

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：13401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25540043

研究課題名(和文) シミュレーション・キャッシングによるユビキタスな対話的シミュレーション環境の構築

研究課題名(英文) Development of the Ubiquitous, Collaborative and Interactive Simulation Framework based on the Simulation Caching

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) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、遠隔地の大規模計算サーバ上で実行中のシミュレーションに対して、タブレットPC等の携帯端末からユビキタスに実時間ステアリングを行う次世代の対話的スーパーコンピューティング環境を構築した。

具体的には、Webベースのシミュレーション・インタフェースを用いたユビキタスなシミュレーション・ステアリング法の開発、ならびに、研究代表者らが開発したシミュレーション・キャッシング技術を応用したシミュレーションの遠隔実時間共有フレームワークを構築した。

研究成果の概要(英文)：In this study, the ubiquitous, collaborative and interactive simulation framework has been developed. This framework realizes the interactive collaboration between supercomputer and remotely located simulation steering clients running on various devices including mobile phone and tablet PC.

To realize such a ubiquitous environment, we have developed the simulation interface which provides graphical interface and bi-directional communication on the Web browser utilizing the WebGL and WebSocket technologies. We also developed a scheme to realize virtual high resolution display by properly accumulating the pixel counts and the communication bandwidth of multiple mobile devices.

On the other hand, to realize collaborative and interactive steering of the remote simulation, we have integrated multi-clients functionality and inter-client coherence enforcement mechanism into the simulation caching framework.

研究分野：計算機工学

キーワード：ユビキタス・コンピューティング 対話的シミュレーション ハイパフォーマンス・コンピューティング
 超高速情報処理 キャッシュ・システム 通信遅延隠蔽 マルチユーザ・インタラクション サイバー・フィジカル・システム

1. 研究開始当初の背景

クラウドコンピューティングやアクセラレータを用いたパーソナルスーパーコンピューティング環境の急速な普及を背景とした高性能計算分野の次なるブレークスルーとして、研究代表者らはインタラクティブな大規模シミュレーションの実用化を目指した研究を行っている。特に、手元のパーソナルスーパーコンピュータと遠隔地にある大規模スーパーコンピュータやクラウドコンピューティング環境を連携させたインタラクティブな大規模シミュレーションのための遠隔操作フレームワークの研究を行っており、その実現に向けて『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を開発してきた[1]。これは遠隔地のスーパーコンピュータで実行中のシミュレーションの『一部』を手元のパーソナルスーパーコンピュータ(ローカルサーバ)でも同時に計算することで、ユーザからの対話要求(インタラクション)に対してローカルサーバが即答可能となり、これにより通信遅延を隠蔽し実時間インタラクションを可能にする手法である。現在の高性能プロセッサに必要なキャッシュ・メモリが主記憶上の「データ」の一部をキャッシュし、メモリアクセス遅延を隠蔽するのに対して、「シミュレーション・キャッシング」ではあたかも「計算」の一部をキャッシングしているかのように振舞う。

このような実時間遠隔シミュレーション技術が確立すれば、次に求められる課題は「ユビキタス」性である。そこで本研究では、高性能 GPU の搭載を初めとする携帯型端末の急速な性能向上と、携帯電話回線における通信帯域の高速化を受け、ユビキタスな対話的シミュレーション環境を世界に先駆けて構築するための要素技術の開発を行う。

2. 研究の目的

本研究は、遠隔地の大規模計算サーバ上で実行中のシミュレーションに対して、タブレット PC 等の携帯端末からユビキタスに実時間ステアリングを行う次世代の対話的スーパーコンピューティング環境の構築を目指したものである。その実現に向けた遅延補償と位置透過性確保の課題に対して、遠隔シミュレーションにおける通信遅延隠蔽を目的して研究代表者らが開発したシミュレーション・キャッシング技術[1]を応用するとともに、Web ベースのシミュレーション・インタフェース[2]を用いたユビキタスなシミュレーション・ステアリング技術の開発を行う。

3. 研究の方法

ユビキタスな対話的シミュレーション環境を実現するには、遅延補償と位置透過性確

保の課題を克服しなければならない。そこで、研究室の固定端末から1人の操作者のみが大規模シミュレーションにインタラクションを行うことを想定して今まで設計を行ってきた遠隔シミュレーションフレームワークをマルチユーザ対応に拡張するとともにユビキタスなインタラクションを可能にするための操作端末として携帯端末を想定したWeb ベースのシミュレーションインタフェースを開発する。具体的には、1)携帯端末相互の連携ならびに携帯端末群とシミュレーションサーバとの連携法の検討および実装、2)マルチクライアント環境を想定した一貫性制御手法の構築、3) HTML5 技術(WebGL, WebSocket 等)を応用したWeb ベースのシミュレーションインタフェースのマルチユーザ対応、4)Web サーバを介して計算サーバと連携するシミュレーション・フレームワークの構築ならびにマルチクライアントに対応可能なサーバアーキテクチャの構築を行う。

4. 研究成果

(1)ユビキタスな対話型シミュレーションのためのシミュレーションインタフェースの構築

WebGL 技術ならびに WebSocket 技術を利用したWeb ベースのシミュレーション・インタフェースを開発し、計算サーバ上のシミュレーションに対して携帯端末からWeb サーバを介してステアリングを行う環境を構築した。この際、複数のクライアントが一つのシミュレーションを共有可能なマルチクライアント対応のシミュレーション・インタフェースを実装した。図1はその概要である。

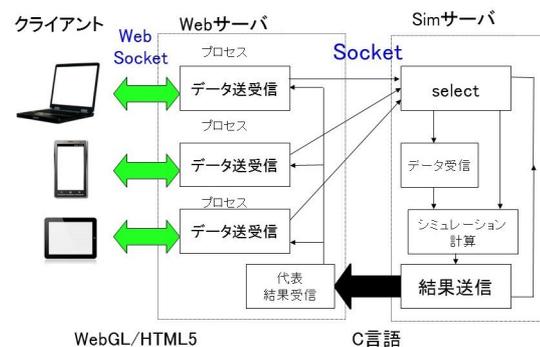


図1 Web ベースインタフェースを用いたユビキタス・シミュレーション環境の概要

複数クライアントに対する対話的なインタフェースをWebサーバに担当させることでシミュレーションサーバを煩雑な入出力処理から開放しシミュレーションに専念させられるだけでなく、遠隔地のクライアントとシミュレーションサーバをWebサーバを分界点として分離することでセキュリティの向上にも貢献が期待できる。クライアント端末においては、シミュレーション結果のグラフ

イカルな提示を WebGL を用いて行なうことで、WebGL に対応した Web ブラウザを搭載可能な任意の端末で結果提示が可能となった。また、提示された結果に対して、タッチパネルを通したタッチ操作やマウス等のポインティングデバイスを用いた座標情報を伴う対話的な入力が可能となり、シミュレーションに対する対話性が向上した。一方で、クライアント端末から入力がない状態においても、シミュレーション結果を随時クライアント端末に反映させるためには Web サーバからのプッシュ型配信が必要である。この目的のため、WebSocket を用いた双方向通信チャンネルをクライアント端末と Web サーバ間に設立し、結果の提示とステアリング情報の交換を可能とした。

さらにこの技術を応用し、複数の携帯端末を用いて仮想的な高精細モニタを実現するタイルドディスプレイのプロトタイプシステムを構築するとともに、端末台数に応じて解像度や表示速度を半自動で制御するダイナミックスケール機能のプロトタイプ実装を行った。

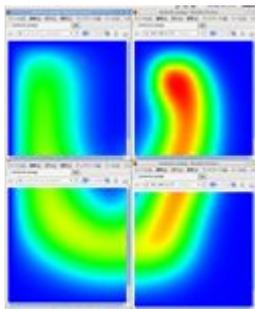


図3 分割表示



図4 タイルド
タッチパッド

図3はクライアント端末側で複数の Web ブラウザに分割してシミュレーション結果提示を行なうデモのスナップショットである。図4は4台のタブレット端末を用いてシミュレーションインタフェースを構築し運用している様子を示す。4台のタブレット端末を用いることで、表示可能な結果の解像度を向上するだけでなく、タブレット端末を Web サーバ間で複数の通信チャンネルを用いて通信を行うことで表示フレームレートの向上にも貢献できることを確認した。

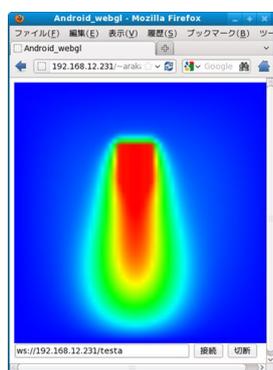


図2 Web ブラウザを用いたシミュレーションステアリング

(2)シミュレーション・キャッシングのマルチクライアント拡張に関する研究

従来のシミュレーションキャッシングの概念を拡張し多地点からの同時ステアリングに対応可能なサーバ間連携モデルの検討を行った。研究初年度である平成 25 年度は、一人のユーザのシミュレーションステアリングを複数人のユーザがモニタを行う Single Operator Multiple Monitor (SOMM) モデル、ならびに、複数のユーザが交互にステアリングを行う等、操作者間の直接的な相互干渉が十分に少ない状態で同時ステアリングを行う疎干渉な Multiple Operator Multiple Monitor (MOMM) モデルに対するモデル拡張を行った。

SOMM モデルの実装においては、図1の Web ベースインタフェースを応用した。従来のシミュレーションキャッシング・フレームワークではオペレータ端末が直接シミュレーションサーバと通信を行っていたが、一旦 Web サーバを中継させることで、Web サーバが受け取った情報を複数のクライアントに同時配信可能となった。

MOMM モデルへのモデル拡張においては、ステアリングを行なうクライアントごとに独立したシミュレーション・キャッシングのドメインを構築し、これらのドメイン間でシミュレーションサーバを共有するフレームワークを構築した。Web ベースインタフェースと同様に、任意のタイミングでクライアントドメインを構築し、実行中のシミュレーションへの介入・離脱を可能とした。これにより、通信回線の遮断等、特定クライアントの予測不可能な離脱が、実行中のシミュレーションを共有するクライアントの動作に波及しない仕組みを実現した。

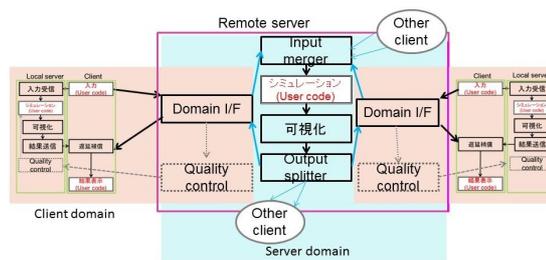


図5 シミュレーション・キャッシングのマルチクライアント拡張

これらの実装により、一人のユーザのシミュレーションステアリングを複数人のユーザがモニタを行うモデル、ならびに、複数のユーザが交互にステアリングを行う等、操作者間の直接的な相互干渉が十分に少ない状態で同時ステアリングを行う疎干渉なモデルが実現できた。研究最終年度には、両モデルに対して、一定の制約条件下で、一貫性制御の頻度を調整可能な緩い一貫性制御モデルを実装した。また、ローカルサーバ配下で

のモニタリングを前提とした多階層拡張も行った。

図6および7はリモートサーバで実行中のシミュレーションに対し、異なるシミュレーション空間に興味を持つクライアントAとクライアントBが実時間で介入している状況のスナップショットである。クライアントAは自分が行なったステアリング結果は保有しているが、クライアントBのステアリング結果は実時間では共有できていない(図6)。しかしながら、一貫性制御を行なうことで、リモートサーバが持つ情報がクライアントAのローカルサーバ反映され、それ以降のシミュレーションにおける境界条件として使用される。クライアントBでも同様にクライアントAのステアリングによる効果が一貫性制御のタイミングで反映される(図7)。

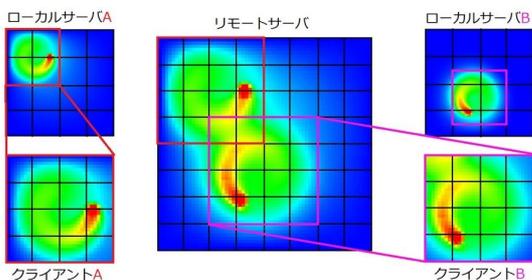


図 6 遠隔地の複数のクライアントによるシミュレーション空間の部分共有(一貫性制御直前)

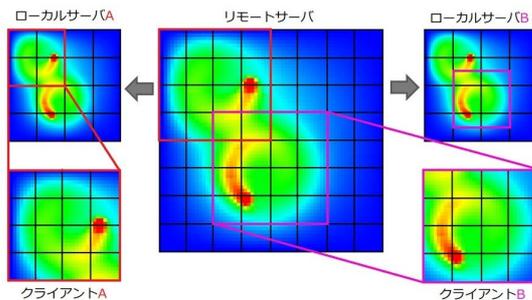


図 7 遠隔地の複数のクライアントによるシミュレーション空間の部分共有(一貫性制御直後)

(3)サイバーフィジカルシステムとの連携に関する検討

実世界と連携した対話的なアプリケーションの一つとして、行政機関等が管理するセンサからのリアルタイムデータをWeb上で公開するダイナミック・オープンデータをシミュレーションの入力に反映するとともに、静的な地図情報をシミュレーションの境界条件に使用したサイバーフィジカルシミュレーションのプロトタイプを構築した。



図 8. ダイナミックオープンデータと実時間シミュレーションの連携と統合解析支援

<引用文献>

[1]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.
 [2]山元他:対話型遠隔シミュレーションのためのWebベースインタフェースの実装, SACSIS2012, P3-8, 2012年5月

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計6件)

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(査読なし)

<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(査読あり)
 DOI 10.1109/CIS.2014.107

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ド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.1-8, 2014(査読なし)

<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.28, pp.1-8, 2014(査読なし)

<http://id.nii.ac.jp/1001/00098691/>
 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 (査読あり)
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
あり)
<http://id.nii.ac.jp/1001/00092235/>

〔学会発表〕(計5件)

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)

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)

山田卓司, 岡田英晃, 福間慎治, 鶴飼利
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ティング分
解, 映像情報メディア学会 メディア工
学8月研究会, 2014年8月19日, 作並
温泉(仙台市)

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.interactivesupercompting.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)
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

柴田 直樹 (Shibata, Naoki)
山本 優 (Yamamoto, Yu)
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

福間 慎治 (Fukuma, Shinji)
福井大学・大学院工学研究科・准教授