

令和元年6月3日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K12488

研究課題名(和文)大規模エージェントシミュレーションにおける途中分岐実行の実現とその応用

研究課題名(英文) Introduction of a branching facility into large-scale agent simulation

研究代表者

鎌田 十三郎 (KAMADA, Tomio)

神戸大学・システム情報学研究科・講師

研究者番号：20304131

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、大規模エージェントシミュレーションの実行中に、そのシミュレーション世界を複数に分岐し、それぞれの並行世界のシミュレーションを並列実行するための機能を、大規模並列計算機向けに実現することを目標とする。このため、大規模シミュレーションにおいて効率的なデータ管理を担うことのできる分散集合ライブラリを開発すると同時に、世界の複製・再配置機能を拡充し、加えて、人工市場シミュレーション基盤 PIham 上に分岐実行機能を実現した。また、当該技術を社会シミュレーション分野で利用するための応用法についても検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

社会事象シミュレーションなどの分野では、モデルの検証や導入ルールの検証のため、パラメータを変更しながら膨大な数のシミュレーションを実行し、事後にその実行結果を分析することが多い。対象実行が、特徴的な実行と判定できる場合、シミュレーション世界のスナップショットをとり、設定を変えながらその後のシミュレーションを集中的に実行・分析をおこなえるようにするのが、本研究の目的である。つまり、対象実行が、特徴的な実行と判定できる場合、そのスナップショットに対して集中的に実行分析をおこなうことで各領域における効率的な問題分析を助けることを狙いとする。

研究成果の概要(英文)：In the field of social simulation, a large number of simulations are performed while changing parameters in order to validate the model or new regulations to be introduced. The results are analyzed after execution. However, when the scale of the simulation becomes large, the execution of various simulation becomes difficult. The goal of this research is to realize a function to branch the simulation world that is executed in distributed parallel computers and concurrently execute each parallel world in order to apply the detailed analysis of running parallel worlds. To attain this goal, we have developed a distributed collection library to manage simulation data distributed among distributed machines and allow easy descriptions of data distribution/relocation and parallel processing using multi-core CPUs. In addition, we implemented the branch execution function on PIham: Platform for large-scale and high-frequency artificial market.

研究分野：並列処理・プログラミング言語

キーワード：マルチエージェントシステム 分散集合ライブラリ APGAS言語 人工市場シミュレーション基盤

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

社会事象シミュレーションなどの分野では、モデルの検証や導入ルールの検証のため、パラメータを変更しながら膨大な数のシミュレーションを実行し（網羅的シミュレーションと呼ぶ）、その実行結果に対して事後分析をおこなうことも多い。例えば、株式市場シミュレーションを用いて、市場が加熱した場合に導入するサーキットブレーカの適用ルールを検討したい場合、各種市場状況を設定した上で、各種ルールの効果を得る必要がある。加えて、エージェント自体が確率的に行動選択をおこなうため、確率的に状況分析をおこなう必要がある。このような需要に応じる形で、網羅的なシミュレーションの実行とその結果の管理をおこなうためのフレームワークも提案・実現されている。

一方で、各種要素が絡み合った、現実に近いモデルでシミュレーションをおこなう場合、その規模が大きいため、網羅的なシミュレーション実行は難しくなる。例えば、申請者自身が共同研究をおこなっている株式市場シミュレーションの場合、オプション取引などを考慮した 100 銘柄 5 万エージェントのシミュレーションに対し、京コンピュータ 256 ノードを用いており、膨大なシミュレーション数を実行する場合、計算資源の確保が課題となる。

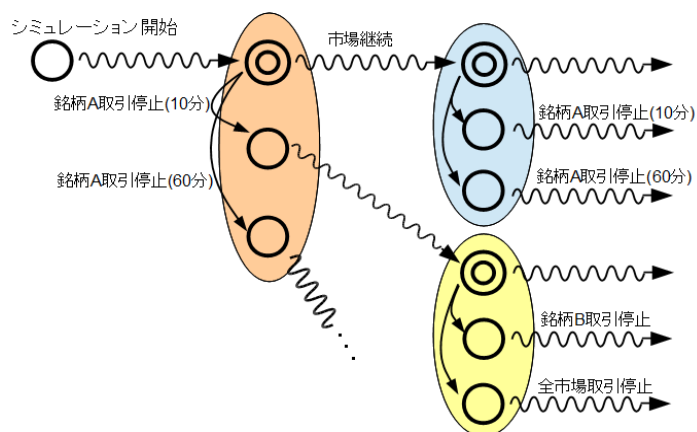
このため、プログラムの実行中に興味深い事象が観察された場合、集中的に網羅の実行をおこなえるような環境が必要だと考えた。

2. 研究の目的

本研究では、大規模エージェントシミュレーションの実行中に、そのシミュレーション世界を複数に分岐し、それぞれの並行世界のシミュレーションを並列実行するための機能を、大規模並列計算機向けに実現することを目標とする。右図は、上記株式市場シミュレーションにおける利用イメージを示したものである。対象実行が、特徴的な実行と判定できる場合、シミュレーション世界のスナップショット

をとり、設定を変えながらその後のシミュレーションを複数実行できるようにする。このように、特徴的な実行に対する並行世界のシミュレーションを積極的におこなうことで、各領域における効率的な問題分析を助けるのが、本研究の目的である。スナップショットに対して、応用分野に応じた特徴量定義を与え、その統計的な推移状況を分析したり、スナップショットに変更を加えた上で、推移変化を分析するといった利用法を想定している。

本研究は、この種の分析を大規模並列エージェントシミュレーションに対して効率的に行えるようにするため、シミュレーション実行中のシミュレーション世界の複製と、それぞれの並行世界の並列シミュレーションが可能となるような環境を実現することを目指す。具体的には、エージェントを管理するための分散オブジェクト集合ライブラリに、スナップショット取得およびデータ複製・再配置機能を導入することで、シミュレータが容易に対象世界の複製および並行世界の並列実行を可能とする。



3. 研究の方法

本研究は、大きく以下の3つの要素から構成される。(A) 論理的スナップショットの作成と、複数エージェント世界の実現、(B) 複数世界の効率的並列実行、(C) 社会シミュレーション分野での応用法検討。当初、システム実現については、研究(A)から研究(B)とすすめていき、研究(C)については、専門家に対する意見聴取をしながらシステムデザインへの反映を進めていく。

システムデザインについては、我々のグループで開発中の分散集合ライブラリを、我々のグループと東大和泉研究室で共同開発している Plham プロトタイプ版の実装に導入し、順次機能拡張をすすめていった。

分散集合ライブラリおよび Plham は、IBM Research で開発された並列言語 X10 を用いて実現されており、エージェントは X10 オブジェクトとして実現される。X10 では、遠隔ノードにオブジェクトを移動させるために、オブジェクトをストリームに変換する機能が提供されており、スナップショット作成の際に、単にオブジェクト群のコピーを取得するだけでなく、SSD 上のファイルなどに保存することも可能である。また、現在、X10 の諸機能を Java でも利用可能とするための APGAS ライブラリが IBM によって開発されており、現在、Java 版 Plham および分散集合ライブラリの開発も進めている。

4. 研究成果

(1) 再配置可能分散集合ライブラリにおけるオブジェクト共有関係の解決

本研究は、雑誌論文③および学会発表④で発表した内容である。

分散集合ライブラリは、ノード間にまたがったオブジェクト集合データ（リストやマップを含む）を管理し、要素に対する演算や再配置などを管理するデータ構造である。本発表では、連想関係にある複数の分散集合について、オブジェクト共有関係を維持したまま再配置を可能とする手法を提案・実装している。

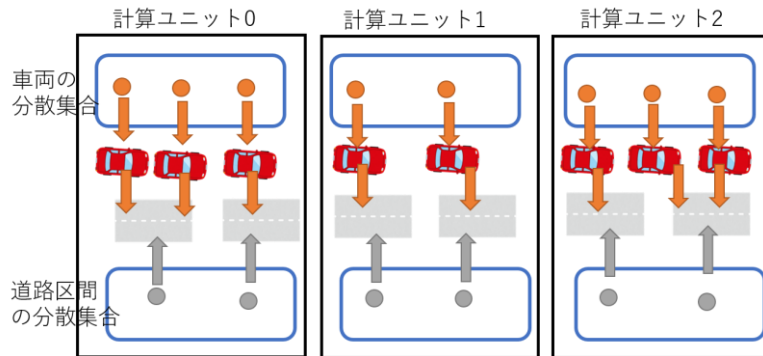
例えば、交通シミュレータを並列実行している場合、車両や道路区間は各計算ユニットに分散配置される。計算の際、車両は必要に応じて道路区間を移動していく。一方で、シミュレーションは道路の混雑状況に応じて負荷の偏りが生じるため、しばしば負荷の均等化が必要となる。

我々の分散集合ライブラリは、これらのオブジェクト要素管理および要素の再配置や各要素の配置場所を管理することを目的としている。

ただし、オブジェクト間に参照関係がある場合、要素の移動はそれほど簡単なことではない。一般にオブジェクトの再配置の際は、Object Serialization とよばれる操作がおこなわれ、オブジェクトから参照されるオブジェクトを再帰的にコピーすることになる。このため、図の事例では、車両のコピーをおこなうだけで、参照する道路区間のコピーが行われる。問題は、道路区間のコピーは、道路区間の分散集合の要素移動は引き起こさず、別途、該当道路区間の再配置を行ったとしても、当該道路区間が複数コピーされるだけであり、共有関係は維持されない。この解決には、関連するオブジェクト群を一つの Serialization 処理としておこなう必要がある。

本ライブラリでは、移動管理用クラスを準備し、各分散集合ライブラリはオブジェクト移動ルーチンを移動管理ルーチンに登録する形をとり、移動管理クラスが複数の分散集合の再配置を一括処理することで、上記問題を解決している。

本再配置機構は、そのまま複数の分散集合ライブラリのスナップショット保存や、分枝実行のための再配置にも利用される。



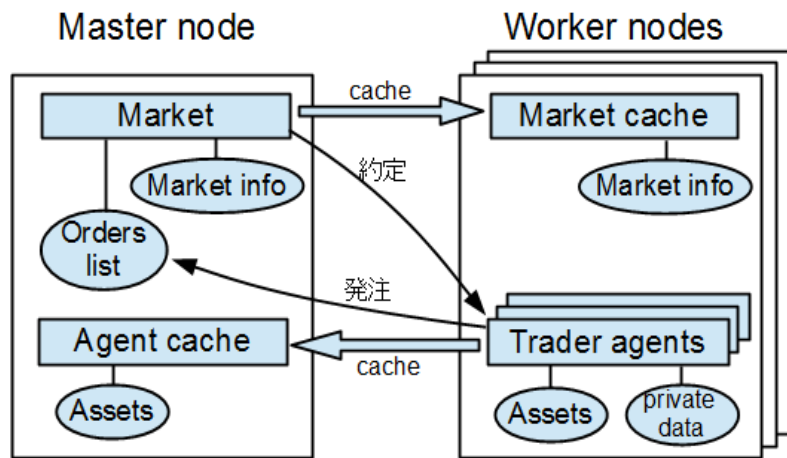
(2) 分散集合ライブラリに対する非同期タスク並列処理機能の導入および P1ham 上の通信・計算のオーバーラップ実現

本研究の内容は、雑誌論文②および学会発表②③で発表した内容である。

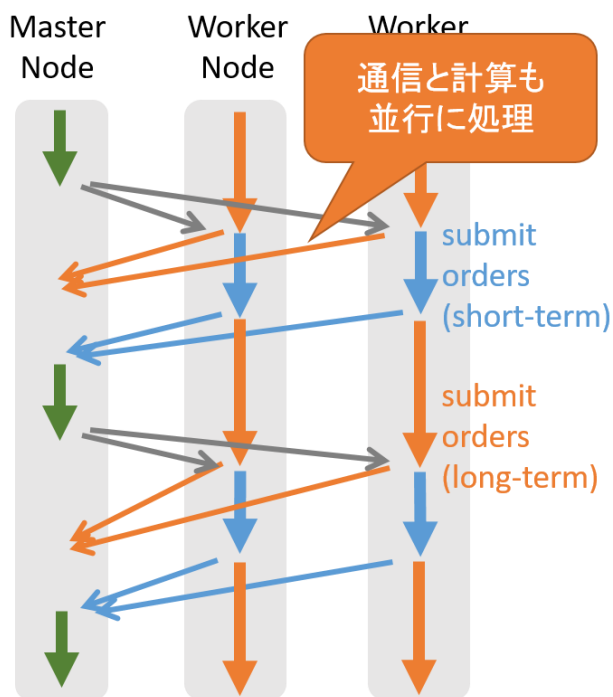
右図は、株式市場シミュレータ P1ham の内部データ構造を表している。P1ham では、高頻度取引のシミュレーションをおこなうため、マーケットの処理及び高頻度取引エージェントの処理はマスターノードでおこない、一般エージェントの処理は多数のワーカーノードで実行することで、シミュレーションのスケラビリティを確保している。

図中のマーケット、エージェント、オーダーや約定情報は分散集合によって管理されている。マーケットについては、各時刻の最新価格情報をワーカーノードに分配するために利用しており、エージェントは各ノードでのマルチコアを用いた並列計算処理を管理している。また、オーダーや約定情報については、計算結果を蓄え、集合通信を用いたノード間再配置をおこなうために利用されている。

一方で、エージェントの計算とマーケットの処理を交互にしていたのでは、マーケット処理中すべてのワーカーノードがアイドル状態になってしまうため、本研究では P1ham において通信と

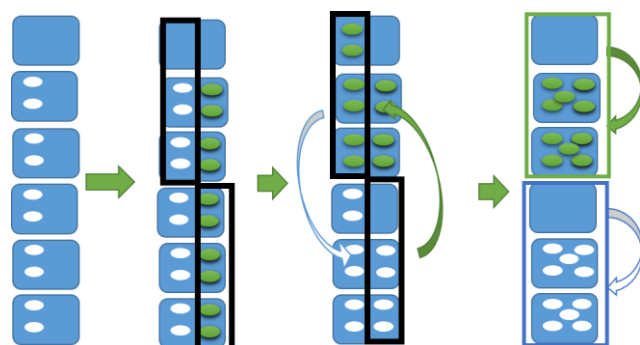


計算のオーバーラップを実現すると同時に、分散集合ライブラリを機能強化し、各要素に関するデータ並列的処理に関して、スレッドプールを用いた非同期の実行を容易に記述することができるようにし、加えて分散集合内でのノード間データ移動について高い抽象度で記述できるように、ライブラリの整備をおこなった。これにより、遅延隠蔽のためにデータ並列的処理とノード間通信を同時におこなうといった高度なスケジューリングについても、容易に記述できるようになった。



(3) 分散集合ライブラリの状態複製機能および Plham の分枝実行機能実現

分散集合ライブラリに対する世界の分割再複製機能については、2016 年度中に試験実装をおこなった。右図のように計算に所属する計算ノード群を 2 分割した上で、異なる世界の計算ノード間でペアを作成し、ペア間の情報交換をすることで世界の複製および再配置が完了する。ただし、Plham に適用するためにはマスターノードの要素群を他のノードに再配置する必要がある。Plham に対するプロトタイプ実装においては、上記作業をマニュアル操作で実現し、機能実現をおこなった。これとは別に、Plham で用いている配列側分散集合ライブラリ (DistCol) に対しても要素再配置機能の導入をおこなっており、機能公開している。



(4) 社会シミュレーション分野での応用法検討

上記のように分散集合ライブラリの高機能化および Plham に対する分枝実行機能のプロトタイプ実装はおこなうことができた。一方で、当該システムでは並列シミュレーションを分枝することはできるが、数多くに分枝したシミュレーションを統括管理する機能や、あるいは実行途中のプログラム内部状態分析するための機能はなく、今後のさらなる研究が必要である。現在、申請者が共同研究参加しているシミュレーション管理フレームワーク caravan (<https://github.com/crest-cassia/caravan>) などとの統合も視野に入れた研究が必要だと考えている。また、応用面については、Plham の開発・利用者とのミーティングにおいては、システムリスク分析のため、外部パラメータと Agent 群との依存関係をモデル化し、その影響を分析できないかなどの検討をおこなった。各種分枝実行を積極的にこなすには、当該シミュレーションモデルの抽象化および外部からのモデル操作が必要といえる。今後は、人工市場シミュレーション基盤をマルチ階層シミュレーションの一貫として利用する上でのシミュレータ実装上の課題などについて検討を進めていく予定である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① Itsuki Noda, Nobuyasu Ito, Kiyoshi Izumi, Hideki Mizuta, Tomio Kamada, Hiromitsu Hattori, "Roadmap and research issues of multiagent social simulation using high-performance computing", Journal of Computational Social Science, January 2018, Volume 1, Issue 1, pp 155-166
- ② Takuma Torii, Tomio Kamada, Kiyoshi Izumi, Kenta Yamada, "Platform design for large-scale artificial market simulation and preliminary evaluation on the K computer", Artificial Life and Robotics, Volume 22, Issue 3, pp 301-307, September 2017
- ③ Daisuke Fujishima, Tomio Kamada, "Collective Relocation for Associative Distributed

[学会発表] (計 4 件)

- ① 長門 広洋, 瀬瀬 雄士, 鎌田 十三郎, 高木 由美, 太田 能, “明示的なデータ分散管理を記述可能なエッジ環境向け分散データベースプラットフォーム”, 第9回 ICN 研究会ワークショップ, 2017年8月24日
- ② 藤島 大輔, 鎌田 十三郎, 長門 広洋, 高木 由美, 太田 能, “分散集合ライブラリを用いた人工市場シミュレーションにおける通信と計算のオーバーラップ実現”, 情報処理学会第115回プログラミング研究会(PRO-2017-2, SWoPP2017), July, 2017.
- ③ Daisuke Fujishima, Tomio Kamada, Takumi Torii, Kiyoshi Izumi: “Overlapping Communication and Computation for Large-Scale Artificial Market Simulation”, Proc. of 22nd International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 2017), pp. 708-713, Beppu, Japan, Jan. 2017.
- ④ Daisuke Fujishima, Tomio Kamada: “Redistribution Mechanism for Associative Distributed Collections of Objects”, 15th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science (ICIS 2016), Okayama, Japan, pp. 583-588, June, 2016

[図書] (計 1 件)

1. Itsuki Noda, Yohsuke Murase, Nobuyasu Ito, Kiyoshi Izumi, Hiromitsu Hattori, Tomio Kamada, Hideyuki Mizuta, Mikio Takeuchi: “Project CASSIA --Framework for Exhaustive and Large-Scale Social Simulation--”. In: Sato M. (eds) Advanced Software Technologies for Post-Peta Scale Computing, 29 pages, Springer, Singapore (2019)

[その他]

ホームページ等

- ① Cassia X10 library
<https://github.com/handist/cassiaX10lib>
- ② Plham
<https://github.com/plham/plham>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

該当なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：藤島 大輔

ローマ字氏名：Daisuke Fujishima

研究協力者氏名：長門 広洋

ローマ字氏名：Takehiro Nagato

研究協力者氏名：和泉 潔

ローマ字氏名：Kiyoshi Izumi

研究協力者氏名：松浦 出

ローマ字氏名：Izuru Matsuura

※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。