

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：13401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11744

研究課題名（和文）頑健な弱連携分散協調型高性能エッジコンピューティングフレームワークの構築

研究課題名（英文）Development of Rubust Framework for Distributed Collaborateve High Performance Edge Computing

研究代表者

森 眞一郎（Mori, Shin-ichiro）

福井大学・学術研究院工学系部門・教授

研究者番号：20243058

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、自律動作可能で地理的に分散されたサーバ群を間接的に連携させる連携機構を導入することで、個々のサーバ単独では得られない高い性能（計算精度や計算速度）を得るフレームワークの提案、開発を行った。サーバ間連携のために階層化の概念を導入するとともに、連携をベストエフォート型の弱い連携とすることで、大規模連携システムで課題となるシステム全体に跨る機能不全を回避し障害発生時の頑健性を保証した。

開発した連携機構を用いた実証実験では、南米に配置したサーバを含む3拠点間で3日連続の連携運用に成功した。また、意図的に発生させた通信障害への耐性（自動縮退運用）や障害復旧時の自動復旧の一連の動作も検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

様々な場所で大量のデータが発生するIoT環境において、データ集約が必要な現在の集約型のクラウド計算技術は、通信帯域の不足や応答時間の遅さが実時間応答性に関する性能限界を規定してしまう。そのため次世代のクラウド技術として、自律・分散・協調を実現する新しい高性能エッジコンピューティングアーキテクチャの開発が喫緊の課題となっている。

この課題に対して、本研究では自律動作可能な複数のサーバを階層的に連携集約し、間接的な協調連携を行わせることで、個々のサーバ単独では得られない質（計算精度や実時間応答性等）の高い計算サービスの提供と障害耐性を持った広域分散型の大規模連携シミュレーション環境を構築している。

研究成果の概要（英文）：In this research, they have developed a distributed collaborative simulation framework to improve the accuracy of simulation without introducing unacceptable delay. The key component of this framework is a coordination mechanism that indirectly and hierarchically coordinates groups of autonomous servers that are geographically distributed. By making the coordination non-strict, or a weak, best-effort style, this framework obtains the robustness against communication failures so that it became free from system-wide failures that are an issue in large-scale coordinated systems. The framework also has automatic functions for the graceful degradation and the recovery at the occurrence of and recovery from failures. In their 3 days long continuous experimental study with three servers placed South America and Japan, they confirmed the functionality of the framework. They also confirmed the sustainability of their frame work by intentionally introducing the communication failure.

研究分野：計算機システム

キーワード：高性能計算 耐故障性 エッジコンピューティング 並列・分散処理 防災 インタラクティブシミュレーション サイバーフィジカルシステム ヒューマンインザループ

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

様々な場所で大量のデータが発生する IoT 環境において、データ集約が必要な現在の集約型のクラウドコンピューティング技術は、通信帯域の不足や応答時間の遅さが実時間応答性に関する性能限界を規定してしまう。そのため次世代のクラウド技術として、自律・分散・協調を実現する新しい高性能エッジコンピューティングアーキテクチャの開発が喫緊の課題となっている。実時間性が重要な自動運転制御等への応用ではエッジノードに近いエッジサーバで高性能計算を行うエッジヘビーコンピューティングがすでに注目されているが、実時間性確保のためのセントラルサーバからの処理のオフロードが主眼である。エッジノード間の協調により処理の質を高めるという発想には至っていない。HPC 分野においても広域分散した大量のセンサ情報等を活用してシミュレーションの高精度化を図るデータ同化アプリケーションや Cyber Physical Simulation が急速に普及しはじめているが、実時間応答性確保の課題と同時にデータ氾濫の課題解決が必要不可欠である。さらに、近年多発している災害にともなう局所的なエッジノードの停電や通信不能等の予測不能な障害が連携体システム全体に波及しない頑健性の高いシステム構築が強く求められている。

2. 研究の目的

本研究ではスーパーコンピュータやクラウドコンピュータ等のセントラルサーバと地方の自治体や大学の研究室等で利用されるエッジサーバを複数連携させることで、個々のシステム単独では得られない質(計算精度や実時間応答性等)の高い計算サービスを提供する高性能協調計算機構の提案とそれを実現するシミュレーションフレームワークのプロトタイプ開発を目的とする。計算サービスの質の向上に対する基本的な発想は、セントラルサーバ上で実行中の実時間シミュレーションに対して、当該シミュレーション結果を共有する個々の地域ユーザが自分の興味のある領域(Region of Interest)に限定した最新かつ詳細な入力データに基づく高精度の計算を行ない、その結果の中から必要なものだけを選択的かつボランタリにセントラルサーバ上のシミュレーションに提供することで連携体全体としてシミュレーションの質の向上とデータ氾濫の回避を図るものである。エッジサーバ上でシミュレーションがセントラルサーバへ集約される入力データのフィルタリングに寄与する効果を活用する。

本研究で提案する手法は領域の細分化や細分化後の計算結果の提供が強制ではなくあくまでもシミュレーション結果を共有している個々の地域ユーザの判断にゆだねられており、ユーザの協力が得られた場合にボランタリな改善が得られるという点に特徴がある。また、理論的に確約された改善を目指すのではなく、自発的かつベストエフォート型の改善を許容することで、システム間の連携を弱い連携とし相互依存度を低減することが可能となり、ボランタリな参加者の挙動がシステム全体の動作に悪影響を与えない頑健性を保証する。これにより、ボランティアの参加を容易にするとともに、ボランティア数に応じたベストエフォートの計算精度改善を得る協調計算環境の実現を目指すのが本研究である。

3. 研究の方法

本研究では、前述の研究成果を背景に、次世代の実時間スーパーコンピューティング環境を実現する手法の一つとして、広域に分散しそれぞれが独自に実時間シミュレーションを実行可能な複数のエッジサーバ群とスーパーコンピュータ等のセントラルサーバを、我々が開発したシミュレーションキャッシング技術を拡張して弱い協調関係で連携させることで、より高精度な実時間シミュレーションを可能にする広域連携型の実時間シミュレーションフレームワークを構築する。

そのため、a)まず最初に個々の計算機が自律性を保ちつつ相互連携の効果を得る弱連携クラウド構成法を検討しフレームワークに求められる機能を精査し、b)次にシミュレーションキャッシング・フレームワークの双方向一貫性制御を主とした具体的な拡張を行い、フレームワークのプロトタイプを作成する。これと並行して、c)時系列シミュレーションを想定して開発した実時間計算手法をフレームワークに組み込むための機能拡張を行う。

4. 研究成果

4.1 シミュレーションキャッシングを用いた頑健な弱連携エッジサーバ構成法に関する検討

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、一つの中央サーバ(CS)に対して複数のエッジサーバ(ES)が主従の関係で連携しており、ESでの入力情報はCSに集約されるもののシミュレーション結果に関してはCSの結果がESに反映される一方向の情報交換であった。

この際、特定の ES で通信障害が発生した場合、CS は当該 ES との連携を解除するだけでなく、障害復旧時には、ES を再起動し新たな連携を構築するだけでよかった。

これに対して本研究では、地理的に分散したエッジサーバ(ES)間が対等な関係で、かつ、義務としてではなく必要に応じて連携を行う弱連携のシミュレーションフレームワークを構築した。この際、ES 間を直接連携させるのではなく、概念的に上位に位置づけられる大規模計算サーバ(CS)を介した間接連携(図1)とすることで、サーバ間で発生する予期できない通信障害が連携体全体のブラックアウトを発生させない頑健なフレームワーク(以下 SilkRoad と呼ぶ)を構築した。

この際、従来のシミュレーションキャッシングとは異なり、SilkRoad では ES が行っている計算自体が重要であり ES の安易な再起動が困難である。そこで、連携フレームワークが提供する機能のうち、地理的に異なる拠点にあるサーバ間の通信を司る連携通信機構と、拠点内でのシミュレーション実行管理を行う機構を分離し、異なる MPI ドメインとして実装する方針をとった。これにより、通信障害発生時の再起動を連携通信機構のみに限定し、障害発生中も個々の拠点では自律的にシミュレーションを継続することで、個々のサーバの自律性(計算の持続可能性)と、連携体としての頑健性を保証した(図2)。

なお、本研究で開発したフレームワークは、シミュレーションの内容自体を限定するものではないが、連携計算モデルの一例としては、気象シミュレーションに代表される物理現象のシミュレーションがあり、上層サーバが低解像度ではあるが広領域を担当し、下層サーバが担当領域は狭いが高解像度の計算を行うような弱連携モデルが想定できる。

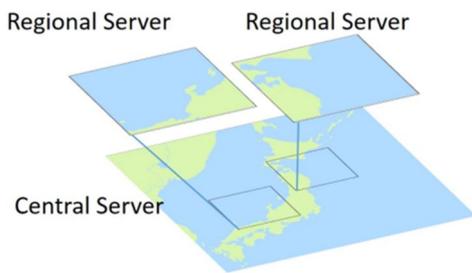


図1 上位サーバを介した間接連携

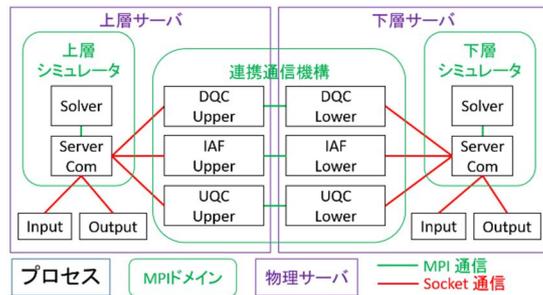


図2 MPI 通信ドメイン分割による頑健性の保証

次に、通信障害を検知し、障害復旧時にサーバ間の連携を自動的に復活させる機構の開発を行った。ここでは、SilkRoad の本体ではなく、外部の監視機構として拠点間での ICMP Echo メッセージによる疎通確認を行う Heart Beat ベースの監視機構を作成するとともに、復旧直後の不安定状態終了後に SilkRoad フレームワークの該当する連携通信機構のみを自動で再起動するスクリプトを作成し、障害からの自動復旧を可能とした。シミュレーションの再起動を伴う復旧ではスナップショットの作成、再起動後のスナップショットの読み込み等、対象となるシミュレーション規模に応じた大きなファイルアクセスオーバーヘッドを伴うが、我々の実装ではサーバ間の往復通信時間程度の遅延での復旧が可能となった。

さらに、上層サーバと下層サーバの対称性を利用し、両方の機能を持つ中間サーバの実装を行うことで、任意レベルに拡張可能なフレームワークの多階層化を行った。

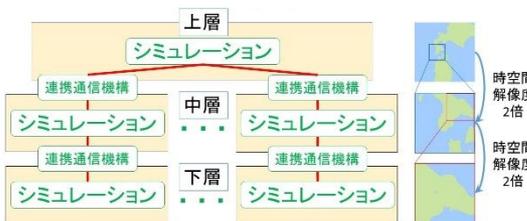


図3 中間サーバ導入による多階層連携

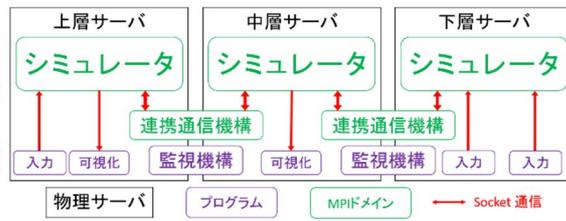


図4 障害検知、自動復旧機能を実装した多階層連携フレームワークの概要

開発した連携フレームワーク SilkRoad の超広域連携環境下での実証実験として、サンパウロ地域、大阪地域に設置した ASW EC2 サーバと福井大学内のサーバを弱連携させた協調シミュレーションを行った。通信遅延の大きな広域連携環境において 3 日間連続した協調シミュレーションの安定動作を確認した。また、開発したシステムの超広域連携環境下での頑健性を検証する実験として、1)強制的に発生させた通信障害に対して、連携フレームワークが障害を検知し自律的に連携を解除し障害箇所で分離された 2 つの独立したシミュレーションシステムとして縮退運用を継続できること、ならびに、2)通信障害からの復旧を自動検知し、分離されたシステム間を再度連携環境として復旧できることを確認した。

4.2 シミュレーションキャッシング・フレームワークの双方向一貫性制御拡張

(1) 階層間の双方向一貫性制御機構の実装

最も実用的と考えられる連携環境に対応した双方向一貫性制御機構を実装した。具体的には、上層サーバが低解像度ではあるが広領域を担当し、下層サーバが担当領域は狭いが高解像度の計算を行うような弱連携モデルを想定した実装を行った。

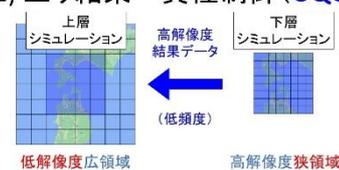
この際、各サーバで実行されるシミュレーション結果の一貫性制御と、下層サーバから上層サーバへ向かって順次収集される環境センサ等からの入力情報の集約という形での一貫性制御が必要となる。さらにシミュレーション結果の一貫性制御に関しては、下層での高解像計算結果の上層サーバへの伝達(上り結果一貫性制御 DQC)と、その逆の上層サーバからの広領域の情報を下層サーバへの伝達(下り結果一貫性制御 UQC)の2種類が必要である。

UQC では、下層サーバの計算結果が計算領域内において有意に正確であるという前提のもと、上層サーバの計算解像度に応じた解像度変換を行ったのち送出手。UQC はデータ量が多くなるため一貫性制御の頻度は比較的強く抑えなければならない。

DQC では、下層サーバが単独では知りえない計算領域外の情報(特に境界付近の境界情報)を上層サーバから伝達することで下層サーバの計算精度改善に貢献する。そのため DQC のデータ量は UQC に比べて次元が低くなるため、UQC に比べて高い頻度での一貫性制御が可能である。

入力情報の集約に関してはそれぞれの時刻でのシミュレーションにリアルタイムで反映させることが望ましいため高い頻度(基本的には毎タイムステップ)で集約を行う必要がある。しかしながら、連携の多階層化、同一階層内での注目領域の増加により収集するデータ量が爆発的に増加する可能性を秘めている。そのため、入力データの重要度を考慮したフィルタリングの実装が必須となる。本研究では最も基本的な時空間情報に基づくフィルタリングを標準機能で実装するとともに、ユーザが独自のフィルタを設計してフレームワークに提供する機能を用意した。

(1) 上り結果一貫性制御(UQC)



(2) 下り結果一貫性制御(DQC)



(3) 入力集約制御(IAF)

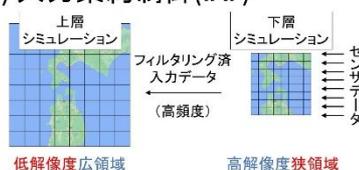


図 5 3 種類の一貫性制御

(2) ロールバック型一貫性制御の実装可能性に関する検討

これまでに実装した階層間の双方向の一貫性制御機構は一貫性制御の間はシミュレーションが中断してしまう中断型の一貫性制御であり、一貫性制御のタイミングにおいて実時間性が保証できない可能性が存在する。そのため、シミュレーションの中断を回避可能なロールバック型の一貫性制御の実現可能性について検討を行った。ロールバック型制御の実装ではリアルタイムのシミュレーションを継続しつつ、一貫性制御開始時点に遡って最新の初期値をもとにシミュレーションの再実行が必要となり、一時的に計算負荷が増大する。この一時的な計算負荷の増加を吸収するため、CPU 内蔵型 GPU を活用する手法を実装し予備評価を行った。

電荷の位置が徐々に変化する 3 次元静電場シミュレーションと計算結果のボリュームレンダリングを用いた可視化を行った。Intel 社の Core i5-10400 (内蔵 GPU : UHD630) を用い、内蔵 GPU で可視化を行わせたところ、可視化処理と並行して 2 ステップ分のシミュレーションを実行することができた。GPU を用いた高速化で課題となる CPU-GPU 間のデータ転送オーバーヘッドは顕在化しなかったが、内蔵 GPU と CPU 内の Core とのメモリアクセス競合により、理論上の高速化効率は得られなかった。一方で、この実験では外部 GPU は未使用のため、可視化処理が不要なロールバック処理を外部 GPU に割り当てる連携実行によりさらなる高速化の可能性があると分かった。

(3) 領域気象シミュレーション WRF を用いた連携実験

実用的な大規模シミュレーションプログラムを用いた SilkRoad フレームワークの実証実験として、多くの研究者が利用している領域気象シミュレーション WRF に我々のフレームワークと連携するための連携機構を実装し双方向一貫性制御による精度改善の効果を確認した。また、WRF に組み込まれている多重解像度計算機能を用いて一台のサーバで多重解像度計算を行った場合と複数台のサーバを SilkRoad で連携させた計算を比較したところ、注目領域が一か所の場合においても SilkRoad 連携の方が高速であ

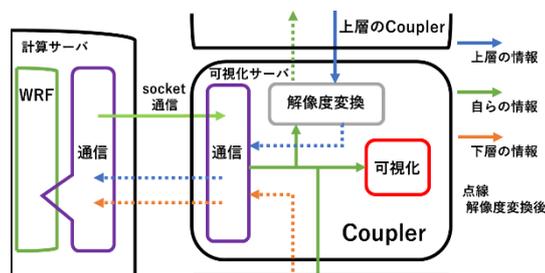


図 6 領域気象シミュレーション WRF の組み込み

ることを確認した．多数の注目領域が存在する場合には SilkRoad 連携がさらに有利であることが分かった．一方でサーバ間での大量のデータ交換に伴う通信速度低下を抑えるための一貫性制御頻度の動的な適応制御の検討が必要であることも確認した．

4.3 時系列シミュレーションの実時間処理技術との連携に関する研究

(1) 実時間応答性と計算精度の両方を図るシミュレーションフレームワークの構築

『投機的手法を用いたシミュレーション手法』と『連続性を考慮した補正計算を用いたシミュレーション手法』を併用し実時間応答性と計算精度の両方を改善するフレームワークを開発し所望する性能改善が得られことを確認した．具体的には，係数行列変化直後の差分補正による逆行列計算中に，前処理行列を投機計算する反復法を用いた解計算を行うことで，若干の計算精度低下とのトレードオフにより実時間性を保証するとともに，逆行列の導出が完了した時点以降では行列ベクトル積による高速かつ高精度な計算に切り替える実時間シミュレーションフレームワークを構築した．

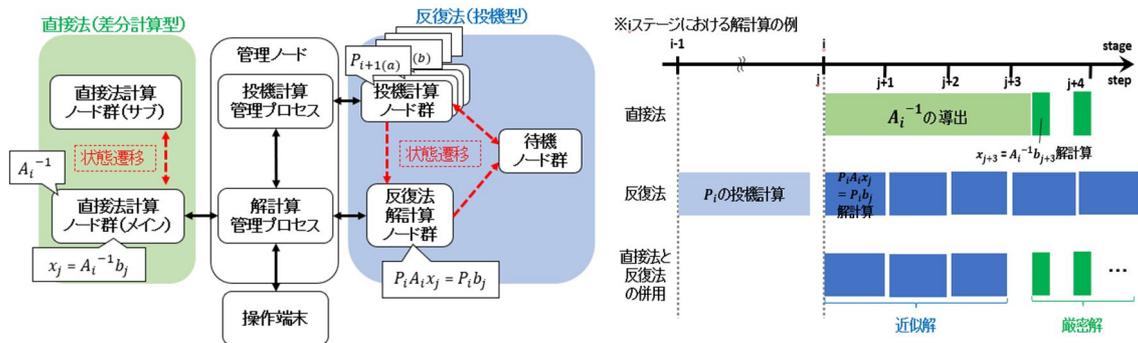


図 10 投機的手法を用いた反復計算法と差分補正型の直接計算法を併用した実時間応答性と計算精度の改善

(2) 計算資源が動的に変動する環境下での動的マルチキャスト通信ライブラリの構築

並列シミュレーションプログラムの開発において多用される MPI 通信ライブラリには，実行環境に応じてユーザが選択可能な複数のブロードキャストアルゴリズムが実装されている．マルチキャストのグループが静的に固定されている場合には，当該グループを対象としたグループ内ブロードキャストにより実質的なマルチキャストが可能である．しかしながら，実行中に配信対象が動的に変動する状況下での利用は困難である．計算資源の一部を動的に割り当てつつ投機計算の並列処理を行う我々の実時間シミュレーションフレームワークでは，投機計算を行う複数ノード内で実行されるシミュレーションプログラム中の集団通信が，フレームワーク全体でみるとマルチキャスト型の集団通信となり，MPI 通信ライブラリの標準の集団通信では実装ができない．そこで，独自の動的マルチキャスト通信ライブラリを設計するとともに，計算機環境や通信データ量に応じて複数のブロードキャストアルゴリズムを自動切換えする機構を実装した．

(3) 行列サイズが時系列変化する場合にも適用可能な補正計算法の開発

シミュレーション対象となる系が連続的な微小変化を繰り返す場合におけるシミュレーションの高速化手法として，我々の先行研究では，Sharman-Morrison-Woodbury 公式(以下 SWM 公式と呼ぶ)を用いた差分補正による逆行列の高速計算手法を開発してきた．この際，SWM 公式では逆行列導出の対象となる行列のサイズは変化前後で同じでなければならない．しかし，破壊変形等のシミュレーションでは，変化前後で行列サイズが変化する場合が存在する．このような行列サイズが時系列変化する場合においても，SWM 公式を適用可能にするアルゴリズムを開発した．

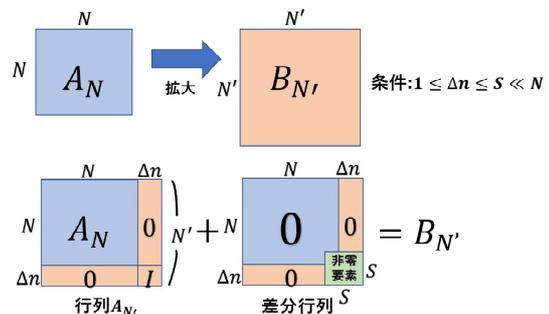


図 11 行列サイズ拡張に対応した SWM 計算手法

基本方針としては，サイズ N の行列 A_N をサイズ n の単位行列を用いてサイズ $N+n$ の行列 A_{N+n} に拡張した後， A_{N+n} の逆行列に対して SWM 公式を適用することで，サイズ拡張後の行列 $B_{N'}$ の逆行列を導出する．この際， A_N の逆行列が既知であれば， A_{N+n} の逆行列は理論上自明である．

しかし，問題サイズの拡張が繰り返し発生すると，計算に必要なメモリ領域の再割り当てや，並列処理時の分割境界の変動などの様々な問題が発生する．そこで，通信，計算，ならびにメモリ領域の再割り当てをオーバーラップ実行することで実行時間の高速化を図る並列アルゴリズムを検討し実装を行った．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Shinji Fukuma, Yoshiro Iwai, Shin-ichiro Mori	4. 巻 E106-A
2. 論文標題 i-MSE: A Fine Structure Imaging for Surface and Its Inside of Solid Material with Micro Slurry-jet Erosion Test	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 1376-1384
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transfun.2023SMP0005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Horiguchi Ryohei, Mizutani Satoshi, Fukuma Shinji, Mori Shin-Ichiro	4. 巻 -
2. 論文標題 An Implementation of Interactive Simulation on the Sensable Simulation System:Scube - Case Study I-	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of 23rd ACIS Int'l Summer Virtual Conf. on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing	6. 最初と最後の頁 95-100
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/SNPD-Summer57817.2022.00024	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tomoki Okuni, Shinji Fukuma, Shin-ichiro Mori	4. 巻 -
2. 論文標題 An Iterative Method of LAD Regression using Gradient Boosting and Its Application to Image Coding	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of Int'l Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia 2022	6. 最初と最後の頁 96-100
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.34385/proc.69.RS2-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山田竜輝, 福間慎治, 森眞一郎	4. 巻 2020-HPC-175, No.10
2. 論文標題 MPI環境下での動的マルチキャストのための 配信アルゴリズムのパラメータ最適化	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 情報処理学会研究報告	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 浅越陽一, 周 睿, 福間慎治, 森真一郎	4. 巻 27
2. 論文標題 簡易センサを用いた短周期観測データの継続的アーカイブとオープンデータ化に関する研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 福井大学地域環境研究教育センター研究紀要	6. 最初と最後の頁 97-104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 畑中 理, 福間慎治, 森真一郎	4. 巻 SIS-2020-57
2. 論文標題 画像処理を用いた注視点計測の精度向上に向けた顔器官特徴量の検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 信学技報告	6. 最初と最後の頁 120-125
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計9件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 Zhoukai Wang, 森真一郎
2. 発表標題 Dynamic route planning approach with collision avoidance in the 3-Quads distributed system
3. 学会等名 電気・情報関係学会北陸支部連合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 平山裕月, 高橋絢大, 福間慎治, 森真一郎
2. 発表標題 CPU内蔵GPUを用いた実時間シミュレーションの高速化支援
3. 学会等名 電気・情報関係学会北陸支部連合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大吉泰嗣, 田中 涼, 福間慎治, 森真一郎
2. 発表標題 通信障害耐性を備えた実時間分散協調型シミュレーションフレームワークSilkRoadの広域連携環境での実機実装と検証
3. 学会等名 情報処理学会 第86回 全国大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 平山裕月, 福間慎治, 森真一郎
2. 発表標題 実時間分散協調型シミュレーションフレームワークSilkRoadにおけるデータの重要度を考慮した入力フィルタリング法
3. 学会等名 情報処理学会 第86回 全国大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 小園 伸弥, 福間 慎治, 森 真一郎
2. 発表標題 SMV公式に基づく逆行列計算高速化手法のOnline逐次学習機能付きELMへの応用
3. 学会等名 電気・情報関係学会北陸支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森 真一郎, 南里 豪志
2. 発表標題 通信障害耐性を備えた分散協調型シミュレーションフレームワークSilkRoadの3拠点連携実験
3. 学会等名 情報処理学会 全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三宅 武将, 福間 慎治, 森 眞一郎
2. 発表標題 分散協調型シミュレーション連携フレームワークSi lkRoadの多階層化モデル0の提案
3. 学会等名 電気・情報関係学会北陸支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田 竜輝, 福間 慎治, 森 眞一郎
2. 発表標題 実時間シミュレーションにおける応答性確保のための直接法と投機的手法を用いた反復法の併用モデル
3. 学会等名 電気・情報関係学会北陸支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三宅武将, 張家超, 福間慎治, 森眞一郎
2. 発表標題 双方向一貫性制御対応シミュレーションキャッシングSi lkRoadのバックエンド拡張
3. 学会等名 電気・情報関係学会北陸支部連合大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>森・福間研究室 HPCグループ紹介 https://hpc.fuis.u-fukui.ac.jp/ 森・福間研究室 https://sy1ph.fuis.u-fukui.ac.jp/</p>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	福間 慎治 (Fukuma Shinji)	福井大学・学術研究院工学系研究部門・准教授 (13401)	
研究協力者	三宅 武将 (Miyake Takeru)	福井大学・大学院工学研究科・博士前期課程学生 (13401)	
研究協力者	山田 竜輝 (Yamada Ryuki)	福井大学・大学院工学研究科・博士前期課程学生 (13401)	
研究協力者	平山 裕月 (Hirayama Yuzuki)	福井大学・大学院工学研究科・博士前期課程学生 (13401)	
研究協力者	上西 青波 (Uenishi Seiha)	福井大学・大学院工学研究科・博士前期課程学生 (13401)	
研究協力者	大吉 泰嗣 (Oyoshi Taishi)	福井大学・大学院工学研究科・博士前期課程学生 (13401)	
研究協力者	棚瀬 弘大 (Tanase Koudai)	福井大学・大学院工学研究科・博士前期課程学生 (13401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------