

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 14 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560501

研究課題名(和文) 協調学習アルゴリズムを用いた公正なシステム運用方式の獲得技術

研究課題名(英文) Acquisition Technology of Fair System Operation Methods Using Collaborative Learning Algorithm

研究代表者

松本 啓之亮 (MATSUMOTO, Keinosuke)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90285304

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：システムを構成単位ごとに自律的に行動するマルチエージェントシステムとしてモデル化した。しかし現実のシステムでは不確実性や計測不能な未知のパラメータが存在するため、タスクやゴールへの到達方法を事前にあらゆる場合を想定し、予め設定することは非常に困難である。このため、試行錯誤を通して環境に適応する学習制御の枠組みである協調学習アルゴリズムを開発した。この手法を用いて公正な運用方式を獲得し、最終的にシステムを現実の人間社会に応用した場合の整合性を検証する環境として利用可能であることを確認した。

研究成果の概要(英文)：A system has been modeled for its every components as multiagent systems that act autonomously. Since actual system has uncertain or immeasurable parameters, it is very difficult to set up the attainment method to a task or goal in advance for all cases. Therefore, a collaborative learning algorithm has been developed. The algorithm is a framework of the learning control which adapts to marginal environment through trial and error. This technique acquires fair operation methods, and it has been confirmed that it could use as environment which verifies the consistency in applying the system to actual human society.

研究分野：工学

キーワード：機械学習 協調学習 エージェント

1. 研究開始当初の背景

システムは、現在では規制緩和やグローバル化の波により、その存在環境が大きく変化し、従来とは全く異なる戦略を自らもち、自律的に行動して行かねばならなくなっている。このような状況下では、社会的な運用方式が自然発生的に醸成されるのを待っている、取り返しのつかない事態に陥る危険性が大である。

また現実のシステムでは不確実性や計測不能な未知のパラメータが存在するため、業務の達成方法やゴールへの到達方法を予めあらゆる事態を想定し、事前にプログラミングしておくことが非常に困難である。

さらにシステムを現実の人間社会に応用した場合の整合性を検証する環境として既存の検証法は、机上の検討法のみであった。

2. 研究の目的

研究代表者はシステムをエージェントでモデル化し、各エージェントの満足度を損なうことなくシステム全体の評価、すなわち、社会効用の最大化を図る交渉プロトコルを初めて開発している。本研究は研究代表者の発明であるこの交渉プロトコルを利用して、システムを現実の人間社会に応用した場合の整合性を検証する環境を提供しようとするものである。本手法は研究代表者らの長年のマルチエージェントシステム研究から見出された、社会効用の最大化を図るという特異な性質を利用したこれまでにない独自の方法であり、事前にシステムを正確に検証することができる。

現実のシステムでは不確実性や計測不能な未知のパラメータが存在するため、タスクの達成方法やゴールへの到達方法を事前にあらゆる場合を想定し予め設定することは非常に困難である。このため、試行錯誤を通して環境に適應する学習制御の枠組みである協調学習アルゴリズムを開発することにより、予め事態を想定してプログラミングしておくことが困難な環境の変化に対しても自動的に追従することが期待できる。

既存の検証法としては、机上の検討法があるが、本手法はこれらのいずれとも原理が異なり、マルチエージェントによるシミュレーションであるため、想定外の状況が創発される可能性をもつ点で他の方法より優位性を持つと考えられる。本研究で開発する協調学習アルゴリズムが実用化されれば、ネットワーク通信技術と組み合わせることにより、システムを公正な状況下で運用させることができ、システムの信頼性が大幅に向上するものと期待される。

3. 研究の方法

(1) 公正なシステムの構築

さまざまな制約の下で秩序を維持してきたシステムは、現在ではその存在環境が大きく変化し、従来とは全く異なる戦略を自らもち、自律的に行動して行かねばならなくなっている。このような状況下では、運用方式が自然発生的に醸成されるのを待っている、取り返しのつかない事態に陥る危険性が大であるため、公正なシステム運用方式を獲得する枠組みをシステムのインフラとして組み込んでおくことが必要不可欠である。

(2) マシンツウマシン技術

公正なシステムを構築する土台として、多くの機器を有線・無線を問わずネットワーク化するマシンツウマシン (Machine-to-Machine: M2M) 技術を利用する。機器がネットワーク化されるとその価値が増し、更に多くの機器やシステムが接続されるとそのネットワークの価値が更に増すというアイデアに基づいている。機器は他の機器のデータを単に集めるだけでなく、その情報に基づいて行動をとる。M2M システムが送る情報を集めるセンサは広く普及し、それらがさらに大規模システムに組み込まれる状況にある。この手法が次世代インターネットの主要なアプリケーションとなることが確実視されている。

(3) 協調学習アルゴリズム

実フィールド環境では、不確実性や計測不能な未知のパラメータが存在するため、タスクの達成方法やゴールへの到達方法を事前にあらゆる場合を想定し、予め設定することは非常に難しいので、本研究では試行錯誤を通して環境に適應する学習制御の枠組みである協調学習アルゴリズムを採用する。ニューラルネットワークのようにエージェントに状態入力に対する正しい行動出力を明示的に示すのではなく、達成させたいタスク（この場合は、社会効用の最大化）への到達度を報酬（スカラー値）という形で指示しておけば、ゴールへの到達方法（この場合は、公正なシステム運用方式）はエージェントの試行錯誤学習により自動的に獲得される。つまり設計者が何を達成すべきかを指示しておけば、どのように実現するかをエージェントが学習により自動的に獲得する協調学習アルゴリズムの確立を目指す。協調学習アルゴリズムは、自然災害のような急激な変化やシステムの経年変化のような緩慢な変化など予め事態を想定してプログラミングしておくことが困難な環境の変化に対しても自動的に追従することが期待できる。

4. 研究成果

(1) 公正なシステムのモデル化

社会インフラを構成するシステムをその

構成単位ごとに自律的に行動するマルチエージェントシステムとしてモデル化した。図1に示すように、各エージェントの構造は知的判断部、基本機能部、M2M関連部からなる。ネットワーク通信により SOAP(Simple Object Access Protocol)プロトコルを介して結ばれるマルチエージェントシステムについて基本機能を定義し、その機能をモデル駆動開発手法を用いて一部実装した。定義された作業が協調をとりながら実行されることを確認するためプロトコルに準拠したテストを実施した。実フィールド環境では、不確実性や計測不能な未知のパラメータが存在するため、タスクの達成方法やゴールへの到達方法を事前にあらゆる場合を想定し、プログラミングすることは非常に困難であるため、本研究では試行錯誤を通して環境に適應する学習制御の枠組みである協調学習アルゴリズムを開発した。

(2) 協調学習アルゴリズム開発

協調学習の適用例として追跡問題にQ学習を適用した。完全知覚学習と呼ばれる学習法で学習すると、エージェントの数が多くなるにつれて状態数の爆発が起きてしまうという問題がある。そこで、着目するエージェントの数を2体に限定することにより、状態数を減らしてQ学習の速度を速くした。しかし、知覚精度を下げて得られる知識を減らしていることにより、学習の後期における行動選択の精度が低下する問題がおこる。そのため、長期的な性能は完全知覚学習と比較すると劣ってしまう。そこで、切り換え学習を用いる。Q学習において、特に時間のかかる初期の学習を知覚精度を下げて高速化し、ある程度学習が進んだ段階で完全知覚に戻すことを考える。ここで、初期の知覚精度を下げた影響は完全になくなるため、行動判断の精度を完全に保つことはできない。この問題を解決するために学習を切り換えるため

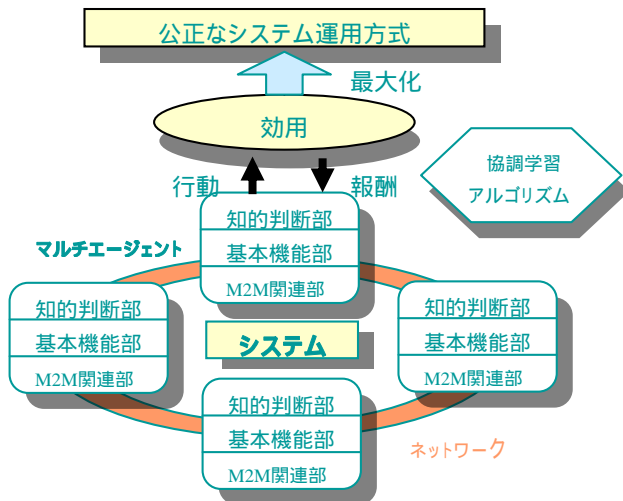


図1 公正なシステムのモデル

の、適切なタイミングを得るためにゴールデンドロスを利用した。

ゴールデンドロスとは、移動平均線を利用したチャート分析の一つである。短期の移動平均線が長期の移動平均線を下から上に突き抜けるようなチャートを指す。株価分析によく用いられ、ゴールデンドロスが見られると短期の買い需要が高まっていることを示し、買いのサインとされる。このように、ゴールデンドロスは過去のデータを利用して数値上昇予測をしており、下に凸であるグラフの上昇部分の検出に優れている。株価分析に用いるのが主流であるが、学習精度が劣化して捕獲ステップ数が増加するタイミングを見つけるのにも相性が良いと考えられる。このゴールデンドロスを利用した切り換え学習法を考案した。その後、適用実験を通して適切な切り換えタイミングを確認し、提案手法が設定された学習率・割引率に応じて柔軟に適切な切り換えタイミングを自動検出し、図2に示すように切り換え学習により効率的な学習ができることを確認した。公正なシステム運用方式を獲得する協調学習法であるQ学習を十分確立し、検証するために協調学習の典型的なベンチマークである追跡問題を例に徹底的にアルゴリズムを見直した。

(3) プロトタイプシステム構築と評価

エージェントの知的判断部を実現してシステムとしてまとめ、実用可能性を検証できる程度の規模をもつプロトタイプシステムを構築した。コスト、資源、処理時間などのさまざまな制約条件下で、分散システムの各評価指標を統一的な基準に照らして、システム全体として効果的な信頼性、ロバスト性、公共性などの社会効用の最大化策を選択し、バランスの取れた分散システムの構成を決定した。提案手法の有効性を示し実用可能性を検証するために必要な基礎データを収集するとともにアルゴリズムの評価と性能向上を図った。さらにこれまでに得られた知見をもとに最終的にシステムを現実の人間社会に応用した場合の整合性を検証する環境として利用可能であることを確認した。

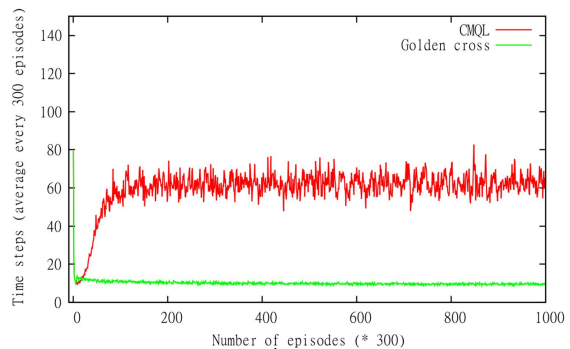


図2 提案手法(緑線)と不完全知覚(赤線)の比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計7件)

T. Mizuno, K. Matsumoto, and N. Mori, "Applying Component-Based Technologies to Model Driven Software Development," *Electronics and Communications in Japan*, Vol. 98, 2015, 掲載確定, 査読有

長谷川 拓, 森直樹, 松本啓之亮: 機械学習アルゴリズムを導入した適応度景観推定型進化型計算の提案 システム制御情報学会論文誌, Vol. 28, No. 5, 2015 掲載確定, 査読有

伊木美太輔, 松本啓之亮, 森直樹: 追跡問題におけるゴールデンクロスを利用した切り換え Q 学習, *電気学会論文誌 C*, Vol. 134, No. 9, pp. 1318-1324, 2014, 査読有

DOI: 10.1541/ieejieiss.134.1318

水野友貴, 松本啓之亮, 森直樹: モデル駆動ソフトウェア開発へのコンポーネントベース技術の適用, *電気学会論文誌 C*, Vol. 133, No. 12, pp. 2275-2281, 2013, 査読有

DOI: 10.1541/ieejieiss.133.2275

T. Okabe, K. Matsumoto and N. Mori, "A Supporting System for Cloud Service Integration Based on User Profiles," *Electrical and Communications in Japan*, Vol. 96, No. 9, pp. 14-22, John Wiley & Sons, Inc., 2013, 査読有

DOI: 10.1002/ecj.11444

T. Mizuno, K. Matsumoto, and N. Mori, "A Model-Driven Development Method for Management Information Systems," *Electrical and Communications in Japan*, Vol. 96, No. 2, pp. 16-24, John Wiley & Sons, Inc., 2013, 査読有

DOI: 10.1002/ecj.11445

伊木美太輔, 松本啓之亮, 森直樹: 追跡問題における状態数とメモリ量の削減に着目した Q 学習, *システム制御情報学会論文誌*, Vol. 25, No. 10, pp. 266-271, 2012, 査読有

〔学会発表〕(計15件)

K. Matsumoto, R. Uenishi, and N. Mori, "A Round-Trip Engineering Method for Activity Diagrams and Source Code," *The Eleventh International Conference on Autonomic and Autonomous Systems*, 2015年5月24日~2015年5月29日, 発表確定, Rome, Italy

後原拓弥, 松本啓之亮, 森直樹: 迷路環境追跡問題におけるエージェント行動

履歴の有効利用, 第59回システム制御情報学会研究発表講演会, 2015年5月20~22日, 発表確定, 大阪中央電気倶楽部

住田和也, 松本啓之亮, 森直樹: 人工株式会社市場分析のための標準エージェントセットに関する一考察, 第59回システム制御情報学会研究発表講演会, 2015年5月20~22日, 発表確定, 大阪中央電気倶楽部

An Nguyen Le, K. Matsumoto, and N. Mori, "Japanese-Vietnamese Translation for Simple Sentences and Bilingual Corpus Improvement," *The Third Asian Conference on Information Systems*, 2014年12月2日, Nha Trang, Viet Nam

K. Matsumoto, T. Mizuno, and N. Mori, "A Method of Applying Component-Based Software Technologies to Model Driven Development," *Proc. of the Third International Conference on Intelligent Systems and Applications*, pp. 54-59, Seville, Spain, June 22-26, 2014

後原拓弥, 松本啓之亮, 森直樹: 追跡問題におけるエージェント Q 学習の中央集権化, 第58回システム制御情報学会研究発表講演会, 334-6, 2014年5月23日, 京都テルサ

清原貴史, 松本啓之亮, 森直樹: アクティビティ図の再利用支援手法における検索法の改善, 第58回システム制御情報学会研究発表講演会, 344-2, 2014年5月23日, 京都テルサ

K. Matsumoto, T. Ikimi, and N. Mori, "A Switching Q-Learning Approach Focusing on Partial States," *Proc. of the Seventh IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management, and Control*, pp. 982-986, Saint Petersburg, Russia, June 19-21, 2013

伊木美太輔, 松本啓之亮, 森直樹, 後原拓弥: 追跡問題におけるゴールデンクロスを利用した Q 学習, 第57回システム制御情報学会研究発表講演会, 212-3, 2013年5月16日, 兵庫県民会館

名越公昭, 松本啓之亮, 森直樹: アクティビティ図から実行可能コードへの自動生成, 第57回システム制御情報学会研究発表講演会, 226-4, 2013年5月16日, 兵庫県民会館

上西諒, 松本啓之亮, 森直樹: アクティビティ図へのラウンドトリップエンジニアリング実装, 第57回システム制御情報学会研究発表講演会, 226-5, 2013年5月16日, 兵庫県民会館

清原貴史, 松本啓之亮, 森直樹: モデルコーパスを用いたアクティビティ図の再利用支援, 第 57 回システム制御情報学会研究発表講演会, 226-6, 2013 年 5 月 16 日, 兵庫県民会館

伊木美太輔, 松本啓之亮, 森直樹: 追跡問題におけるゴールデンクロスを利用した切り換え学習, 第 55 回自動制御連合講演会, 1L203, 2012 年 11 月 17 日, 京都大学吉田キャンパス

K. Matsumoto, T. Okabe, and N. Mori, "A Cloud System for Supporting Web Service Integration Based on User Preferences," Proc. of the 14th International Conference on Mathematical Methods, Computational Techniques and Intelligent Systems, pp. 56-61, Porto, Portugal, July 1, 2012

伊木美太輔, 松本啓之亮, 森直樹: 追跡問題における状態数とメモリの削減に着目した強化学習, 第 56 回システム制御情報学会研究発表講演会, M25-6, 2012 年 5 月 21 日, 京都テルサ

〔図書〕(計 1 件)

M. Ueno, N. Mori and K. Matsumoto, Advances in Intelligent Systems and Computing, Total 563 pages (pp. 459-467), Springer International Publishing, 2014

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松本 啓之亮 (MATSUMOTO, Keinosuke)

大阪府立大学・工学研究科・教授

研究者番号: 9 0 2 8 5 3 0 4

(2) 連携研究者

森 直樹 (MORI, Naoki)

大阪府立大学・工学研究科・准教授

研究者番号: 9 0 2 9 5 7 1 7