

平成 30 年 5 月 29 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00422

研究課題名(和文) Webを用いたリアルタイム協調作業のための適応型同期最適化アルゴリズムの実現

研究課題名(英文) Developing an Adaptive Synchronization Optimization Algorithm for Real-time Collaborative Works on the Web

研究代表者

新谷 虎松 (Shintani, Toramatsu)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：00252312

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：Webを用いた協調作業をリアルタイムにすることは、多様な協調を可能にし、イノベーションを活性化するための喫緊の課題である。Webアプリケーションを協調可能に改修する場合、実行環境を考慮した環境に適応した協調作業が可能にすることが要求される。HTML5のCanvas要素を用いて、Web上での手書き文字や図形の描画などの同期を考慮した場合、無駄な描画が発生するという課題を解決する必要がある。本研究では、描画内容と実行環境を考慮して適応的に最適な同期手順を導出するために、Canvasの最適な階層構造および実行環境に適した同期情報の表現形式を高速に最適化するための高度なアルゴリズムを新たに実装した。

研究成果の概要(英文)：Collaborative Web applications for editing require synchronization of DOM objects. However, existing approaches cannot solve the canvas drawing delay problem, because a canvas DOM element should clear and redraw all of the drawings on updating or removing some drawings. We developed a new canvas mechanism to reduce the delays for collaborative Web applications. We focused on drawing delays, which are a primary bottleneck of synchronization of objects on a canvas. The new canvas mechanism achieves the automatic assignment of canvas objects to elicit high performance under unknown drawing-frequency. The automatic assignment algorithm is inspired by the generational garbage collection. We implemented and evaluated the mechanism, and then the mechanism elicited higher performance up to 3.5 times faster when the canvas had the sufficient number of layers. The mechanism enhances the potential of the Web applications running within low performance devices such as tablets and smartphones.

研究分野：人工知能

キーワード：ウェブインテリジェンス ウェブ協調作業 リアルタイム同期 HTML5 描画アルゴリズム

1. 研究開始当初の背景

Webを用いた協調作業(Web協調作業)をリアルタイムにすることは、多様な協調を可能にし、イノベーションを活性化するための喫緊の課題である。さらに、Webアプリケーションを協調可能に改修する場合、実行環境(3G通信のような狭帯域の通信環境やスマートフォンなどの携帯端末など)を考慮した環境に適応した協調作業が可能になることが要求される。リアルタイムなWeb協調作業のための代表的な要素技術として、Operational Transformation (OT) および Differential Synchronization (DS)がある。これらの手法では、DOM要素単位の差分更新における整合性維持の実現に関する研究が行われており、現在でも活発に研究が行われている。一般に、新たにHTML5のCanvas要素を用いて、Web上での手書き文字や図形の描画などの同期を考慮した場合、無駄な描画が発生するという課題を個別に解決する必要がある。例えば、HTML5におけるCanvas要素に関して、ある状態Xからある図形Fを移動して状態Yにするために、無駄な再描画処理が必要であり、Web協調作業のリアルタイム性が低下する原因になる。また、描画オブジェクトの増加時に処理速度が急激に低下する問題が生じる。さらに、図形Fは頻繁に移動するが、それ以外はほとんど移動しない場合でも、無駄な描画処理が必要となり、Web協調作業のリアルタイム性を悪化させる。すなわち、図形の描画処理の多いWebアプリケーションをリアルタイムな協調作業を可能にする場合、既存手法をベースにした新たな同期アルゴリズムの実装が必要であり、また、制約のある実行環境(狭帯域通信など)に適用可能なリアルタイム性の向上が課題となる。

申請者らは、本申請課題の先行研究として、Webに基づく図形描画の同期性能の向上に関連して、Generational Layered Canvas アルゴリズム(GLC)を開発している。GLCでは、描画内容の更新頻度の局所性に注目することで、リアルタイム性と既存アプリケーションへの導入の容易さ

を実現している。GLCでは、描画オブジェクトの更新頻度毎に階層化されたCanvasを生成し、描画オブジェクトを各階層に割り当てて重畳表示することで、描画オブジェクトの更新に係る余計な再描画処理を劇的に減らした。しかしながら、GLCでは描画オブジェクトの前後関係の安定性(前後関係の整合性が維持される)を無視することで問題を単純化した上で高速化を達成しており、前後関係の安定性が要求されるアプリケーションへの適用可能領域を広げるための新たなアルゴリズムの構築が必要である。さらに、描画内容と実行環境を考慮して適応的に最適な同期手順を導出するためには、Canvasの最適な階層構造、および実行環境に適した同期情報の表現形式を高速に最適化するための高度なアルゴリズムを新たに実装することが必要である。

2. 研究の目的

本研究では、以下の3つの項目を明らかにする。研究項目1は、本研究のコアの部分であり、研究項目1の成果を用いて研究項目2を推進する。逆に研究項目2から研究項目1に関連して新たな手法を得る可能性もある。研究項目3は、本研究成果の有用性の実証実験として意味がある。

【研究項目1】階層型描画アルゴリズムの実現

先行研究で開発済みのGLC手法を改良する。GCLは、HTML5のCanvas要素を用いたWebアプリケーションを対象にしてCanvasの描画速度の向上を実現している。具体的には、GCLで不十分であった描画オブジェクトの前後関係(どの描画オブジェクトが前面か)の安定性(描画オブジェクトの前後関係の整合性の維持)を実現しつつリアルタイムな同期を可能にするための描画オブジェクトを階層化し重畳表示を可能にする新たな階層型描画アルゴリズムを実現する。ここでは、最適な階層構造をリアルタイムに導出するという困難な問題を解決する。また、GLC手法と実行速度およびメモリ使用量を比較し、安定性の維持に伴うオーバーヘッドを評価する。

【研究項目2】適応型同期最適化アルゴリズムの実現

実行環境に対して適応的に同期情報の送信方法および描画方法を最適化するためのアルゴリズムを実現する。具体的には、通信制約や端末間の計算能力の違いを考慮して多様な実行環境における同期手法の最適化のためのモデルを明らかにし、そのモデルに基づく最適化アルゴリズムを設計する。ここでは、実行環境における不確定性をリアルタイムにパラメータ化する課題を克服する必要がある。さらに、開発したアルゴリズムのライブラリ化、および同期用サーバを実装し、本手法の既存アプリケーションへの組み込みを可能にする。

【研究項目3】リアルタイム協調作業用アプリケーションの試作と評価

既存の Web アプリケーションへの組み込み、および実環境での運用により本提案手法の有効性を評価する。端末としては、PC、スマートフォン、およびタブレット端末を想定し、通信環境としては、Wi-Fi およびセルラネットワーク(3G~4G)を想定した評価を実施する。特に低品質(狭帯域、高エラー率など)のネットワークにおける性能を詳細に評価する。

3. 研究の方法

申請者は、先行研究で Web を用いたリアルタイム協調作業のための同期アルゴリズムを開発している。本研究では、描画オブジェクトの前後関係に安定的な新たなリアルタイム同期アルゴリズムの実現を目指す。次に、実行環境に対して適応的に同期内容および描画方法を最適化するためのアルゴリズムを実現する。本技術によって、既存の Web アプリケーションを利用して効果的にリアルタイム協調作業を可能とするシステムが実現する。具体的に、次の3つの研究項目(【研究項目1】階層型描画アルゴリズムの実現、【研究項目2】適応型同期最適化アルゴリズムの実現、【研究項目3】リアルタイム協調作業用アプリケーションの試作と評価)を順に推進する。ここでは、

【研究項目1】の成果の精緻化と、その研究成果に基づいて【研究項目2】および【研究項目3】の研究課題に着手する。具体的には、提案アルゴリズムを試作し、実環境を用いて動作試験と評価・検証を行う。

(1) 階層型描画アルゴリズムの実現

リアルタイムな Web 協調作業のための同期アルゴリズムを実現するために、描画オブジェクトの再描画処理の高速化を実現する。具体的には、再描画処理に必要な時間を一定時間内に抑えるためのアルゴリズムを設計する。

本研究課題では、次の方策に従い新たな階層型描画アルゴリズムを設計する。

方策 A: 初期状態において、 $|L| < k$ (k は定数) となるように相当数の Canvas 要素 L を生成し重畳表示する。方策 B: 描画オブジェクトおよび L の前後関係を考慮して各描画オブジェクトを各 L に割り当てる。方策 C: 描画オブジェクトの増減に対して、各 L の分割/結合を行う。方策 D: 複数の再描画処理をまとめる。

先行研究で開発した GLC アルゴリズムでは、実行時の描画頻度の計測により描画オブジェクトの順に、各 L に描画オブジェクトを割り当てた。また、必要に応じて L を増加させた。これにより高描画頻度の描画オブジェクトを集め、同じ L 内の複数の再描画対象オブジェクトの描画処理をまとめて実行することで、再描画における無駄を減らした。しかし、初期状態では各描画オブジェクトの更新頻度が未知であるため、再描画が遅いという問題があった。方策 A は、この問題に対応するために、初期状態から多数の L を生成し、最長の再描画時間を最短化することを目指す。方策 B は、前提 1(描画オブジェクトの前後関係を維持する必要がある)を実現するために必要な処理である。GLC では、単色の描画オブジェクトを想定していたため、前提 1 を考慮する必要が無かった。方策 C は、本研究項目の最重要項目である。ここでは、 L を適切なタイミングで分割するための効果的な方法を検討する。様々な分割判定基準および分

割方法を検討する必要がある。例えば、前後関係による分割のみならず、平面的な分割も検討する。すなわち、描画領域領域を平面的に分割する。平面的に分割することで、各Lの表示面積を減らすことが可能になり、これにより使用メモリ量の減少により前提2Lの個数が増加すると、急激な性能低下を引き起こす)への対策となり得る。方策Dに関しては、ユーザの体感的なリアルタイム性を保ちつつ、再描画処理に要する計算時間を減らすために、複数の再描画要求を一括処理するための方法を検討する。さらに、実現した階層型描画アルゴリズムを利用したシステムを試作・評価する。本試作システムでは、本アルゴリズムの多様な状況における性能を評価するために、急激な性能低下を引き起こすLの個数、および描画オブジェクトの更新頻度の分布を調整可能にする。

(2) 適応型同期最適化アルゴリズムの実現

実行環境に対して適応的に同期内容および描画方法を最適化するためのアルゴリズムを実現する。具体的には、多様な実行環境における同期手法の最適化のためのモデルを明らかにし、そのモデルに基づく最適化アルゴリズムを設計する。描画内容と実行環境を考慮して適応的に最適な同期手順を導出するためには、Canvasの最適な階層構造、および実行環境に適した同期情報の表現形式を決定するためのパラメータをオンラインで高速に最適化するためのアルゴリズムを実現する。ここでは、実行環境における不確定性をリアルタイムにパラメータ化する課題を克服する必要がある。同期情報の抽出、同期情報の決定、同期情報の配信、および同期内容の描画の全行程にわたり全体的な最適化を行う。さらに、開発したアルゴリズムのライブラリ化、および同期用サーバを実装し、本手法の既存アプリケーションへの組み込みを可能にする。

(3) リアルタイム協調作業用アプリケーションの試作と評価

リアルタイム協調作業用 Web アプリケーションの実装に関連して、試作済みの Web アプリケーション(Web 添削システム、Web プレゼンテーションシステム、Web アンケートシステムなど)への組み込み、および様々な実環境での運用により本提案手法の有効性を評価する。端末としては、PC、スマートフォン、およびタブレット端末を想定し、通信環境としては、Wi-Fi およびセルラネットワーク(3G~4G)を想定した評価を実施する。特に低品質(狭帯域、高エラー率)のネットワークにおける性能を詳細に評価する。試作したシステムを公開し、仕様の妥当性および効果の検証を行う。

4. 研究成果

4.1 各年度のまとめ

平成27年度では、図形描画が多い Web アプリケーションにおけるリアルタイムな協調作業の実現を目的として、Web の実行環境および描画内容に対する適応型同期最適化アルゴリズムの実現を目指した。図形描画のための HTML5 Canvas は、リッチな Web アプリケーション構築の上で大きな利点があるが、協調作業支援を目的としたリアルタイムな Web 同期を実現する上で、再描画時の描画コストが課題である。本研究では、リアルタイムな Web 協調作業のための同期アルゴリズムを実現するために、HTML5 Canvas における描画オブジェクトの再描画処理の高速化を実現した。具体的には、再描画処理に必要な時間を一定時間内に抑えるための新たなアルゴリズムを提案/実装した。ここでは、(1) 事前に描画オブジェクトの更新頻度が未知、(2) 描画オブジェクトの前後関係の維持、および(3) HTML5 Canvas オブジェクト数の増加は描画コストを増大、の3つの点を考慮した上で、さらに各描画オブジェクトの描画コストが定数時間であると仮定してアルゴリズムを設計/試作した。本アルゴリズムにおいて、リアルタイムな同期アルゴリズムに必要な描画オブジェクトの描画の最適化を、階層化された HTML5 Canvas に

対する描画オブジェクトの最適割当を決定する問題として定式化した。ここで、描画オブジェクトの描画の前後関係の維持を実現するために、描画オブジェクトの前後関係を維持したまま、すべての階層の描画コストの期待値が均一化されるようにグルーピングすることで、最悪時の描画コストの上限を抑えるための手法を開発した。関連する業績を、論文誌 4 編および国際会議 1 編として発表した。

平成 28 年度では、これまでに実現した階層型描画アルゴリズムを利用したシステムを試作・評価した。本試作システムでは、本アルゴリズムの多様な状況における性能を評価するために、レイヤー内の描画オブジェクト数 L の増加による性能低下、および描画オブジェクトの更新頻度が事前に未知である点への対応を検討した。具体的には、急激な性能低下を引き起こす L の個数、および描画オブジェクトの更新頻度の分布を調整可能にした。さらに、実行環境に対して適応的に同期内容および描画方法を最適化するためのアルゴリズムを実現した。具体的には、多様な実行環境における同期手法の最適化のためのモデルを明らかにし、そのモデルに基づく最適化アルゴリズムを設計した。描画内容と実行環境を考慮して適応的に最適な同期手順を導出するためには、Canvas の最適な階層構造、および実行環境に適した同期情報の表現形式を決定するためのパラメータをオンラインで高速に最適化するためのアルゴリズムを実現した。ここでは、実行環境における不確定性をリアルタイムにパラメータ化する課題を克服する必要があった。同期情報の抽出、同期情報の決定、同期情報の配信、および同期内容の描画の全行程にわたり全体的な最適化を行った。さらに、開発したアルゴリズムのライブラリ化、および同期用サーバを実装し、本手法の既存アプリケーションへの組み込みを可能にした。関連する成果を、論文誌 4 編、国際会議 4 編で発表し、高い評価を得た。

平成 29 年度では、これまでに実現した階層型描画アルゴリズムを精緻化し、適応型同期最適化アルゴリズムとして、不定レイヤー Canvas アルゴリズムを実現した。さらに、これらの技術に基づくリアルタイム協調作業用アプリケーションを試作した。特に、アプリケーションウィンドウを仮想的に共有するための新たな同期技術の開発を行った。具体的には、新たな技術として WebRTC に基づくアプリケーション仮想実行技術を開発した。上記技術を用いて、多数の端末を用いた教育を支援するための学習支援環境を実装した。本学習支援環境では、多数の端末間におけるリアルタイムなアプリケーションウィンドウの共有を実現した。本環境は、多数の端末上で実行中の複数のアプリケーションウィンドウから構成されるデスクトップ画面を構成可能にし、効果的な演習支援のための要素技術として有益である。ここでは、多数のアプリケーションウィンドウの同期におけるリアルタイム性の低下が課題となった。本課題を解決するために、独自の WebRTC SFU (Web Real-Time Communication Selective Forwarding Unit) を開発することで、多数の端末における多数のアプリケーションウィンドウの共有を実現した。関連する成果を、論文誌 1 編、国際会議 5 編で発表し、高い評価を得た。

4.2 提案アルゴリズムの評価と考察

図 1 に不定レイヤー Canvas アルゴリズムの評価実験結果を示す。横軸は描画中のオブジェクト数 (単位は 10^4 個) を示し、縦軸は描画中のオブジェクトのうち、ランダムに一つのオブジェクトを更新した時の再描画時間 (単位はミリ秒) を示す。実験では、それぞれの手法ごとの再描画時間を測定している。ここで、Native Canvas は通常の Canvas 要素一つにすべてのオブジェクトを描画した場合である。また、不定 MAX=1000 は不定レイヤー Canvas アルゴリズムにおいて、レイヤー分

割のための閾値を 1000 にした場合である。実験結果より、不定レイヤーCanvas アルゴリズムは既存手法 (GLC) と同等か、それ以上高速に再描画できることがわかる。ただし、不定 MAX=1000 のときレイヤー数は最大で 100 となり、メモリ使用量の増加によるアプリケーション全体のパフォーマンスの劣化が懸念される。これは、閾値を動的に変化させることにより緩和できる。具体的には、オブジェクトの更新履歴から更新頻度を予測し、予測結果にしたがって閾値を変化させる。これにより、再描画時間を保ったままレイヤー数を削減できる。

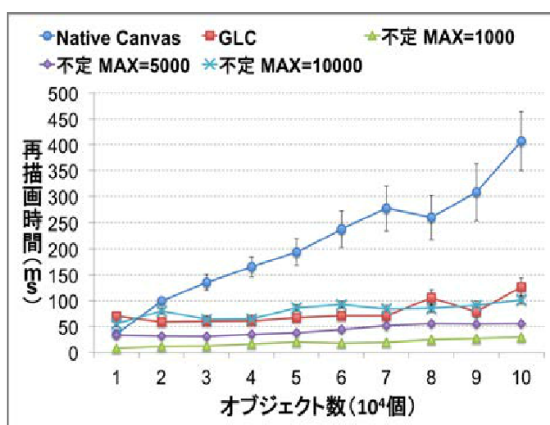


図 1 オブジェクト数に対する再描画時間

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 9 件) すべて査読有り

- ① Y. Niwa, S. Shiramatsu, T. Ozono, T. Shintani, An Efficient Method for Distributing Animated Slides of Web Presentations, *J. of Advanced Computer Science and Applications*, 7-1, pp.616-624, 2016.
- ② Y. Niwa, S. Shiramatsu, T. Ozono, T. Shintani, Developing a Real-Time Web Questionnaire System for Interactive Presentations, *J. of Advanced Computer Science and Applications*, 7-7, pp.506-513, 2016.
- ③ T. Iwasa, Y. Kato, S. Shiramatsu, T. Ozono, T. Shintani, Linked Data-based Slide Repository: The Episodic Slide Retrieval Using the Episodic Keyword Networks, *J. of Control Science and Engineering*, 4-1, pp. 36-49, 2016.
- ④ 杉野, 丹羽, 白松, 大園, 新谷, Bluetooth に基づく人感センサを利用した遠隔介護支援システムの試作, *電気学会論文誌 C*, 136-2, pp.218-225, 2016.
- ⑤ S. Imai, S. Shiramatsu, T. Ozono, T. Shintani, An Extended Web Displaying System based on Multiple Tablet Devices, *Int. J. of Computer & Information Science*, 17-2, pp.106-115, 2016.
- ⑥ A. Sugiyama, Y. Niwa, S. Shiramatsu, T. Ozono, T. Shintani, Implementing a Collaborative Web Platform based on Transparent Layers, *Information Engineering Express*, 1-4, pp. 53-63, 2015.

2015.

- ⑦ A. Nohara, S. Shiramatsu, T. Ozono, T. Shintani, Analyzing existing unstructured mountaineering plans for machine readability, *Information Engineering Express*, 1-4, pp. 75-84, 2015.
- ⑧ K. Sugino, Y. Niwa, S. Shiramatsu, T. Ozono, T. Shintani, Developing a Human Motion Detector using Bluetooth Beacons and its Applications, *Information Engineering Express*, 1-4, pp. 95-105, 2015.
- ⑨ 井上, 白松, 大園, 新谷, 発表中の資料へのフィードバックに基づくインタラクティブプレゼンテーションシステムの実現, *情報処理学会論文誌*, 56-10, pp. 2011-2021, 2015.

[学会発表] (計 10 件) すべて査読有り

- ① E. Ito, T. Ozono and T. Shintani, Extracting Paper Sticky Notes with Visual-inertial Odometry of ARKit, *CSII2018*, 2018. (to appear)
- ② R. Ando, T. Ozono and T. Shintani, Developing a Linked Data-based Weekly Report Management System, *CSII2018*, 2018. (to appear)
- ③ T. Ohbe, T. Ozono, T. Shintani, A Sentiment Polarity Classifier for Regional Event Reputation Analysis, *WI17*, pp. 1207-1213, 2017.
- ④ E. Ito, T. Ozono, T. Shintani, Adaptable Web Presentation System with Layered Canvas Synchronization Mechanism for Scalability, *ESKM2017*, pp.1-6 (CDROM), 2017.
- ⑤ S. Iwata, T. Ozono, T. Shintani, An Any Application Window Sharing Mechanism Based on WebRTC, *SCAI2017*, pp.1-6 (CDROM), 2017.
- ⑥ T. Ohbe, T. Ozono, T. Shintani, Developing a Sentiment Polarity Visualization System for Local Event Information Analysis, *ESKM 2016*, pp. 19-24, 2016.
- ⑦ T. Matsuura, T. Ozono, T. Shintani, An Akashic Desktop Recorder for Resumption of Works, *ESKM 2016*, pp. 25-30, 2016.
- ⑧ K. Yoshida, T. Ozono, T. Shintani, FoXspace: Manipulating Windows Based on the User's Work History, *SCAI 2016*, pp. 698-703, 2016.
- ⑨ M. Watanabe, Y. Sakaguchi, T. Ozono, T. Shintani, A Proximity Information Propagation Mechanism Using Bluetooth Beacons for Grouping Devices, *ICCIS2016*, vol.2, pp.32-42, 2016.
- ⑩ T. Ozono, S. Shiramatsu, T. Shintani, A Stable Layered Canvas Mechanism for Collaborative Web Applications, *WI15*, pp.101-106, 2015.

[その他]

ホームページ等

<http://www-toralab.ics.nitech.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

新谷 虎松 (SHINTANI, Toramatsu)
 名古屋工業大学・大学院工学研究科・
 教授
 研究者番号：00252312

(2) 研究分担者

大園 忠親 (OZONO, Tadachika)
 名古屋工業大学・大学院工学研究科・
 准教授
 研究者番号：90324475