、気象庁が提供する10分後の雨量予測パターンを含む10分後の複数の雨量パターンを予測し、太陽光パネルの分布予測(人口統計データから推定)に基づく最尤度判定を行ない、優先度の高いいくつかの雨量パターンに対して電力系統シミュレーションを投機的に実行することで、気象条件が電力系統に与える影響を評価するアプリケ

ーションを開発した。ただし、実際の太陽光パネルの分布や送電系統の詳細は非公開のため、太陽光パネルの分布は人口統計データに基づく類推、送電系統は単純な純抵抗と電源としての太陽光パネルと1つの発電所のみで構成される2次元格子状の架空の線形回路網における閉路電流を求める問題に置き換えて問題サイズが同等な線型方程式としてモデル化した。開発したアプリケーションを投機計算フレームワークを用いて実装したところ、気象庁が提供する高解像度降水ナウキャストと同等の解像度で福井県内レベルの電力系統解析が実時間で実現できることを確認した。

(4) 数値シミュレーションデータの実時間圧縮に関する研究

時系列シミュレーションにおける数値データについて、空間の連続性を考慮した実時間指向の可逆圧縮手法およびそのアクセラレーション手法を開発し、これらを応用して数値シミュレーションにおける新たな通信時間隠蔽手法、ならびに圧縮・解凍処理の並列化および時系列パイプライン化による通信スループット向上手法を開発した。

また、数値計算データのプログレッシブ圧縮・転送技術について検討を行ない、反復計算を行なうシミュレーションに対する段階的なりファイニングの可能性を検討した。

さらに、過去に開発したWEBベースインタフェースを用いたシミュレーションステアリングフレームワークに対して、WebSocketの最新規格に準拠した実時間バイナリーデータ圧縮を適用し実時間シミュレーションステアリングのための計算結果表示の高速化、高解像度を行なった。

<引用文献>

橋本他:シミュレーションキャッシングと遠隔インタラクティブ流体シミュレーションへの応用, 情報処理学会論文誌:コンピューティングシステム, Vol.5, No.4, pp.76-86, 2012.

依藤他:操作の連続性を考慮した投機計算を利用するインタラクティブシミュレータ, 先進的計算基盤システムシンポジウム, Vol.2009, No.5, pp. 229-238, 2009.

S.Iwanaga, S.Fukuma, S.Mori, "Hybrid Parallel Implementation of Inverse Matrix Computation by SMW Formula for Interactive Simulation", IEICE Trans. of Inf.&Sys., Vol.E95-D, No.12, pp.2952-2953, 2012.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計15件)

Jiachao Zhang, Shunpei Yuasa, Shinji Fukuma, Shin-ichiro Mori: A Real-time

GPU-based Coupled Fluid-Structure Simulation with Haptic Interaction, Int'l Conf. on Computer and Information Science, 2016(査読有[採録決定])

山本 優, 熊田 佳孝, 張 家超, 福間 慎治, 森 眞一郎: 対話型シミュレーションの実時間遠隔共有のためのシミュレーションキャッシングフレームワーク, 情報処理学会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論文集, Vol.2016, pp.101-110, 2016. (査読有)

<http://id.nii.ac.jp/1001/00163665/>
山本 優, 西村祐介, 福間慎治, 森眞一郎: シミュレーションキャッシングフレームワークの実装, 情報処理学会論文誌, 第57巻, 第3号, pp.823-835, 2016. (査読有)

<http://id.nii.ac.jp/1001/00158081/>
Yuta Matsui, Shinji Fukuma, Shin-ichiro Mori: Repeatable Hybrid Parallel Implementation of Inverse Matrix Computation by SMW Formula for a Time-Series Simulation, IEICE Trans. on Information and Systems, Vol.E98-D, No.12, pp.2196-2198, Dec. 2015. (査読有)

DOI 10.1587/transinf.2015PAL0004
川崎障司, 田岡久雄, 長尾泰気, 大中圭祐, 遺伝的アルゴリズムによる日射量予測手法の開発, 電機学会論文誌 B, Vol.135, No.2, pp.89-96, Feb. 2015. (査読有)

DOI 10.1541/ieejpes.135.89
山本優, 西村祐介, 福間慎治, 森眞一郎, 対話型遠隔シミュレーションフレームワークのマルチクライアント拡張と予備評価, 情報処理学会研究報告, Vol.2014-HPC-147, No.15, pp.1-8, 2014. <http://id.nii.ac.jp/1001/00107290/>
Liu Wenjuan, Shinji Fukuma, Shin-ichiro Mori, A Simple and Real-time Parallel Compression of Time Series Scientific Simulation Data For Interactive and Cooperative Supercomputing, Proc. Int'l Conf. on Computational Intelligence and Security, pp.578-582, 2014. (査読有)

DOI 10.1109/CIS.2014.107
山田卓司, 岡田英晃, 福間慎治, 鷗飼利明, 森眞一郎, ロスレス画像符号化のためのDCT行列の段階的なリファインメント分解, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.38, pp.47-50, 2014.

杉原 義将, 立田 智祐, 福間 慎治, 森 眞一郎, 組み込みシステムを用いたライブストリーミング配信のためのアクセラレータに関する検討, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.38, pp.37-38, 2014.

柴田直樹, 荒川文貴, 福間慎治, 森眞一郎,

ユビキタスシミュレーションのための携帯端末を用いた タイルディスプレイシステム, 情報処理学会研究報告, Vol.2014-HPC-143, No.28, pp.1-7, 2014.

<http://id.nii.ac.jp/1001/00098692/>
山本優, 荒川文貴, 福間慎治, 森眞一郎, 対話型遠隔シミュレーションシステムのマルチクライアント拡張に関する検討, 情報処理学会研究報告, Vol.2014-HPC-143, No.27, pp.1-7, 2014

<http://id.nii.ac.jp/1001/00098691/>
松井祐太, 岩永翔太郎, 福間慎治, 森眞一郎: 操作の連続性を考慮した投機計算を行うインタラクティブシミュレーションシステム, 情報処理学会研究報告, Vol.2014-HPC-143, No.13, pp.1-10, 2014

<http://id.nii.ac.jp/1001/00098677/>
Toshiaki Ukai, Takuro Kamamoto, Shinji Fukuma, Hideaki Okada, Shin-ichiro Mori: An Embedded Pointing System for Lecture Rooms Installing Multiple Screen, Int'l Conf. Image Processing, Computer Vision & Pattern Recognition, Vol.1, pp.390--394, 2013. (査読有)

Fumitaka Arakawa, Yuya Yamamoto, Ryota Henmi, Shinji Fukuma, Shin-ichiro Mori, Toward Interactive Supercomputing: Simulation Caching & Multi-Client Web-Based Interactive HCI, Int'l Supercomputing Conference HPC Asia Session, 12(a), 2013. (査読有)
荒川文貴, 辺見良太, 福間慎治, 森眞一郎, WebGLを用いた対話型遠隔シミュレーションシステムのマルチクライアント対応, 先進的計算基盤システムシンポジウム論文集, pp.128-129, 2013. (査読有)

<http://id.nii.ac.jp/1001/00092235/>

[学会発表](計14件)

Shinpei Masui, Naoki Shibata, Fumitaka Arakawa, Shinji Fukuma, and Shin-ichiro Mori: Web-based Ubiquitous Simulation Steering based on Simulation Caching, IEEE Symp. on Pacific Visualization, poster session, April 2016, Taipei (Taiwan) (査読有).

柴田直樹, 柿本隆介, 福間慎治, 森眞一郎: 時系列シミュレーションのためのSMW 公式を用いた並列ソフトウェアパイプラインの高速化, 情報処理学会 第78回 全国大会講演論文集, 2G3, 2016年3月10日, 慶応義塾大学(横浜市)

Tomohiro Tatta, Toshiaki Ukai, Farhanah Ibrahim, Shinji Fukuma, Shin-ichiro Mori: A Low-cost Implementation of Lecture Distribution System Utilizing FPGA and Mobile Devices, IEEE Global Conf. on Consumer Electronics, Oct.2015, 大阪国際会議場(大阪市) (査読有)

長嶺祐輔, 福間慎治, 森眞一郎: 実行時

の動的かつ頻繁なグループ変更に対応可能な MPI 環境下でのマルチキャストの実装, 電気関係学会北陸支部連合大会, F1-25, 2015 年 9 月 13 日, 金沢大学(金沢市)

熊田佳孝, 山本優, 福間慎治, 森眞一郎: 対話型遠隔シミュレーションフレームワークと大規模並列計算機との連携機構の実装, 電気関係学会北陸支部連合大会, F1-24, 2015 年 9 月 13 日, 金沢大学(金沢市)

今村秀平, 小澤伸也, 細田陽介, 森眞一郎: 係数行列が連続的に変化する線形方程式系に対する SMW 公式を用いた高速な数値計算法, 応用数理学会 2015 年度年会, 2015 年 9 月 10 日, 金沢大学(金沢市)

立田智裕, 鶴飼利明, 福間慎治, 森眞一郎: 携帯端末を活用したポイント情報付きマルチスクリーン講義配信システム, 映像情報メディア学会 メディア工学 8 月研究会サマーセミナー2015, ME2015-83, 伊豆熱川ハイツ(賀茂郡)

齋藤雅大, 山崎友理, 福間慎治, 森眞一郎, ロスレス変換符号化を用いた数値シミュレーションにおける計算時間の隠蔽, 電子情報通信学会総合大会 2015 年 3 月 10 日, 立命館大学琵琶湖キャンパス(草津市)

今村秀平, 細田陽介, 森眞一郎: SMW 公式を用いた逆行列計算における速度と精度の関係, 電気関係学会北陸支部連合大会, F2-F76, 2014 年 9 月 11 日, 富山高専(富山市)

柴田直樹, 柿本隆介, 福間慎治, 森眞一郎: 時系列シミュレーションのための SMW 公式を用いた線形計算の並列ソフトウェアパイプラインの柔構造化, 電気関係学会北陸支部連合大会, F2-F64, 2014 年 9 月 11 日, 富山高専(富山市)

Liu WenJuan, Shinji Fukuma, Shin-ichiro Mori, A Simple and Real-time Compression of Time Series Scientific Simulation Data For Interactive and Cooperative Supercomputing, 電気関係学会北陸支部連合大会 2014 年 9 月 11 日, 富山高専(富山市)

山崎友理, 福間慎治, 岡田英晃, 森眞一郎: 浮動小数点データの可変ブロックサイズロスレス KLT 符号化, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, A-4-22, 2014 年 3 月 20 日, 新潟大学(新潟市)

山本優, 荒川文貴, 福間慎治, 森眞一郎, Web ベースインタフェースを用いた対話型遠隔シミュレーションシステムのマルチクライアント対応, 電気関係学会北陸支部連合大会, 2013 年 9 月 21 日, 金沢大学(金沢市)

柴田直樹, 荒川文貴, 福間慎治, 森眞一郎, 複数の携帯端末を用いた可搬式高精細タイルドディスプレイの予備実装, 電気関係学会北陸支部連合大会, 2013 年 9 月 21

日, 金沢大学(金沢市)

[その他]

<http://www.interactivesupercomputing.org>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森 眞一郎 (MORI, Shin-ichiro)
福井大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 20243058

(2) 研究分担者

田岡 久雄 (TAOKA, Hisao)
福井大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 30367502

細田 陽介 (HOSODA, Yousuke)
福井大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 80264951

福間 慎治 (FUKUMA, Shinji)
福井大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 50313565

(3) 研究協力者

山本 祐弥 (YAMAMOTO, Yuya)
荒川 文貴 (ARAKAWA, Fumitaka)
西郡 大地 (NISHIGORI, Taichi)
益井 慎平 (MASUI, Shinpei)
山崎 友理 (YAMAZAKI, Yuri)
福井大学・工学部・学部生

Liu WenJuan
福井大学・大学院工学研究科・特別研究生

熊田 佳孝 (KUMADA, Yoshitaka)
長嶺 祐輔 (NAGAMINE, Yusuke)
齋藤 雅大 (SAITO, Masahiro)
今村 秀平 (IMAMURA, Shuhei)
柴田 直樹 (SHIBATA, Naoki)
山本 優 (YAMAMOTO, Yu)
岡田 英晃 (OKADA, Hideaki)
辺見 良太 (HENMI, Ryota)
松井 祐太 (MATSUI, Yuta)
西村 祐介 (NISHIMURA, Yusuke)
福井大学・大学院工学研究科・大学院生