

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 23 日現在

機関番号：13801

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26540162

研究課題名(和文) オープンデータへの高効率アクセス基盤実現と高速エージェントシミュレーションの結合

研究課題名(英文) Toward Better Integration of Efficient Access Platform for Open Data and Fast Multiagent-based Simulation Techniques

研究代表者

福田 直樹 (Fukuta, Naoki)

静岡大学・情報学部・准教授

研究者番号：30345805

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：LOD(Linked Open Data)のデータモデルを定義するオントロジーにおいて推論のような高度な処理が可能となる場合に、それらのLODに対して効果的かつ現実的な時間での問い合わせ実行を可能とする技術の開発と洗練を進めるとともに、エージェントシミュレーション時に複雑な資源配分メカニズムの適用が可能となるように、オークションに基づく資源配分メカニズムに対する外部からの割り当て調整との整合性を取る機構をさらに高速化するためのアルゴリズム等や汎用GPUを用いたシミュレーション高速化フレームワークの設計を行い、所定の成果を得た。

研究成果の概要(英文)：In this research, we have tackled the central issues about utilizing ontology-based and inter-linking open data (Linked Open Data, LOD). The research focused on better utilization and approximation of ontology-based reasoning on retrieving such LODs by applying evolutionary algorithms and machine learning techniques. Furthermore, the research also aimed to realize better approximations on resource allocation mechanisms such as combinatorial auctions, which could be applied on various complex social simulations. Also this research developed a framework to efficiently configure and run such complex simulations on GPUs and other multi-core devices by developing and applying Budget-Limited Multi-Armed Bandit algorithms. The outcome of this research was constructed from 7 papers published from international and domestic journals or magazines, and 16 presentations at international and domestic conferences including 2 invited talks on international conferences or symposiums.

研究分野：知能情報学

キーワード：オープンデータ セマンティックウェブ マルチエージェントシミュレーション メカニズムデザイン
アルゴリズム

1. 研究開始当初の背景

本研究の当初の背景には、政策提言などに向けたマルチエージェントシミュレーションやメカニズムデザインにおける知見の活用に対する期待があった。たとえば、[Kanamori 2011]では電気自動車普及の際に優先レーンを設けた場合の影響を、名古屋市全域の道路に対するエージェントシミュレーションにより解析している。

このような期待は、2013年のマルチエージェントにおけるトップ会議であるAAMAS2013 (International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems 2013) において、同技術の社会システムへの適用を議論する国際ワークショップ MASS2013 (1st International Workshop on Multi Agent-based Societal Systems 2013) が開催されたことから、ある程度確かである。また、少し使い古された例ではあるが、ロンドン市内における交通の「渋滞税 (Congestion Charge)」[Leape 2006] は、経済原理に基づいた政策 (メカニズム) の応用例の1つであると言われる。

このようなメカニズムの設計理論 (メカニズムデザイン理論) とコンピュータ科学の知見の融合により、これまでは複雑すぎて実世界への適用が困難だとされていた複数ユニット・組合せオークションや VCG のような Truthful,あるいは Incentive Compatible とよばれる性質を持つメカニズムの実世界での適用 (例えば,[1],[Cramton 2006],[Lai 2012]など)が視野に入ってきている。

2. 研究の目的

一方で、こうした、メカニズムデザインやシミュレーションでは、その検証において実世界に近い条件設定をいかに適切に取り込むことができるかが1つの重要な課題と考えられた。この課題を解決する鍵の1つが、近年政策的に多くの国で進められてきている LOD(Linked Open Data)化・オープンデータ化である。我が国でも、経済産業省が2012年1月28日に、Open DATA METI(<http://datameti.go.jp/>)を公開し、白書や統計データなどの公表データの活用を LOD 化することで容易にするための実証を始めた。

このことについてあまり厳密でないが直感的な例として、たとえば次のようなことが可能になると考えられる。それは、現行の労働制度設計をモデル化したマルチエージェントシミュレーションを用意し、各国のオープンデータ上にある実際の労働統計から得られた労働時間や失業率などの多くの項目の実測値を再現できるようにシミュレータ内のパラメータを自動学習させ、新たな制度

設計を与えたとき (たとえば労働時間に対する規制を加えると同時に労働の分配に複雑なオークションメカニズムを用いるようにしたとき) に、その制度設計の効果が各国のそれぞれの統計情報に基づく状況下でどの程度得られそうかを推定する、というような応用シナリオである。このシナリオの概観を図示したものが、「研究の斬新性・チャレンジ性」の項で示す図1である。

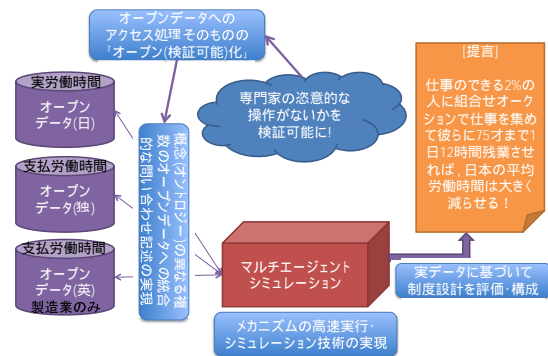


図1：オープンデータとマルチエージェントシミュレーションの統合の概念図

これらの背景を踏まえて、本研究のねらいを、より高い視野から述べるなら、政策提言を行うための根拠となるような公共データに対するデータ処理やそれに基づくシミュレーションの条件設定の過程などすべてをオープンに表現・記述・実行できるようにすることで、そうした政策提言に対する透明性や特定の利害関係からの独立性を証明しやすい状況を作り、それをもって失われた専門家への信頼を取り戻そうという専門家たちの行動を少しでも支えられるような技術的な基盤を実現することである。

参考文献:

[1] Naoki Fukuta, "An Approach to VCG-like Approximate Allocation and Pricing for Large-scale Multi-unit Combinatorial Auctions", Journal of Information Processing, Vol.21, No.1, pp.9-15, 2013.

3. 研究の方法

現状で、LOD のデータモデルを定義するオントロジーは、それが明示されている場合であったとしても、複数の LOD 間で相互にオントロジー間の連携が考慮された状態にはならず、さらに、1つの LOD が複数の版 (バージョン) を持つ場合には、それらの版の間での整合性は必ずしも保たれない。このような状況下であっても、それらの LOD に対して効果的かつ現実的な時間での問い合わせ実行を可能とする技術の開発を進める。

本研究を開始する段階で、すでに述べたとおり、この種の LOD 問い合わせを SPARQL で行うための基礎技術の一部の開発に成功[2]しており、その内容はすでに世界で高い評価を受けつつある。一方で、同手法はまだごく限られた条件下でのみ実現されており、その条件の緩和や、効率的な実行や実使用に耐えうる頑健性を持った実装や、その定量的な評価については現時点ではまだ行っていない点が課題となる。

この課題に対応するために、最初の年度となる平成 26 年度では特に、同技術の洗練と適用範囲を拡張するためのソフトウェア基盤の開発を進める。それと同時に、本基盤技術を、より広い範囲の層のユーザが使用できるように、本基盤技術に基づく LOD データへのアクセスのフロントエンドとなる、LOD クエリ作成支援機構を実装し、より広い層からの利用者のフィードバックが得られるように考えた。

これらの研究と並行して、もう1つの研究課題である、主に公共データなどを扱う LOD からの情報抽出結果を踏まえて、高速にエージェントシミュレーションを行い、特定の公共政策などの影響の可能性や、必要な公共政策・メカニズムの自動計算・最適化を行えるようにするためのソフトウェア基盤・最適化技術の開発を進める。当該研究では、シミュレーションそのものの高速化のために、GPGPU(グラフィックプロセッサを用いた汎用計算)や FPGA(書き換え可能型高集積回路)等の特殊なハードウェアの利用も検討するが、それらのハードウェア資源は、研究費の効率的な運用のため、既存研究で取得した物品および他所からの借用でまかなうことを計画した。

本研究の申請時においても、先に示したとおり、実データなどを参照してエージェントシミュレーションにより現実を模擬したり、あるいはエージェントシミュレーションにより特定の公共政策の効果を緻密に計算したりする研究は試みられている。一方で、それらのシミュレーションの最適な条件設定パラメータを導出するためには、非常に広範囲にわたるシミュレーションの試行が必要となる。

仮にそのシミュレーション内部でオークションのようなメカニズムを使うとしても、組合せオークションのような複雑なメカニズムの場合には厳密な実行には非常に小規模な範囲でのみ適用可能であるなどの課題がある。これらを解決するための手がかりとして、すでに、単数・複数ユニット組合せオークションの高速近似手法に関するコア技術[1]を開発するとともに、エージェントシミュレーションの高速化のために GPU コンピューティングや Xeon Phi 等の超マルチコア

プロセッサの利用を容易にするための基盤の実現のための核となる技術[3]を開発しつつあった。

これらの技術に、さらに申請者の持つ他の知見の1つである Web サービス自動連携技術などのソフトウェアの高度モジュール化技術(若手研究(B)No.19700136)なども組み合わせ、目的に対応した高実行効率なエージェントシミュレーションを平易に組み立てられるようにしたい。このための技術開発を本研究のもう1つの基盤となる課題として、平成 27 年度に集中的に取り組むことを計画した。

本研究を計画した当初の将来の展望としては、本研究で提案する機構を用いることにより、実世界に対する政策提言などの根拠を記述・保存可能とし、その内容に疑義のある者からは自由にその根拠や計算・シミュレーション方法を追跡・検証できるような世の中を実現したいと考えた。たとえば、「各国から公開されたデータに基づいてシミュレーションにより検証した結果、次の世代への年金のメカニズムは次のようになるべきである」といった提言を、その根拠や計算方法を含めて完全にコードとして公開して再計算可能としたい、ということである。これにより、社会に対する政策提言の根拠の計算基盤としての LOD と、そこから導き出される提言の根拠となる公共オープンデータに対する SPARQL クエリとエージェントシミュレーションの条件設定がオープンな場で明示され、それらをクラウド上の計算資源などを利用してだれもが確認・検証・変更できるようになれば、仮に特定の主義・思想や利害関係によってねじ曲げられた政策提言が専門家から行われたとしても、そのことが多くの市民の手ですぐに検証できるようになると考えられた。

このような仕組みを具体的に実現可能とするための足がかりを作るため、平成 28 年度では、平成 26 年度および 27 年度での成果を組み合わせて、上述のようなシナリオを構成するようなソフトウェア同士の相互接続およびその動作の検証を行うことを計画した。

参考文献

[2] Takahisa Fujino and Naoki Fukuta, 'SPARQLoid - a Querying System using Own ontology and Ontology Mappings with Reliability', Demo and Poster Proc. International Semantic Web Conference(ISWC2012), Nov. 2012. (poster and demonstration)

[3] Y. Sano and N. Fukuta, A GPU-based Programming Framework for Highly-scalable Multi-Agent Traffic Simulations, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム(JAWS2013), 2013.

4. 研究成果

本研究の開始時においても、実データなどを参照してエージェントシミュレーションにより現実を模擬したり、あるいはエージェントシミュレーションにより特定の公共政策の効果を緻密に計算したりする研究は試みられていた。本研究で実施した内容は、これに対して、実データ源としてのオープンデータへのアクセスを容易化・効率化しながらその多様性への対応を行えるようにする基盤となる。

このための要素技術確立のための基礎的研究として、論文[A4]および学会発表[B1][B6][B13][B14]において、オントロジー推論技術をオープンデータへのアクセスに適用可能とし、そのオープンデータそのものには明示的には書かれないが推論により明らかにできるデータ・関係を、高速に高い精度で近似的に検索できるようにした。このうち、[B1]は、同 IEEE International Conference on Agents にて Best Paper Award を受賞し、その要素技術として高い評価を得ることができた。

一方で、オープンデータを含めた種々のデータに基づいて様々なシミュレーションを行う際には、それらのシミュレーションの最適な条件設定パラメータを導出するために、非常に広範囲にわたるシミュレーションの試行が必要となる。仮にそのシミュレーション内部でオークションのようなメカニズムを使うとしても、組合せオークションのような複雑なメカニズムの場合には厳密な実行には非常に小規模な範囲でのみ適用可能であるなどの課題がある。

これらを解決するための手がかりとして、本研究では単数・複数ユニット組合せオークションの高速近似手法に関するコア技術の拡張を進めた。この成果は、論文[A3][A5]および学会発表[B2][B3][B4][B5][B8][B10][B16]としてその成果を公表している。ここでの成果のポイントは、組合せオークションにおいて、留保価格といわれる「最低落札希望価格」の設定や、落札者が財(落札した商品)のための対価を払えない・受け取る資格を持たないような状況も考慮することで、より現実の条件に近いメカニズムにできるようにしたことと、それらを上記のようなシミュレーション環境上でも実行可能なように大幅な高速化を実現した点である。

また、エージェントシミュレーションの高速化のためにGPUコンピューティングやXeon Phi等の超マルチコアプロセッサの利用を容易にするための基盤の実現のための核となる技術の適用範囲を広げるための基盤技術の検討と洗練を行った。これらの成果は、論文[A2][A7]および学会発表[B11][B12][B15]として発表している。

これらの研究の特長は2つあり、1つは、近年は深層学習でも多く用いられる汎用GPU装置をうまく使用してシミュレーション速度を高速化することを可能にするフレームワークを構築し、特にそのGPU装置をうまく使いこなす際に難しさのあるGPUプログラム実装上のパラメータチューニングを半自動化する機構を備えたプログラミングフレームワークを実現している点にあり、もう1つは、オンライン学習手法の1つであるMulti-Armed Banditモデルに基づく制約付きBLMABアルゴリズムをあらたに構成して適用可能とすることで、そうしたプログラミングフレームワーク上でパラメータチューニングを行う過程そのものを、シミュレーションの結果を得るための計算に使用できるようにした点である。

これらのそれぞれの要素技術確立のための研究成果のほか、それらをつなぎ合わせる技術およびその課題について、学会発表[B9]などによりその概要の発表を行っている。また、その基盤技術の発展性についての検証を行うための足がかりを作るために、ある程度複雑な環境を模したゲーム上でのプレイヤー間の振る舞いの相互作用とその制度設計の関わりを考察するという視点から、論文[A1]で発表したような研究を試みており、直接的に前述の要素技術それぞれとの接続が行えたわけではないが、それらの可能性についての検討を行う基盤を作ることができたと考えている。

これら一連の研究成果およびその周辺技術も含めた研究動向について、より広い範囲で社会に公表・還元を進めるために、図書[1]の共同編者となり、そのコア技術の出版による社会への浸透に役立てられる成果講評を試みた。

より広い範囲得への成果公表としての試みとして、それ以外にも、雑誌掲載解説論文として論文[A6]の執筆を共著で行ったほか、学会発表[B3][B7]での招待講演という形で、IoTを含めた先端の社会情報システムの専門家や、社会における主体間の協調を検討するマルチエージェント研究の分野など、コアとなる要素技術そのものとは異なる分野を含む研究者に対して、これら研究で得られた成果や意義についての講演を行い、その知見を共有できるようにした。

これらの成果公表により、本研究で開発した全体のコンセプトのみでなく、そこで開発されたコア技術やその分野全体についての知見が広く共有されるように試みた。個々の要素技術そのものについての詳細については、以降の発表論文等の原文を参照されたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 7 件)

A1. K. Sugiura, and N. Fukuta, ``A Multiagent Reinforcement Learning Approach for Cooperative Game Playing with Users on a Sugoroku-like Board Game'', International Journal of Information Technology, Vol.22, No.4, pp.1--16, 2016. (査読あり)

A2. Y. Sano, and N. Fukuta, ``A Performance Optimization Support Framework for GPU-based Traffic Simulations with Negotiating Agents'', Studies in Computational Intelligence, Vol.638, pp.141--156, 2016. (DOI:10.1007/978-3-319-30307-9_9) (査読あり)

A3. N. Fukuta, ``A Pre-processing Approach for Fast and Stable Allocations on Approximation-based Pricing for Multi-unit Combinatorial Auctions'', Information Engineering Express, Vol.2, No.4, pp.21--30, 2016. (査読あり)

A4. Y. Yamagata and N. Fukuta, ``An Approach to Dynamic Query Classification and Approximation on an Inference-enabled SPARQL Endpoint'', Journal of Information Processing, Vol.23, No.6, pp.759-766, 2015. (DOI:10.2197/ipsjip.23.759)(査読あり)

A5. 福田直樹, ``留保価格を導入した大規模複数ユニット組合せオークションの近似価格決定に関する一考察'', 電子情報通信学会論文誌, Vol.J98-D, No.6, pp.948--961, 2015. (査読あり)

A6. 川村隆浩, 森田武史, 福田直樹: ``Linked Dataとセマンティック技術の海外動向'', 人工知能学会誌, Vol.30, No.5, pp.580--589, 2015. (査読なし)

A7. Y. Kadono and N. Fukuta, ``LAKUBE: An Improved Multi-Armed Bandit Algorithm for Strongly Budget-Constrained Conditions on Collecting Large-Scale Sensor Network Data'', Lecture Notes in Computer Science, Vol. 8862, pp.1089--1095, 2014. (PRICAI2014の出版) (査読あり)

〔学会発表〕(計 16 件)

B1. N. Yamada, Y. Yamagata, and N. Fukuta, ``Query Rewriting or Ontology Modification? Considering Reasoning Capability on LOD Endpoints'', Proc. of 1st IEEE International Conference on Agents (ICA2016), pp.19--24, Sep.28-30, 2016. Matsue, Shimane, Japan. (Best Paper Award) (査読あり)

B2. N. Fukuta, ``Toward Fast Approximation of Stable Allocation and Pricing on Combinatorial Auctions'', Proc. of 1st IEEE International Conference on Agents (ICA2016), pp.74--77, Sep.28-30, 2016. Matsue, Shimane, Japan.

B3. N. Fukuta, "Auction-based Large-scale Resource Allocation for the IoT and Smart Communities", Special Session Keynote talk at the 24th IEEE / ACIS International Conference on Computer and Information Science (ICIS2016), Okayama, Okayama, Japan, June.29, 2016. (招待講演)

B4. N. Fukuta, ``A Preliminary Analysis of Allocation Stability on Approximation-based Pricing for Multi-unit Combinatorial Auctions -- A Single-winner Cancellation Scenario'', Proc. KICSS2015 International Workshop on Collective Intelligence and Crowd / Social Computing, pp.236--246, Nov.12-14, 2015. Phuket, Thailand. (査読あり)

B5. N. Fukuta, ``Toward an Agent-based Framework for Better Access to Open Data by using Ontology Mapping and their Underlying Semantics'', Proc. 3rd IIAI-AAI International Conference on Smart Computing and Artificial Intelligence (ICSCAI2015), pp.623--628, July 12-16, 2015. Okayama, Okayama Japan. (査読あり)

B6. Y. Yamagata and N. Fukuta, ``Evaluating a GA-based Approach to Dynamic Query Approximation on an Inference-enabled SPARQL Endpoint'', Proc. the 14th IEEE / ACIS International Conference on Computer and Information Science (ICIS2015), pp.143--148, June 28-July 1, 2015. Las Vegas, USA.

B7. N. Fukuta, "Recent Challenges on Auction-based Large-Scale Resource Allocation", Invited Talk of International Symposium on Multi-Agent Technologies for Complex Systems Development: Challenges and

Solutions (MATCSD'15), Dalian, China, Sep.17, 2015. (招待講演)

B8. 福田直樹: 入札取り消し時の安定性を考慮した大規模複数ユニット組合せオークションの近似割当および価格決定手法の検討, 情報処理学会知能システム研究会技術報告, 東京 (2015.12.22)

B9. 福田直樹, "オントロジーマッピングを用いた意味情報に基づくオープンデータへのアクセス効率化機構の試作", 第 29 回人工知能学会全国大会講演論文集, 1G3-0S-08b-3, 北海道函館市 (2015.5.31-6.4)

B10. 福田直樹: 大規模複数ユニット組合せオークションの近似における入札取消に対する割当および価格決定の安定性に関する一考察, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム (JAWS2015), 石川県加賀市 (2015.9.30-10.2)

B11. Y. Sano, Y. Kadono, and N. Fukuta, ``A Preliminary Analysis on BLMAB-based Approximate Optimization Support for Multi Agent Simulations on Multi-core and GPU-based Computing Environment'', Proc. 4th International Workshop on Knowledge and Service Technology for Life, Environment, and Sustainability (KASTLES2014), pp.284--288, Nov. 11-19, 2014. Matsue, Shimane, Japan. (査読あり)

B12. Y. Kadono, and N. Fukuta, ``An Online Learning-based Efficient Search System for Sufficient SPARQL Endpoints using Extended Multi-armed Bandit Algorithm'', Poster and Demo Proc. of the 4th Joint International Semantic Technology Conference (JIST2014), Nov.9-11, 2014. ChiangMai, Thailand (査読あり)

B13. Y. Yamagata and N. Fukuta, ``Approximating Inference-enabled Federated SPARQL Queries on Multiple Endpoints'', Proc. Demo and Poster Track of 13th International Semantic Web Conference (ISWC2014), pp.441-444, CEUR, Oct.19-23, 2014. Riva del Garda, Italy. (査読あり)

B14. Y. Yamagata and N. Fukuta, ``A Dynamic Query Optimization on a SPARQL Endpoint by Approximate Inference Processing'', Proc. IIAI-AAI International Conference on e-Services and Knowledge Management (ESKM2014), pp.161--166, Aug.31-Sep.3, 2014. Kitakyushu, Fukuoka, Japan. (査読あり)

B15. Y. Sano, Y. Kadono, and N. Fukuta, ``A Performance Optimization Support Framework for Multi Agent Simulations on Multi-core Environment'', Proc. 2nd IIAI-AAI International Conference on Smart Computing and Artificial Intelligence (ICSCAI2014), pp.475--480, Aug.31-Sep.3, 2014. Kitakyushu, Fukuoka, Japan. (査読あり)

B16. N. Fukuta, ``An Approximation Approach for Large-scale Multi-unit Combinatorial Auctions with Reserve-price Biddings'', Proc. 2nd IIAI-AAI International Conference on Smart Computing and Artificial Intelligence (ICSCAI2014), pp.487--492, Aug.31-Sep.3, 2014. Kitakyushu, Fukuoka, Japan. (査読あり)

[図書](計 1 件)

1. N. Fukuta, T. Ito, M. Zhang, K. Fujita, and V. Robu (Eds), ``Recent Advances in Agent-based Complex Automated Negotiation'', Studies in Computational Intelligence, 293pages, 2016. (Edited Book)

[その他]

研究代表者ホームページ

<http://whitebear.cs.inf.shizuoka.ac.jp/>

研究代表者 ORCID

ORCID:0000-0001-7724-8782

6 . 研究組織

(1)研究代表者

福田 直樹 (FUKUTA, Naoki)
静岡大学・情報学部・准教授
研究者番号: 3 0 3 4 5 8 0 5

(2)研究分担者

なし

(3)研究協力者

なし