

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H04245

研究課題名（和文）エージェントの自律的組織化学習アルゴリズムとシステム効率化の実現

研究課題名（英文）Studies on autonomous learning of agents' organizational formation for system efficiency

研究代表者

菅原 俊治（Sugawara, Toshiharu）

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：70396133

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、自律的に判断をする複数のエージェントから構成されるマルチエージェントシステムにおいて、個々の観点だけではなく組織・グループの観点からも適切な協調・調整行動を学習する手法の研究を進めた。具体的には、多段階の協調が必要なタスクにおいて近隣の動きを観測しながら行動を進める学習する手法、近隣に存在するエージェントの行動を内部で推定し、それに呼応する形で自己の協調・調整行動を決定する学習手法、また選択した協調行動の妥当性を確認するためにエージェントの判断時に着目した対象を抽出する技術などを追求した。成果は、当該分野でのトップレベルの国際会議で発表するなど、学術的な評価を得ているものと考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人工知能により人間の代理としての役割をもつ知的ソフトウェア（エージェント）が社会に広く普及したとき、これらを活用した協力・協働行動や、それらの間での干渉を避けるための調整行動が必要となる。しかしこれらの行動は個々の利得だけではなく、相互のあるいは社会の観点からの利得を考慮した行動が必要である。ここでは、近年の深層（強化）学習が発展し、ある程度の知的な行動が可能となったとき、単純な最適化、つまり個々の利得を越えた行動の学習の実現が必要となる。ここでは、グループ作業を対象に、組織的な行動の発現とその判断根拠を提示した説明性の可能性について貢献した成果と考える。

研究成果の概要（英文）：In this study, we have been developed methods for learning appropriate cooperative and coordinated behaviors in a multi-agent system consisting of multiple agents that make decisions autonomously, either organizationally or from the perspective of group behaviors. Specifically, we proposed (1) methods for learning to act while dynamically observing the movements of its neighboring agents in tasks that requires multi-step cooperative actions, and (2) learning methods for determining its own cooperative and coordinated behavior based on its internal estimation of the neighbors' behaviors. Furthermore, we also pursued (3) techniques for identifying the objects that the agent is focusing on in their observations to confirm the validity of the selected cooperative and coordinated behaviors for improving the explainability. We believe that our results have been well received academically, with presentations at top-level international conferences in the field.

研究分野：マルチエージェントシステム

キーワード：マルチエージェントシステム 組織行動 社会学習 深層強化学習 組織化 マルチエージェントプログラミング

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年のセンサ・ロボット・スマートフォン等の劇的な普及を背景に、これらを有機的に統合させ、人々の「(人口減少を補う)代理作業や作業補助」「安心・安全」「利便さ」などの実現が提唱されている。例えば、交差点の状況の管理、信号制御、行き交う自動車の制御やナビなどのエージェント群、歩行者や自転車のスマートフォンが、リアルタイムかつ絶えず移りゆくエージェントと協調した安全走行の実現が考えられる。この他、ロボットによる災害時の救助作業、地域内・地域間の電力取引や知的消費電力制御、センサデータを統合した実時間サービスの提供、個人間・組織間のネゴシエーションや自動取引などが想定される。

この様な想定社会では、多数・多様な企業がそこに参入し、各観点から開発されたエージェントがネット上に置かれ、個別の利得に基づき自律的かつ自由に作業受託と報酬配分に合意・共同しながらサービスを実現する。このような共同作業やその作業分担の仕組みや性質の解明に向け、エージェントの自己能力や内部規範による作業への自律的参加に基づく判断する「(分散)資源・タスク割当問題」と捉え、理論的・実験的な幅広い研究がある。しかし資源等の割当ては組合せ問題であり、指数的に計算量が増大する。加えて実環境では、(1)極めて大きなエージェント数、(2)技術的制約、セキュリティ面から最適割当てに必要な全情報収集の困難さ、(3)膨大なサービスの要請(タスク数)とその継続性と変化、(4)エージェント自体も学習により行動を変えることによる変容などの課題がある。そのため求解コストは高く、エージェントの機能と能力、組替えコスト、処理能力のバランスを反映した効用関数も予め知ることは困難である。

他方、人間は共同作業などを通じて得た経験や相互の利得関係から、能力の相互補完、相手の協調性・信頼性・依存関係・バランスなどに基づいて組織化や作業の構造化をもたらし、その結果、不要な競合の削減と社会システムの効率化を実現している。本研究の長期的な「問い」は、ネットワークで結ばれたエージェントが局所的に得られる情報と経験から、効率化や信頼性などのために自ら上記のような社会構造を生み出せるか、またその具体的な手法を追求することであり、多様な学習法による可能性を探ることである。

2. 研究の目的

本研究提案では、上記で述べた背景のもと、特に人間の組織行動に鑑み、多数エージェントのシステムが集中制御なしにその能力を発揮するために、(1)機能・能力を相互に補完しながらもバランスのとれた処理能力と効率を持つエージェント同士の協調作業を実現した共同体を自律的に形成する学習手法の提案と、(2)タスクの割当てと実行を共同体内で効果的かつ安定的に実行する役割分担を伴う自己組織化・構造化を実現することである。

3. 研究の方法

本提案の目的をブレイクダウンし、(自律的な)分散協調タスク割当・実行問題とそのグループ化(提携、仲間の同定など)のための局所的コンセンサス・情報共有を題材に、以下の通り進めた。

(1) 組織的協調・調整行動を発現・促進する制御法の解明

組織的なグループ行動には「共同するエージェントの決定」「共同する環境条件」「共同グループ構成の学習」が必要である。特に深層強化学習やGAなどの手法を適用して、近隣にいる共同すべきエージェントの同定とその行動とを(必要に応じて)同期させる判断と、その環境条件を学習させる試みを行う。

(2) 行動ルールの自律的発現による最適組織行動の実現

一般に、全エージェントが近視眼的な合理的最適行動をとると競合が発生し、効率低下を招くことがあるが、他方、共同体としての利得のみを考慮した「閉じた」行動も柔軟とは言えない。そのために、本研究の目的として、異なる行動ルールやスキルを持つエージェントを混在させ、その差を認知しながら行動を起こす行動規範を自律的に見いだす手法に取り組む。また次の項目(3)の準備として個々の観点での利得は減少するものの、他エージェント

を含めた全体（社会）としての利得を増大させるような学習の仕組みの一部を追求した。

(3) 能力の相互バランスと相互補完の実現と説明性への取り組み

共同体は、競合回避や処理（サービス）の効率化、タスクの質の安定化などに貢献できる。特にエージェントが担当するタスクに報酬のアンバランスがあると、仮に報酬が少なくても社会的に実施すべきタスクの選択を気づかせ、それに基づく学習を構成させる。このために、たとえば、他のエージェントを内的にモデル化し、それを相互補完することを追求した。また、これまでの一連の研究で得た協調行動の妥当性を確認するために、エージェントが判断する上で着目した情報を抽出し、解析する手法を提案した。

なお、上記の(1)-(3)に並行して、学習に頼らないアルゴリズムベースの協調・調整行動についても探求した。これは学習のみに頼ると想定外の行動を起こすことがあり、実用性を考えると行動が確実な手法も必要と考えたからである。特に、複数ロボットの搬送問題を例に、この研究にも取り組んだ。

4．研究成果

以下年度順に報告するが、COVID-19の影響（特に2020年度、2021年度）で当初の計画の進行とやや異なる。

4.1 令和2年(2020年)度

2020年度は、組織的行動として、マルチエージェントパターンフォーメーション問題を例に取り組んだ。ここでは、エージェントを空中のドローンのように空中の点を考え、あらゆるランダムなパターン（イメージとしては星空のようなランダムな多数の点）を用いて強化学習による事前学習を実施し、その後、初めて経験する線画を与えてもそのパターンを形成できる。これにより組織的な行動が実現できたが、他方、自分は何もしなくて良いと学習するエージェントも発生した。そのため、より密着した協調・調整行動を発見させ、個人的には効率を下げるのだが、自分だけで無く周囲の行動に合わせて行動するタスクへの検討が必要と判断した。

また、広い空間で協力してタスクを発見しながら巡回し、各エージェントが一つ一つnオブジェクトを集めるobject collection gameを例題に、グループとしての協調行動の学習可能性を検証した。その結果、オブジェクトが多い前半では適切な行動となるものの、オブジェクトが少ない後半部分では、その発見が難しくなり、むしろ衝突によるペナルティが無視できなくなり、行動しない方がよいと学習するものが現れた。このような誤った行動を学習するエージェントに対し、外から適切なアドバイスを与えるモジュールを追加し、グループとしての行動を促進することに成功した。

より密着した協調・調整行動の発見が必要な例として、複数の異なる能力を持つエージェントが、作業順に個別の作業を進めるタイプのタスクに作業開始から終了までの期限を追加したモデルを提案した。さらに、自分自身が担当すべき個別作業の学習と、その前後で作業するエージェントとの協調・調整行動の発見を、より多数のエージェントが必要なタスクでも実現する手法を提案した。これにより第一に、前後の作業をするエージェントを認識し、全体の作業時間を短縮するために故意に協力エージェントの到着を待ってから作業を開始する行動を学習できた。しかし、同時に順列的作業では時間差があり、エージェント毎の学習の進行の差が障壁となり、より柔軟な自律学習手法が必要であることも判明した。第二に、協調行動を学習したエージェントが観測可能範囲の着目している対象を明示すること、また周辺にいる協調している・協調していないエージェントへの着目度の変化などを解明する仕組みを提案した。初期実験では、組織あるいはグループを組むべき相手に応じて着目度が変わることが得られたが、より複雑な環境構造や組織構造の場合や、エージェントの処理速度に差があるときの可能性の確認も必要である。また、データに含まれる雑音の影響を無視できないことも判明し、その改善にも取り組み、初期的な結果を得ている。

他方、学習機能には頼らずに、堅実なアルゴリズムによるエージェント(自走ロボットを想定)の移動アルゴリズムについても着手した。これは、学習のみでは、その結果が予想できない部分もあり、理論的に到達性や障害のない協調行動を保証できるからである。

本年度は、COVID-19 の関係で発表は限られたが、英文論文誌への掲載のほか、International Conference on Neural Networks (IJCNN), International Conference on Neural Information Processing (ICONIP), International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems (PRIMA)などでオンライン発表を行った。また国内でも関連論文が情報処理学会の研究会で最優秀論文書と優秀論文賞を受賞している。

4.2 令和3年(2021年)度

2021年度は、前年度から継続課題に加え、COVID-19の影響で遅れていた「行動ルールの自律的発現による最適組織行動の実現」に取り組み始めた。また、これまでの研究で明らかになった、新たな研究項目についても調査を進める。

2020年度に提案した順序付き協調タスクにおいて、各エージェントが前後のエージェントの行動を観測しながら遂行する学習方法を、多段のものに適用できるかを確認し、国際会議で発表した。同時に課題も見付き、さらなる工夫が必要であることも認識した。特に、多段タスクでは、その実行と報酬の受け取りに大きな時間差が生じ、かなり古い情報の書き換えと、その再学習が必要となることがわかった。実際の応用における(ロボットなどの)作業は、その作業内容やサイズの制限から、同一箇所ですべて同時にできるものよりも、ある順序で行うべきものが多いと思われ、それを背景とした協調作業の行動と学習は重要と位置づけている。

第2に、適切な協調行動とその正当性の確認には、学習したエージェントが着目している情報を抽出する手法が重要と考えており、その内容を国際会議で発表するとともに、さらなる高度化を図った。具体的には、同じ周囲の状況でも、自分の位置や周辺にいるエージェントのタイプ(スキルや効率)、情報の信頼性などの条件に応じて行動を変える情報やデータの箇所を明確にする枠組みを提案した。この研究は、協調作業の説明性を向上させ、人間側からのエージェントの理解を実現するものである。また、学習機能には頼らずに、決定的なアルゴリズムによる複数エージェント(ロボットを想定)の同時搬送問題における効率的な、移動アルゴリズムを考案した。具体的には、(1)目的地が集中するなどの場合、既存のアルゴリズムでは対応できなかったが、目的地の近くで待機し、そのあとに順に目的地に進むという効率的行動を実現したこと、(2)エージェントの作業時間に差や揺らぎがあるときに柔軟に対応し行動を変える手法を提案・評価した。

上記で述べた成果を、当該分野でトップ会議であるAAMAS2022、応用に関する重要会議であるCOMPSACに投稿し、発表した。また、International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN), European Conference on Multi-Agent Systems (EUMAS)などでも発表している。

4.3 令和4年(2022年)度

本年度は、「行動ルールの自律的発現による最適組織行動の実現」と「能力の相互バランスと相互補完の実現と説明性への取り組み」に着手した。まず昨年度に着手した順序付き協調タスクにおいて、各エージェントが自分の前後のタスクを担当するエージェントを配慮して自己のタスクを決定・遂行する学習方法をまとめて論文誌に掲載した。この手法では、実際に、前段タスク担当のエージェントは、後を担当するエージェントが視野内に入るまで待ち、実行する。タスク毎に協力すべき仲間の同定と、その仲間を考慮した行動を学習したと言える。

次に、マルチエージェントシステムでは相互作用により、仕事をしないことが最適あるいはせざるも十分に学習することや、周囲の学習が先に進んだ影響で学習の機会を失い、行動の質に差のあるグループが発生する。この課題に対し、作業量や学習機会に不公平であると、それを感知して強化学習のランダム探索の確率を故意に上げて他のエージェントに学習機会を与え、公平な行動を実現する手法を提案した。逆に、学習が不十分なエージェントがいても、全体の要求条件を満たすならば、エネルギーの効率利用の観点からそれらは不要と判断し意図的に停止させ、各環境で真に必要なエージェント数まで自律的に削減させる手法を提案し、国際会議で発表した。

また不要なエージェントが、自ら停止させる手法を提案した。たとえば、環境に作業ロボット(エージェント)が多く、冗長に運用されていると、エネルギーを浪費するばかりではな

く、作業効率を下げることもある。冗長なエージェントは、他の箇所で有効利用されるべきである。ここでは、学習により、行動とエネルギーを合わせて学習させると、行動を促進するエージェントとエネルギー削減をめざし最終的には省エネのためにほぼ動かなくなるエージェント群にわかれることを発見した。後者については、排除して良いと考えられるが、その補完を残りのエージェントが徐々にカバーできる範囲で、削減できることを確認した。

エージェントの行動は、周辺の状況や場所、さらに近くにいるエージェントの種類によって変わる。したがって、条件により行動が変わるはずである。そのため、学習した協調行動の妥当性の説明のために、条件付きの協調行動の学習と、その条件毎にエージェントが着目している部分を抽出し、それを提示することで条件毎の行動の変化を把握することができるようになる。

より組織的な行動を生成するために、他のエージェントを内部にモデル化し、その行動予測から適切な行動を決定できる手法に着手した。他エージェントの次の行動もネットワークとして実装し、その結果を利用して自己の行動を出力するネットワークとからの構成となる。今後の実験を通して、その有効性を確認する予定である。

決定的なアルゴリズムによる複数エージェントの同時搬送問題も継続的に進めた。これは、深層(強化)学習のみに頼ると間違った行動を起こすこともあり、それが許されない環境も考慮するためである。今年度は、特に実環境を考慮し、移動に遅延が発生しても継続できる実装が容易な手法を提案した。エージェントの到達性を保証する証明もしめた。また、異なる輸送形態である水平・垂直輸送混合問題への適用を想定したアルゴリズムも提案した。ここで、水平は搬送ロボット、垂直移動はエレベータを想定している。さらに、複数のエージェントの搬送条件を緩めた新しい手法も提案し、論文誌に掲載されている。

上記で述べた研究は、当該分野でトップ会議の AAMAS2023 に採択されたとともに、国内外の論文誌、ICONIP 2022,PRIMA 2022 などでも発表している。

4.4 令和5年(2023年)度

2023年度(最終年度)は、継続して、本年度は、「行動ルールの自律的発現による最適組織行動の実現」と「能力の相互バランスと相互補完の実現と説明性への取り組み」に着手した。昨年度の後半から着手した他のエージェントのモデル化による組織行動の学習、modeling others as a ployer (MOP)の研究を進展させた。組織・グループ内で適切な協調行動の実現のために他のエージェントを内部にモデル化する手法 (modeling other agents, MOA)の研究は存在するが、エージェント数増加とともに計算コストも上がる。我々の MOP では、各エージェントが自分にもっとも重要で影響すると判断したエージェントとのみ通信し、その予定行動と内部に履歴(過去に巡り会ったエージェントの情報が反映)を受取り、Stackelberg equilibrium を求めて自己の行動を決める。競争と協調が混在した predator-prey 環境で、他の手法より効率が向上すること、組織として合理的な行動を起こせることを確認した。

これに加えて、全エージェントが自己利益を最大化すると社会的な利得が不可となる問題において、一部のエージェントが全体(他のグループメンバー)のために直接には利得とならない作業を自ら選択し、実行するような行動を学習することも確認した。一方、グループ作業において、管理者からエージェントの行動の一部を操作可能とする学習手法の試みである。これは今後の研究の方向性になると考えている。

決定的なアルゴリズムによる複数エージェントのグループ行動の一例として扱う同時搬送問題の研究も継続的に進めた。今期は、衝突回避などの行動に加え、複数のグループ(異なる能力を持つ)に属するエージェント間で、自己の行動計画と交渉を兼ねた手法を提案した。また、経路を可能な範囲で先読みしながら、衝突回避を可能とするアルゴリズムも進行しており、今後、実験を進め、成果をまとめる予定である。

最終年度に当たるため、主に研究成果を、英文論文誌に投稿し採択されている。また、説明性の応用として、ボードゲーム(将棋やチェスなど)において指し手を予想するだけでなく、その根拠を相手の立場も考慮して、自分に有利・不利な駒に分けて提示することを試みた。これについても IEEE Conference on Games にて発表した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計34件（うち査読付論文 26件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Miyashita Yuki, Sugawara Toshiharu	4. 巻 1
2. 論文標題 Scheduling and Negotiation Method for Double Synchronized Multi-Agent Pickup and Delivery Problem	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Proceedings of the 16th International Conference on Agents and Artificial Intelligence	6. 最初と最後の頁 321-332
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5220/0012390800003636	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 Bai Yidong, Sugawara Toshiharu	4. 巻 IEEE Xplore
2. 論文標題 Learning to Communicate Using Action Probabilities for Multi-Agent Cooperation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceeding of the 7th IEEE International Conference on Agents	6. 最初と最後の頁 26-31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICA58824.2023.00015	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 Ueki Shintaro, Toriumi Fujio, Sugawara Toshiharu	4. 巻 ACM digital Library
2. 論文標題 User's Position-Dependent Strategies in Consumer-Generated Media with Monetary Rewards	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2023 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Network Analysis and Mining	6. 最初と最後の頁 325-329
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3625007.3627503	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 Motokawa Yoshinari, Sugawara Toshiharu	4. 巻 225
2. 論文標題 Strategy-Following Multi-Agent Deep Reinforcement Learning through External High-Level Instruction	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Procedia Computer Science	6. 最初と最後の頁 2798 ~ 2807
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.procs.2023.10.272	査読の有無 有
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 Nakasone Gentoku, Sugawara Toshiharu	4. 巻 IEEE Xplore
2. 論文標題 Interpretation Using Classified Gradient-Based Saliency Maps for Two-Player Board Games	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the IEEE Conference on Games 2023 (IEEE CoG 2023)	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/CoG57401.2023.10333188	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 Motokawa Yoshinari, Sugawara Toshiharu	4. 巻 13(14) 8454
2. 論文標題 eDA3-X: Distributed Attentional Actor Architecture for Interpretability of Coordinated Behaviors in Multi-Agent Systems	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 1-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app13148454	査読の有無 有
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 Motokawa Yoshinari, Sugawara Toshiharu	4. 巻 IEEE Xplore
2. 論文標題 Interpretability for Conditional Coordinated Behavior in Multi-Agent Reinforcement Learning	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2023 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN 2023)	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IJCNN54540.2023.10191825	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 Zhong Junjie, Sugawara Toshiharu	4. 巻 CCIS 1826
2. 論文標題 Modeling Others as a Player in Non-cooperative Game for Multi-agent Coordination	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of 24th International Conference on Engineering Applications of Neural Networks	6. 最初と最後の頁 520 ~ 531
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-34204-2_42	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 Yuki Miyashita, Tomoki Yamauchi and Toshiharu Sugawara	4. 巻 1
2. 論文標題 Distributed Planning with Asynchronous Execution with Local Navigation for Multi-agent Pickup and Delivery Problem	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of AAMAS 2023	6. 最初と最後の頁 914-922
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5555/3545946.3598729	査読の有無 有
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 Matsumoto Kohei, Yoneda Keisuke, Sugawara Toshiharu	4. 巻 1
2. 論文標題 Autonomous Energy-Saving Behaviors with Fulfilling Requirements for Multi-Agent Cooperative Patrolling Problem	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the 15th International Conference on Agents and Artificial Intelligence	6. 最初と最後の頁 37-47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5220/0011645000003393	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 Tsuiki Sota, Yoneda Keisuke, Sugawara Toshiharu	4. 巻 LNAI 13786
2. 論文標題 Negotiation Protocol with Learned Handover of Important Tasks for Planned Suspensions in Multi-agent Patrol Problems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Agents and Artificial Intelligence (LNAI)	6. 最初と最後の頁 27 ~ 47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-22953-4_2	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 Yamauchi Tomoki, Miyashita Yuki, Sugawara Toshiharu	4. 巻 4-83
2. 論文標題 Efficient Path and Action Planning Method for Multi-Agent Pickup and Delivery Tasks under Environmental Constraints	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 SN Computer Science (Springer-Nature)	6. 最初と最後の頁 1-20,
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s42979-022-01475-5	査読の有無 有
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 Miyashita Yuki, Sugawara Toshiharu	4. 巻 IEEE Xplore
2. 論文標題 Flexible Exploration Strategies in Multi-Agent Reinforcement Learning for Instability by Mutual Learning	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 21st IEEE International Conference on Machine Learning and Applications	6. 最初と最後の頁 579-584
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICMLA55696.2022.00100	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 藤谷 雪北, 山内 智貴, 宮下 裕貴, 菅原 俊治	4. 巻 15-4
2. 論文標題 一時的な優先度と退避を用いた効率的なマルチエージェント配送	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌トランザクション:数理モデル化と応用 (TOM)	6. 最初と最後の頁 11-22
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 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 Miyashita Yuki, Sugawara Toshiharu	4. 巻 2-1-10
2. 論文標題 Two-stage reward allocation with decay for multi-agent coordinated behavior for sequential cooperative task by using deep reinforcement learning	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Autonomous Intelligent Systems	6. 最初と最後の頁 1-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s43684-022-00029-z	査読の有無 有
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 Bai Yidong, Sugawara Toshiharu	4. 巻 LNCS 13624
2. 論文標題 Imbalanced Equilibrium: Emergence of Social Asymmetric Coordinated Behavior in Multi-agent Games	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Neural Information Processing --- Proceedings of the 29th International Conference on Neural Information Processing (ICONIP 2022) Part II	6. 最初と最後の頁 305 ~ 316
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-30108-7_26	査読の有無 有
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 Yamauchi Tomoki、Miyashita Yuki、Sugawara Toshiharu	4. 巻 LNAI 13753
2. 論文標題 Task Selection Algorithm for Multi-Agent Pickup and Delivery with Time Synchronization	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 24th International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems (PRIMA 2022)	6. 最初と最後の頁 458 ~ 474
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-21203-1_27	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 Fujitani Yukita、Yamauchi Tomoki、Miyashita Yuki、Sugawara Toshiharu	4. 巻 207
2. 論文標題 Deadlock-Free Method for Multi-Agent Pickup and Delivery Problem Using Priority Inheritance with Temporary Priority	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Procedia Computer Science	6. 最初と最後の頁 1552 ~ 1561
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.procs.2022.09.212	査読の有無 有
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 Motokawa Yoshinari、Sugawara Toshiharu	4. 巻 -
2. 論文標題 Distributed Multi-Agent Deep Reinforcement Learning for Robust Coordination against Noise	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2022 International Joint Conference on Neural Networks	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IJCNN55064.2022.9892253	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 Oguni Yoshihiro、Miyashita Yuki、Sugawara Toshiharu	4. 巻 LNCS 13616
2. 論文標題 Shifting Reward Assignment for Learning Coordinated Behavior in Time-Limited Ordered Tasks	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 20th International Conference on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems (PAAMS 2022)	6. 最初と最後の頁 294 ~ 306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-18192-4_24	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 Raharja Stephen, Sugawara Toshiharu	4. 巻 -
2. 論文標題 Identifying Top-k Peaks Using an Extended Particle Swarm Optimization Algorithm with Re-diversification Mechanism	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 12th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics	6. 最初と最後の頁 359-366
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IIAIAAI55812.2022.00079	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 Miyashita Yuki, Yamauchi Tomoki, Sugawara Toshiharu	4. 巻 -
2. 論文標題 Distributed and Asynchronous Planning and Execution for Multi-agent Systems through Short-Sighted Conflict Resolution	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of 2022 IEEE 46th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC 2022)	6. 最初と最後の頁 14-23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/COMPSAC54236.2022.00012	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 Usui Yutaro, Toriumi Fujio, Sugawara Toshiharu	4. 巻 1015
2. 論文標題 Impact of Monetary Rewards on Users' Behavior in Social Media	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 10th International Conference on Complex Networks and their Applications X (Complex Networks 2021), Studies in Computational Intelligence	6. 最初と最後の頁 632 ~ 643
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-93409-5_52	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 Yan Yizhou, Toriumi Fujio, Sugawara Toshiharu	4. 巻 8
2. 論文標題 Understanding how retweets influence the behaviors of social networking service users via agent-based simulation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Computational Social Networks	6. 最初と最後の頁 Article 18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40649-021-00099-8	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 Motokawa Yoshinari, Sugawara Toshiharu	4. 巻 LNCS 12894
2. 論文標題 MAT-DQN: Toward Interpretable Multi-agent Deep Reinforcement Learning for Coordinated Activities	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 30th International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN 2021)	6. 最初と最後の頁 556 ~ 567
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-86380-7_45	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 Sato Koki, Sugawara Toshiharu	4. 巻 241
2. 論文標題 Multi-Agent Task Allocation Based on Reciprocal Trust in Distributed Environments	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Smart Innovation, Systems and Technologies Series (Springer-Nature)	6. 最初と最後の頁 477 ~ 488
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-16-2994-5_40	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 Tsuiki Sota, Yoneda Keisuke, Sugawara Toshiharu	4. 巻 34
2. 論文標題 Reducing Efficiency Degradation Due to Scheduled Agent Suspensions by Task Handover in Multi-Agent Cooperative Patrol Problems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The International FLAIRS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.32473/flairs.v34i1.128442	査読の有無 有
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 Miyashita Yuki, Sugawara Toshiharu	4. 巻 51
2. 論文標題 Analysis of coordinated behavior structures with multi-agent deep reinforcement learning	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Intelligence	6. 最初と最後の頁 1069 ~ 1085
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10489-020-01832-y	査読の有無 有
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 Yoshida Naoki, Noda Itsuki, Sugawara Toshiharu	4. 巻 1
2. 論文標題 Distributed Service Area Control for Ride Sharing by using Multi-Agent Deep Reinforcement Learning	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 13th International Conference on Agents and Artificial Intelligence	6. 最初と最後の頁 101-112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5220/0010310901010112	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 Hattori Katsuya, Sugawara Toshiharu	4. 巻 1
2. 論文標題 Effective Area Partitioning in a Multi-Agent Patrolling Domain for Better Efficiency	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 13th International Conference on Agents and Artificial Intelligence	6. 最初と最後の頁 281-288
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5220/0010241102810288	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 Miyashita Yuki, Sugawara Toshiharu	4. 巻 LNCS 12533
2. 論文標題 Coordinated Behavior for Sequential Cooperative Task Using Two-Stage Reward Assignment with Decay	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Neural Information Processing	6. 最初と最後の頁 257 ~ 269
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-63833-7_22	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 Peng Jiahao, Sugawara Toshiharu	4. 巻 LNAI 12568
2. 論文標題 Policy Advisory Module for Exploration Hindrance Problem in Multi-agent Deep Reinforcement Learning	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 23rd International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems	6. 最初と最後の頁 133 ~ 149
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-69322-0_9	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 山内 智貴、井手 理菜、菅原 俊治	4. 巻 J103-D
2. 論文標題 カメラ情報を用いた公平かつ効率的なエレベータ配車制御手法の提案と推定誤差の影響	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌D 情報・システム	6. 最初と最後の頁 776 ~ 787
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transinfj.2019SGP0006	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 Zhu Xiaohui, Sugawara Toshiharu	4. 巻 IEEE Xplore
2. 論文標題 Meta-Reward Model Based on Trajectory Data with k-Nearest Neighbors Method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of 2020 International Conference on Neural Networks	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IJCNN48605.2020.9207388	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 -

〔学会発表〕 計24件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 藤澤陽祐, 菅原俊治
2. 発表標題 分散強化学習によるLifelong MAPF解決手法における近隣エージェントとの情報共有の改善
3. 学会等名 2024 Winter Symposium on Multi Agent Systems for Harmonization (SMASH 2024 Winter) 日本ソフトウェア科学会 / 知能システム研究会 (情報処理学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 井口 要, 菅原 俊治
2. 発表標題 クラスタリングと経験共有を用いたマルチエージェント強化学習の学習手法の提案
3. 学会等名 2024 Winter Symposium on Multi Agent Systems for Harmonization (SMASH 2024 Winter) 日本ソフトウェア科学会 / 知能システム研究会 (情報処理学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 山田功太郎, 菅原俊治
2. 発表標題 Particle Swarm Optimizationによる重複回避を考慮したマルチエージェントフォーメーション形成手法の提案
3. 学会等名 2024 Winter Symposium on Multi Agent Systems for Harmonization (SMASH 2024 Winter) 日本ソフトウェア科学会 / 知能システム研究会 (情報処理学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 鈴木公平, 菅原俊治
2. 発表標題 マルチエージェント深層強化学習によるモバイルエッジコンピューティングにおけるパフォーマンス改善
3. 学会等名 2024 Winter Symposium on Multi Agent Systems for Harmonization (SMASH 2024 Winter) 日本ソフトウェア科学会 / 知能システム研究会 (情報処理学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 元川善就, 菅原俊治
2. 発表標題 sfDA6-X: マルチエージェント深層強化学習における戦略指令に基づいた協調行動の操作性検証
3. 学会等名 合同エージェントワークショップ&シンポジウム2023 (JAWS2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 仲宗根元徳, 菅原俊治
2. 発表標題 フィルター付き顕著性マップを用いたチェスエージェント解釈手法
3. 学会等名 合同エージェントワークショップ&シンポジウム2023 (JAWS2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 島田大輝, 宮下裕貴, 菅原俊治
2. 発表標題 マルチエージェント搬送問題における柔軟な時間窓を利用した優先度継承法の拡張
3. 学会等名 合同エージェントワークショップ&シンポジウム2023 (JAWS2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 宮下裕貴, 山内智貴, 菅原俊治
2. 発表標題 マルチエージェント資材搬送問題における動作遅延に対応した自律分散アルゴリズムの提案
3. 学会等名 人工知能と知識処理研究会技術研究報告 (電子情報通信学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Rashmi Tilak and Toshiharu Sugawara
2. 発表標題 Agent based Modeling and Reinforcement Learning for optimal allocation of resources
3. 学会等名 人工知能と知識処理研究会技術研究報告 (電子情報通信学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 仲宗根元徳, 菅原俊治
2. 発表標題 顕著性マップを用いた将棋用ニューラルネットワークの可視化
3. 学会等名 人工知能と知識処理研究会技術研究報告 (電子情報通信学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 元川善就, 菅原俊治
2. 発表標題 DA6-X: マルチエージェント深層強化学習における条件付き協調行動の解釈性確立
3. 学会等名 知能システム研究会 (情報処理学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山内智貴, 宮下裕貴, 菅原俊治
2. 発表標題 時間同期を伴うマルチエージェント搬送問題のための自律的なタスク選択アルゴリズムの提案
3. 学会等名 知能システム研究会 (情報処理学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Junjie Zhong and Toshiharu Sugawara
2. 発表標題 Temporal Modeling of Players for Multi-agent Coordination in Non-Cooperative Game
3. 学会等名 知能システム研究会 (情報処理学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松本航平, 米田圭佑, 菅原俊治
2. 発表標題 マルチエージェント協調巡回問題におけるエネルギー消費抑制手法の提案
3. 学会等名 知能システム研究会 (情報処理学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤谷雪太, 山内 智貴, 宮下 裕貴, 菅原俊治
2. 発表標題 暫時的な優先度を導入したPIBT手法の拡張
3. 学会等名 第138回情報処理学会数理モデル化と問題解決研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 元川善就, 菅原俊治
2. 発表標題 DA3: マルチエージェント深層強化学習における協調行動の解釈性確立と対ノイズ性能の検証
3. 学会等名 知能システム研究会 (情報処理学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小國祥寛, 宮下裕貴, 菅原俊治
2. 発表標題 時間制限付き半順序作業における協調行動学習のための漸進的報酬設計の提案
3. 学会等名 知能システム研究会 (情報処理学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木嘉恵, 菅原俊治
2. 発表標題 負荷均等性を考慮した蟻コロニー最適化に基づく複数UAVの3次元フォーメーション遷移
3. 学会等名 人工知能と知識処理研究会 (電子情報通信学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 李 宗岳, 菅原俊治
2. 発表標題 スパース報酬のマルチエージェント強化学習における優先度付き経験再生の導入
3. 学会等名 人工知能と知識処理研究会 (電子情報通信学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 臼井 佑太郎, 鳥海 不二夫, 菅原 俊治
2. 発表標題 SNSにおける記事紹介による活性化法の提案
3. 学会等名 第35回人工知能学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 諏訪 凌太, 菅原 俊治
2. 発表標題 マルチエージェント深層強化学習を利用した微視的道路交通における自動運転方策の提案
3. 学会等名 人工知能と知識処理研究会 (電子情報通信学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉田 直樹, 野田 五十樹, 菅原 俊治
2. 発表標題 マルチエージェント深層強化学習を用いたライドシェアのサービスエリア制御とスケーラビリティの確保
3. 学会等名 SMASH 20 Summer Symposium
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 立木 創太, 菅原 俊治
2. 発表標題 マルチエージェント協調巡回問題における交渉を通じたエージェントの計画停止の自律的な学習手法の提案
3. 学会等名 第34回人工知能学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山内 智貴, 宮下 裕貴, 菅原 俊治
2. 発表標題 マルチエージェント搬送問題におけるエージェントの状態を考慮した動作計画と競合回避アルゴリズムの提案
3. 学会等名 第34回人工知能学会全国大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	鳥海 不二夫 (Toriumi Fujio)	東京大学・工学系研究科 システム創成学専攻・教授	
研究協力者	浅谷 公威 (Asatani Kimitaka)	東京大学・技術経営戦略学専攻・特任講師	

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
---------	---------