

平成 31 年 5 月 7 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06424

研究課題名(和文) 強化学習を用いたサイバーフィジカルシステムのフレキシブルな開発技術

研究課題名(英文) Flexible Development Technology for Cyber Physical Systems Using Reinforcement Learning

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)・客員研究員

研究者番号：90285304

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：サイバーフィジカルシステムを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、また強化学習を改善して他のエージェントの行動履歴を共有し、学習の高速化を図る新しい強化学習法を開発した。さらにソフトウェアの設計図となるモデルを開発の中心に置き、モデルの再利用や異なる種類のモデルへの変換、モデルから実装成果物の自動生成を可能とするモデル駆動開発手法を用いると、提案手法はシステムを現実の世界に応用した場合のフレキシブルな開発技術として実用化に耐えうる技術であるとの見通しを得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究代表者が開発したシステム効用の最大化を図る交渉プロトコルを適用することにより、システム評価を最大化でき、さらに実フィールド環境では不確実性や計測不能な未知パラメータが存在するため、試行錯誤を通して環境に適応する強化学習を採用した。これらによりネットワーク通信技術と組み合わせシステムを正当な状況下で運用させることができ、信頼性・安全性が大幅に向上する。またマルチエージェントによるシミュレーションを利用するため、想定外の状況が創発される可能性をもつ点で他の手法より優位性を持つ。

研究成果の概要(英文)：Cyber physical systems are modeled as multi-agent systems that act autonomously. To speed up learning, we have developed a new reinforcement learning method that shares other agents' action histories. Furthermore, by placing models that are the design drawing of software at the center of development, model-driven development method enables model reuse, conversion to different types of models, and automatic generation of source code from the models. We have got the prospect that the proposed method can withstand practical use as a flexible development method if the method is applied to the real world.

研究分野：システム工学

キーワード：サイバーフィジカルシステム 機械学習 エージェント モデル駆動開発

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

研究代表者は世界に先駆けてシステム効用の最大化を図る交渉プロトコルを開発し、システムをエージェントでモデル化して、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を最大化する方法を考案した。さらにサイバーフィジカルシステム(CPS)の要素技術であるモデルからのソフトウェア自動生成法についても研究し、国際会議 ICAS 2015 において Best Paper Award を受賞した。この論文では自動生成されたソースコードに変更を加えるとモデルとの整合性が低下するため、その解決法としてラウンドトリップエンジニアリングを提案した。ソースコードやモデルの変更を、もう一方と同期しながらフレキシブルにシステムを開発することができる。以上は、システムのフレキシブルな開発可能性を強く示唆するものである。

2. 研究の目的

本研究はシステム評価の最大化を図る交渉プロトコルを、CPS に適用した場合のフレキシブルな開発技術を提供しようとするものである。CPS とは現実世界をセンサやデータを通じてサイバー空間に取り込み、サイバー空間におけるシミュレーション・分析による解析結果や予測を現実世界にフィードバックする仕組みである。本研究で開発する強化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と、システムを正当な状況下で運用させることができ、システムの信頼性・安全性が大幅に向上するものと期待される。

3. 研究の方法

研究代表者がこれまでに行ってきたいくつかの事業と研究課題で取り組んできたマルチエージェントモデルやシステムの適正な運用ルールを自動獲得する基盤技術の進化や新たな機能の開発を推進した。開発した効用の最大化を図る交渉プロトコルの実用性、信頼性はこれまでの研究により実験室レベルで確認済みである。今回はより実用化をめざして現実のシステム等に応用した以下の課題実現に取り組んだ。1. 正当なシステム環境の設定 2. 分散型システムアーキテクチャの設計 3. エージェント機能の自動生成 4. 強化学習アルゴリズム開発 5. プロトタイプシステム構築 6. シミュレーションによる評価

4. 研究成果

(1) システム環境の設定とモデル化

CPS を図 1 に示すように、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、各エージェントの構造は知的判断部、基本機能部、ネットワーク通信関連部からなるものとした。各機能は UML (Unified Modeling Language) などのモデリング言語を用いて図式的にモデル化し、モデル駆動開発 MDD (Model-Driven Development) により、ソースコードをモデルから自動生成した。これにより開発コストの削減や設計と実装の齟齬を減らすことが期待でき、さらに一つのモデルから多様なプラットフォームのソースコードを生成できる。本研究ではモデリングツールを活用してクラス図と関連付けた実行可能 UML からソースコー

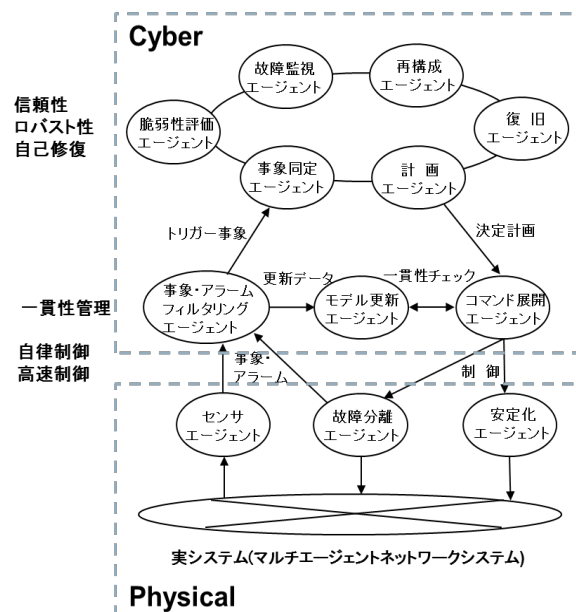


図1 サイバーフィジカルシステムの例

ドを自動生成する方法を開発した。

(2) 行動履歴共有強化学習アルゴリズム

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設定することは非常に困難となる。このため本研究では試行錯誤を通して環境に適応する強化学習を採用した。適用例として追跡問題に強化学習を適用した。他のハンタの行動を学習することにより、少ない試行回数で適した行動を学習できると考えられる。そこで他のハンタの行動履歴をもとに自身のQ値を更新する手法を考案した。提案手法は学習が早くなっている(図2でTime stepsはゴールへの到達時間に対応する)が、最終的な学習結果は行動履歴を共有しない手法と比べて悪くなる傾向がある。このため、他のハンタの行動履歴を利用して学習する際の学習率をエピソード数に応じて減少させ、学習が進むにつれて他のハンタの行動履歴による学習への影響を少なくする。これにより、学習初期は他のハンタの行動履歴を活用し、学習が進むと自分の履歴のみを利用した学習に近づくこととなる。図2に示すように提案手法(TECMQL)は学習初期の効率を維持したまま他手法と同等の学習結果を示している。

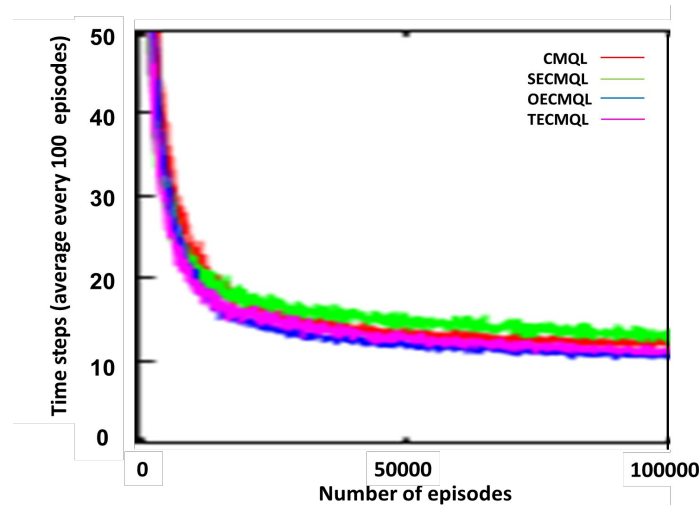


図2 提案手法(TECMQL)と他手法との比較

(3) プロトタイプシステム構築と評価

ネットワーク上で実用可能性を検証できる程度の規模をもつ分散型のプロトタイプシステムを構築した。これにより、提案手法の有効性を具体的な事例を通して示すことができた。さらにこれまでに得られた知見であるソフトウェアの設計図となるモデルを開発の中心に置き、モデルの再利用や異なる種類のモデルへの変換、モデルから実装成果物の自動生成を含むモデル駆動開発手法を用いると、提案手法はシステムを現実の世界に応用した場合のフレキシブルな開発技術として実用化に耐えうる技術であるとの見通しを得た。本手法はマルチエージェントによるシミュレーションを利用するため、既存の開発法のいずれとも原理が異なり、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。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計7件)

福田 清人, 森 直樹, 松本 啓之亮, 岡田 真, ストーリー解析のための文の分散表現に基づく小説の自動セグメンテーション手法の提案, 芸術科学会論文誌, 査読有, Vol. 18, No. 1, pp. 63-75, 2019.

<https://www.art-science.org/journal/v18n1/v18n1pp63/artsci-v18n1pp63.pdf>

K. Matsumoto, K. Nakoshi, and N. Mori, "Intelligent Software Development Method Based on Model Driven Architecture," International Journal on Advances in Software,

査読有, Vol. 11, No. 1 & 2, pp. 88-96, 2018.

<http://www.ariajournals.org/software>

K. Matsumoto, T. Gohara, and N. Mori, "Learning Method by Sharing Activity Histories in Multiagent Environment," International Journal on Advances in Intelligent Systems, 査読有, Vol. 10, No. 1 & 2, pp. 71-80, 2017.

http://www.ariajournals.org/intelligent_systems

長谷川 拓, 森 直樹, 松本 啓之亮, 多層個体群を有する遺伝的プログラミングの提案および Boolean 問題への適用, 進化計算学会論文誌, 査読有, Vol. 8, No. 2, pp. 52-60, 2017. <https://doi.org/10.11394/tjpnsec.8.52>

長谷川 拓, 井上 和之, 荒木 悠太, 森 直樹, 松本 啓之亮, 劣個体分布に基づく DII analysis の提案と応用, 進化計算学会論文誌, 査読有, Vol. 7, No. 2, pp. 13-23, 2016. DOI: 10.1541/ieejjeiss.133.2275

T. Hasegawa, Y. Araki, N. Mori and K. Matsumoto, "Analysis of Parameter-less Population Pyramid on the Local Distribution of Inferior Individuals," Intelligent and Evolutionary Systems, 査読有, Vol. 8, pp. 149-164, 2016.

DOI: 10.1007/978-3-319-49049-6_11

K. Tsukada, T. Hasegawa, N. Mori and K. Matsumoto, "CMA-ES with Surrogate Model Adapting to Fitness Landscape," Intelligent and Evolutionary Systems, 査読有, Vol. 8, pp. 417-429, 2016.

DOI: 10.1007/978-3-319-49049-6_30

[学会発表](計 19 件)

中野 洋志, 大嶺 貴晃, 森 直樹, 松本 啓之亮, 平野 秀明, 北村 聖一, 森 一之, U-Mart システムを基盤としたエネルギー取引シミュレータの提案, 電気学会 電子・情報・システム部門大会, 2018

近藤 まなみ, 森 直樹, 松本 啓之亮, LSTM を用いた人狼ゲームエージェントの戦略獲得手法の提案, 電気学会 電子・情報・システム部門大会, 2018

森 大典, 森 直樹, 松本 啓之亮, 渡邊 順一郎, 深層強化学習を用いたデイトレード戦略獲得手法の検討, 電気学会 電子・情報・システム部門大会, 2018

M. Kondoh, K. Matsumoto, and N. Mori, "Development of Agent Predicting Werewolf with Deep Learning," 15th International Symposium on Distributed Computing and Artificial Intelligence, 2018.

K. Fukuda, N. Mori and K. Matsumoto, "A Novel Sentence Vector Generation Method Based on Autoencoder and Bi-Directional LSTM," 15th International Symposium on Distributed Computing and Artificial Intelligence, 2018.

S. Fujino, N. Mori and K. Matsumoto, "Recognizing the Order of Four-Scene Comics by Evolutionary Deep Learning," 15th International Symposium on Distributed Computing and Artificial Intelligence, 2018.

R. Iwasaki, T. Hasegawa, N. Mori, and K. Matsumoto, "Relaxation Method of Convolutional Neural Network for Natural Language Processing," 15th International Symposium on Distributed Computing and Artificial Intelligence, 2018.

近藤 まなみ, 長谷川 拓, 森 直樹, 松本 啓之亮, LSTM を用いた人狼予測と人狼ゲーム分析, 人工知能学会全国大会, 2018

M. Kondoh, K. Fukuda, T. Hasegawa, K. Matsumoto, and N. Mori, "Agent of Werewolf Game Applying Deep Learning Predictions," 6th Asian Conference on Information Systems, 2017.

K. Matsumoto, K. Nakoshi, and N. Mori, "Intelligent Software Development Method by Model Driven Architecture," 6th International Conference on Intelligent Systems and Applications, 2017.

T. Hasegawa, N. Mori, and K. Matsumoto, "Analysis of Scaling for Fitness Landscape Learning Evolutionary Computation Based on CMA-ES," Genetic and Evolutionary Computation Conference, 2017.

山本 元気, 松本 啓之亮, 森 直樹, パーツの組合せによる印象を考慮した自動キャラクターデザインシステム, 第 61 回システム制御情報学会研究発表講演会, 2017

田中 良幸, 松本 啓之亮, 森 直樹, 遺伝的プログラミングを用いた決定木の最適化, 第 61 回システム制御情報学会研究発表講演会, 2017

近藤 まなみ, 松本 啓之亮, 森 直樹, 深層学習を用いた人狼エージェントの行動予測, 第 61 回システム制御情報学会研究発表講演会, 2017

K. Matsumoto, T. Gohara, and N. Mori, "Learning Method by Sharing Activity Logs in Multiagent Environment," 10th International Conference on Advanced Engineering Computing and Applications in Sciences, 2016.

住田 和也, 松本 啓之亮, 森 直樹, 株式市場における人工市場と現実市場の類似度指標についての考察, 電気学会 電子・情報・システム部門大会, 2016

丸本 晃大, 松本 啓之亮, 森 直樹, アクティビティ図の再利用のための検索法, 第 60 回

システム制御情報学会研究発表講演会，2016

山本 元気，松本 啓之亮，森 直樹，単語と画像の印象的相関関係に基づく顔画像生成システム，第 60 回システム制御情報学会研究発表講演会，2016

住田 和也，松本 啓之亮，森 直樹，株価データの解析における Deep Learning の導入，第 60 回システム制御情報学会研究発表講演会，2016

6 . 研究組織

(1)連携研究者

連携研究者氏名：森 直樹

ローマ字氏名：(MORI, Naoki)

所属研究機関名：大阪府立大学

部局名：大学院工学研究科

職名：准教授

研究者番号 (8 桁) : 90295717

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、研究者個人に帰属されます。