社団法人 情報処理学会 研究報告
IPSJ SIG Technical Report

2008－ARC－177 (27)
2008－HPC－114 (27)
2008／3／6

狭帯域ネットワークにおける グリッド向けマルチエージェントシミュレーションプログラムの性能評価

森下 仙一† 蟻川 浩‡ 村田 忠彦†‡

我々は大規模マルチエージェントシミュレーションを実現するために，MPIを用いた実装方法，GridRPCを用いた実装方法，MPIとGridRPCを併用した実装方法を提案してきた．本稿では，遠隔地の計算資源を接続するネットワークの帯域幅に着目し，ネットワーク帯域幅がグリッド向けMASに与える影響について実験した．その結果，ネットワーク帯域幅がシミュレーション実行時間に影響するのを確認することを確認した．

Performance Evaluation of Grid-Based Multi-Agent Simulation Program on the Grid under the Narrowband Network

Sen-ichi Morishita† Hiroshi Arikawa‡ Tadahiko Murata†‡

We have proposed how to implement Grid-based multi-agent simulation (MAS) program using MPI and GridRPC, and we have shown the performance evaluation of the proposed MAS program on a homogeneous cluster. In this paper, we show the performance evaluation of Grid-based MAS program on the Grid under the narrowband network, and we show that the Grid-based MAS program is influenced by the narrowband network.

1. はじめに

現実社会を模倣した大規模マルチエージェントシミュレーション(MAS)を実現するためには大規模MASプログラムの実装方法を明確にする必要がある．大規模MASを実現する手法について，山本らはエージェントシミュレーション用ソフトウェアとしてZASEを開発し，100万体のエージェントを用いたシミュレーションを実施し，その結果を利用して1億体のエージェントによる大規模MASの実現可能性を示している[1]．山本らの研究では，数百台の計算機を利用することによって1億体のエージェントシミュレーションが実現可能であることにとどまっており，ソフトウェアの実装方法については言及されていない．

我々はこれまで，人工社会モデルのひとつであるSugarscape[2]モデルを適用したMASについて，PCクラスタやグリッドコンピューティング環境を意識した大規模MASプログラムの実装方法について研究を進めてきた．具体的には，Message Passing Interface (MPI)を適用したメッセージパッシングによる方法，GridRPCを適用した遠隔ライブラリ呼び出しによる方法，MPIとGridRPCを併用したハイブリッド法である．これらの手法について，ホモジニアスPCクラスタを用いた性能評価を行い，それぞれの特徴を明らかにした．

ところで，一般的にグリッド技術を用いた大規模な並列分散計算環境は遠隔地にある複数拠点のPCクラスタの有効利用を図ることを目的としている．複数拠点のクラスタを接続するための回線は，1Gbpsから10Gbps以上の超高速回線を利用した場合，商用プロバイダが提供する家庭用インターネット回線(商用プロバイダ回線)を利用した場合，広域イーサネット回線を利用した場合など，様々なものが存在する．その多くはインターネット技術におけるベストエフォートの概念に基づいて接続することとなるため，シミュレーションプログラムの性能はネットワークの影響を受ける．これまで，超高速回線を用いたグリッド環境を構築し，その環境下でのグリッド向けアプリケーション

† 関西大学 総合情報学部
Faculty of Informatics, Kansai University
‡ 関西大学 政策グリッドコンピューティング実験センター
Policy Grid Computing Laboratory, Kansai University

表 1　グリッド向け MAS プログラム実装方法の特徴

	特徴
MPI	大規模な記憶領域の確保 環境情報の更新処理における演算時間の短縮 MPI を用いたクラスタ環境での高速な並列処理
GridRPC	エージェント意思決定処理における演算時間の短縮 GridRPC を用いたプロセッサの動的な割り当て
ハイブリッド	大規模な記憶領域の確保 演算時間の短縮 グリッド環境に適した実装

の性能評価が行われているが，広域イーサネット回線および商用プロバイダ回線に関するグリッド向けアプリケーションの性能評価については行われていない．

そこで我々は，広域イーサネット回線および商用プロバイダ回線を利用して構築したグリッド環境を想定し，その環境下でのグリッド向け大規模 MAS プログラムの振る舞いを明らかにすることが必要であると考えた．本稿では，広域イーサネット回線および商用プロバイダ回線を想定して構築した擬似グリッド環境を用いて，狭帯域ネットワークが及ぼすグリッド向け MAS プログラムの性能について示す．具体的には，2 拠点の PC クラスタを準備するとともに，拠点間のネットワークを VPN 技術で接続し，拠点間ネットワークの帯域を制御することで，広域イーサネット回線および商用プロバイダ回線を利用したグリッド環境を構築した．そして，我々が提案してきた MPI による方法，GridRPC による方法，ハイブリッド法による方法，それぞれを適用した MAS プログラムを実行した．

2.　グリッド向け MAS プログラムの実装方法

Sugarscape モデルに基づく MAS プログラムについて，MPI を用いた実装方法 [3), 4)]，GridRPC を用いた実装方法 [5), 6)]，ハイブリッド方式 [7)] の 3 つの MAS プログラム実装方法の概要を示す．また，各実装方法の特徴を表 1 に示す．

2.1 MPI を用いた MAS プログラムの実装方法

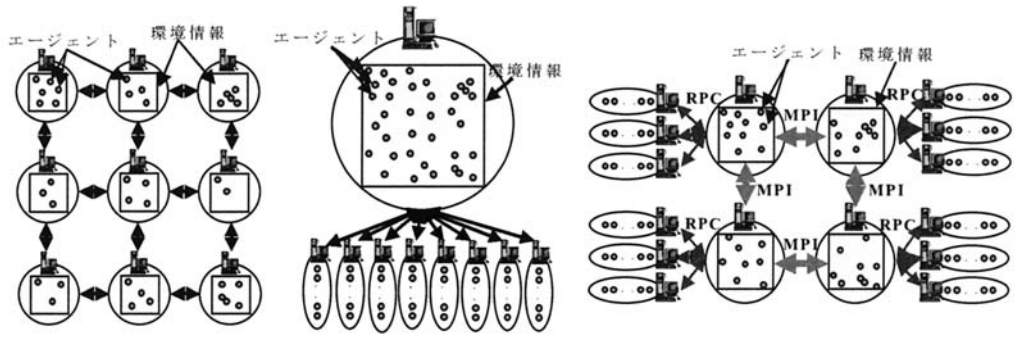
MPI を用いた MAS プログラムの実装方法は，大規模な記憶領域の確保と環境情報の更新処理における演算時間の短縮を目的として提案された実装方法である．MPI を用いた MAS プログラム実装方法のイメージを図 1.A に示す．

MPI を用いた MAS プログラムの実装方法は，複数のプロセッサにエージェント情報と環境情報を分散配置し，各プロセッサが並列して演算を行うことで大規模 MAS を実現する．また，エージェントの意思決定による環境情報更新処理の際，MPI を用いたデータ交換を行うことで環境情報の更新に必要な情報を交換している．

MPI を用いた MAS プログラムの実装方法の場合，エージェント情報と環境情報を分散配置できる．なので，大規模な記憶領域が必要なシミュレーションに対して使用するプロセッサ数を増加させることにより対応できる．また，環境情報の更新処理を分割して行うことができるので，環境情報の更新処理における演算時間を短縮できる．

MPI を用いた MAS プログラムの実装方法では，通信量を減らすアルゴリズムを用いて高速化を図っている．具体的には，隣り合う情報を持つプロセッサとエージェントの最大視野分の情報をオーバラップさせ，オーバラップ部分におけるエージェントの衝突処理に工夫を加えている．そのため，単体のプロセッサによる MAS の結果と比較して，通信量を減らすアルゴリズムの影響がシミュレーション結果に現れる．

MPI を用いた MAS プログラムの実装方法は



A MPI　　B GridRPC　　C ハイブリッド方式

図 1 グリッド向け MAS プログラムの実装方法

実行する計算機環境に制限がある．例えば，PC クラスタのように同一の処理能力を有するプロセッサで構成される計算機環境では高速な並列処理を実現するが，グリッド環境のように異なる性能のプロセッサを有する計算機環境では高速な並列処理を実現できない．また，MPI を利用するには使用するプロセッサ全てが互いに通信できる計算機環境でなければならない．

2.2 GridRPC を用いた MAS プログラムの実装方法

GridRPC を用いた MAS プログラムの実装方法は，エージェント意思決定処理における演算時間の短縮を目的として提案された実装方法である．GridRPC を用いた MAS プログラムの実装方法のイメージを図 1.B に示す．

GridRPC を用いた MAS プログラムの実装方法は，エージェント情報と環境情報を 1 台のプロセッサで管理し，マスタ/ワーカ方式でエージェント意思決定処理を複数のプロセッサに分配し，並列してエージェントの意思決定を行う．そのとき，通信には GridRPC を用いている．

GridRPC を用いた MAS プログラムの実装方法の場合，エージェント意思決定処理を複数のプロセッサに分配できる．なので，エージェント数の増加における演算時間の増加に対してエージェント意思決定処理を行うプロセッサ数を増加することで対応できる．一方，環境情報の規模拡大に対しては 1 プロセッサの記憶領域を超える環境情報を保持することはできない．例えば，ファイルシステムを利用することで問題を解決することは可能であるが，ファイルシステムへのアクセスがオーバヘッドとなりシミュレーション時間の短縮は困難である．

GridRPC を用いた MAS プログラムの実装方法では，プロセッサの処理能力やマスタ/ワーカ間の通信帯域に応じて 1 プロセッサあたりに割り当てるエージェント数を柔軟に変更できる．そのため，異なる性能のプロセッサを有する計算機環境で有効となる．

2.3 ハイブリッド方式による MAS プログラムの実装方法

本稿におけるハイブリッド方式とは，MAS プログラムにおける大規模な記憶領域の確保とシミュレーションの演算時間の短縮を目的として，MPI と GridRPC を併用して実装する方法である．

既に，MPI と GridRPC を併用したグリッド環境向けアプリケーション実装方法の方法論とその有効性については，武宮ら [8] によって提案されている．我々がこれまで提案した方法と武宮らが提案した方法とで異なる点は，プログラムの実装において MPI ライブラリと GridRPC ライブラリの適用方法が異なることである．武宮らは MPI によって並列処理可能にしたシミュレーションプログラムを GridRPC によって複数拠点の計算機に対して動的に起動する方法を採用しており，我々が提案する方法とは異なる．

MAS プログラムにおけるハイブリッド方式のイメージを図 1.C に示す．ハイブリッド方式はエージェント情報と環境情報を管理するプロセッサとエージェント意思決定処理を演算する他のプロセッサから構成されており，MPI

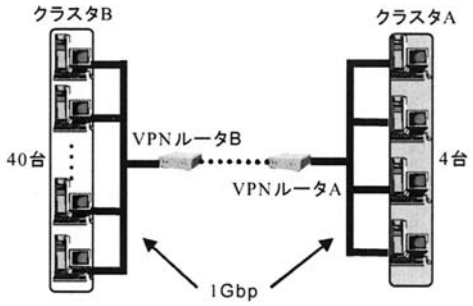


図 2　実験環境

と GridRPC を組み合わせることで環境情報の規模拡大とシミュレーションの演算時間の短縮を同時に実現する．

ハイブリッド方式では，エージェント情報と環境情報を管理するプロセッサに環境情報を分散配置する．そして，MPI を用いたデータ交換を行うことで環境情報の更新に必要な情報を交換し，並列してシミュレーションの演算を実行する．また，エージェント情報と環境情報を管理するプロセッサはエージェント意思決定処理の部分に対してマスタ/ワーカ方式を適用する．そして，エージェント意思決定処理用のプロセッサにエージェント意思決定処理を分配する．そのとき，通信には GridRPC を用いている．

ハイブリッド方式の場合，シミュレーションの規模拡大に対してはエージェント情報と環境情報を管理するプロセッサ数を増加することで対応し，エージェント数の増加における演算時間の増大に対してはエージェント意思決定処理を演算するプロセッサ数を増加することで対応できる．そのため，ハイブリッド方式では環境情報の規模拡大とシミュレーションの演算時間の短縮が可能となり，大規模 MAS に適したモデルとなる．

3.　狭帯域ネットワークにおける性能評価

本稿では，広域イーサネット回線および商用プロバイダ回線を用いて遠隔地の計算資源を接続したグリッド環境を想定する．遠隔地の計算資源と接続するネットワークの帯域幅は例えば，　ADSL 回線を用いた場合には外部への通信速度が最大 1Mbps，家庭用光ファイバー回線(FDDH)の場合には最大 100Mbps である．また，これらの値は理論上の値であり，これらの回線は共用であるから，実際には通信ライブラリの性能や回線の利用状況により帯域幅は小さくなる．そのため，現実のグリッド環境を用いて遠隔地の計算資源を利用する際，計算資源間が高速なネットワークで接続されている環境を利用できるとは限らない．

そこで本稿では，遠隔地の資源を利用するグリッド環境上でグリッド向け MAS プログラムを実行する際に，資源間を接続するネットワークの帯域幅が狭帯域の場合においてグリッド向け MAS プログラムの性能に及ぼす影響を確認する．

3.1 実験環境

狭帯域ネットワークで接続された計算資源を利用するときのグリッド向け MAS プログラムの性能評価を行うために，図 2 で示す計算機環境を構成し，実験を行った．

実験環境としてクラスタ A，クラスタ B の 2 つのクラスタを異なる拠点に配置した．クラスタ A は 4 台の計算機で構成されるホモジニアスな PC クラスタで，クラスタ B は 40 台の計算機で構成されるホモジニアスな PC クラスタである．各拠点すべての計算機は Intel 社 3.0EGHz Pentium4 プロセッサ，2GByte のメモリを搭載している．各拠点の PC クラスタ内におけるプロセッサ間の通信速度は 1Gbps である．各プロセッサノードで用いた OS は Linux 2.6.9-11.EL であり，MPI ライブラリおよび GridRPC ライブラリとして MPICH 1.2.7，OmniRPC 1.0.0 を使用した．実験に際し，OmniRPC は Pthread を有効にした．VPN ルータ A と VPN ルータ B は OpenVPN 2.0.9 を利用して両拠点を結ぶ．

3.2 実験

実験として VPN ルータ間を接続するネットワークの帯域を 256kbps，512kbps，1Mbps，5Mbps と変化させたときのシミュレーション実行時間を測定する．その際，VPN ルータ A と VPN ルータ B で OpenVPN のシェーピング機能を利用して帯域を制限する．具体的には，OpenVPN の設定ファイルに shaper の設定を 1 行追加する．

実験に用いたプロセッサ数は，MPI を用いた MAS プログラムの実装方法の場合 9，16，25，36，GridRPC を用いた MAS プログラムの実装方法の場合 5，17，29，41，ハイブリッド方式の場合 8，20，32 である．MPI を用いた MAS

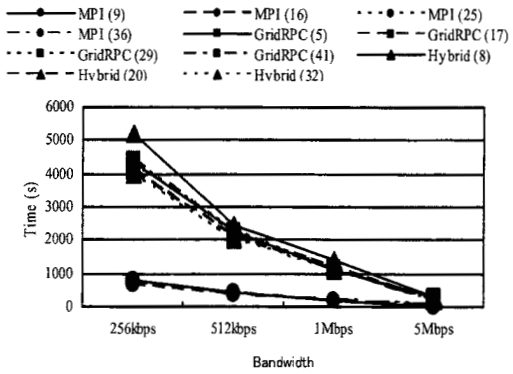


図 3　狭帯域ネットワークでの実行時間

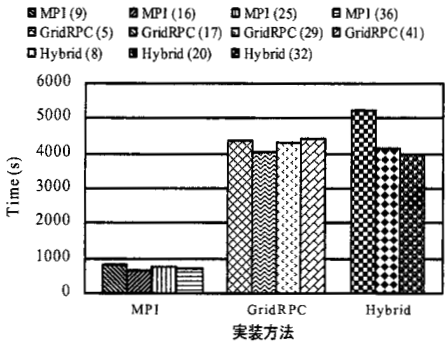


図 4　256kbps のときの実行時間

プログラムの実装方法の場合，使用するプロセッサ数に応じて，3×3，4×4，5×5，6×6 に環境情報を分割し，各プロセッサに環境情報を分配している．GridRPC を用いた MAS プログラムの実装方法の場合，1 プロセッサをマスタとし，使用するプロセッサ数に応じて，4，16，28，40 と 12 刻みでワーカとして利用している．ハイブリッド方式の場合，2×2 に分割した環境情報を 4 プロセッサに分配し，使用するプロセッサ数に応じて，4，16，28 と 12 刻みでワーカとして利用する．その際，環境情報を保持している 4 プロセッサに割り当てるワーカの数は均一である．

MPI を用いた MAS プログラムの実装方法およびハイブリッド方式では，クラスタ A の 4 プロセッサとクラスタ B のプロセッサを組み合わせて実験を行っている．また，GridRPC を用いた MAS プログラムの実装方法ではクラスタ A の 1 プロセッサとクラスタ B のプロセッサを組み合わせて実験を行っている．シミュレーション条件は環境の大きさを 180×180 とする．また，初期エージェント数を 4320，各エージェントの最大視野を 6，シミュレーションの期間を 200 ステップにすると共に，その他のシミュレーション条件として文献 9)の条件を用いた．

3.3 実験結果

VPN ルータ間を接続するネットワークの帯域幅を変化させた場合のシミュレーション実行時間への影響を図 3 に示す．図 3 は横軸を VPN ルータ間のネットワーク帯域幅，縦軸をシミュレーション実行時間とした．図 3 より，帯域幅を縮小させると全ての MAS プログラムの実装方法で実行時間が増大することが確認できた．これは，MPI や GridRPC を用いて通信を行うときにネットワーク帯域幅の影響を受けていることを示している．また，MPI を用いた MAS プログラムの実装方法では，通信量を削減するアルゴリズムの効果で他の MAS プログラムの実装方法と比較して帯域幅の影響によるシミュレーション実行時間の増加量が少ないことを確認できた．今後は GridRPC を用いた MAS プログラムの実装方法に対して通信量の削減アルゴリズムの適用または MAS プログラムの実装方法の変更などを行い，通信量を削減することで実行時間の短縮を図る．

VPN ルータ間を接続するネットワークの帯域幅を 256kbps に固定した場合の，各 MAS プログラムの実装方法におけるシミュレーション実行時間を図 4 に示す．図 4 は横軸を MAS プログラムの実装方法とし，縦軸を実行時間とする．図 4 より，狭帯域ネットワークで接続されている場合でも，MPI を用いた MAS プログラムの実装方法およびハイブリッド方式で，使用するプロセッサ数を増加させたときに実行時間の短縮が実現できた．ネットワーク帯域幅を縮小させた場合でも台数増加の効果が得られる．

4.　おわりに

本稿では，我々がこれまでに提案した手法を用いて実装したグリッド向け MAS プログラムの振る舞いについて，広域イーサネット回線や商用プロバイダ回線によって拠点間の計算資源を接続して構築したグリッド環境において

グリッド向けMASプログラムを実行した場合のネットワークの帯域幅の観点から受ける影響について検討した．その結果，グリッド向けMASプログラムの実行時間は拠点間のネットワークの帯域幅の影響を受けることを確認した．また，3種類の実装方法によるMASプログラムすべてにおいて，拠点間ネットワークの帯域幅が縮小していても並列実行による台数の効果が得られることを確認した．

本稿では，2拠点間ネットワークの帯域幅に着目して,グリッド向けMASプログラムの性能評価を行った．今後は，複数拠点を考慮した実験環境の構築を行い，帯域幅の影響のみならずパケットの遅延および破棄，コネクション切断が発生する環境下でのグリッド向けMASプログラムの性能評価を実施する．また，実際の商用プロバイダ回線にてグリッド環境を構築した場合のグリッド向けMASプログラムの性能評価を実施し，グリッド向けMASプログラムの性能を決める因子を特定する．

謝　辞

本研究の一部は，文部科学省社会連携研究推進事業(平成17年度～平成21年度)による私学助成を得て行われた．

参　考　文　献

1) 山本 学，田井 秀樹，水田 秀行，"1億エージェントを用いたエージェントベースシミュレーションの現実への考察"，電子情報通信学会・システムソサイエティ，Vol.90, No.9, pp.2423-2431, 2007.

2) Joshua M. Epstein, Robert Axtell (服部 正太，木村 香代子訳)，人工社会 －複雑系とマルチエージェント・シミュレーション－，共立出版 (1999).

3) 森下 仙一，蟻川 浩，村田 忠彦，"環境改善資金調達マルチエージェントシミュレーションのMPIによる並列計算"，第22回 ファジィシステムシンポジウム講演論文集 (CD-ROM, ISSN 1341-9080)，pp.107-112 (2006).

4) 森下 仙一，蟻川 浩，村田 忠彦：マルチエージェントシミュレーションにおける並列処理方式の比較，情報処理学会研究報告(2007-HPC-109), pp.19-24 (2007).

5) 森下 仙一，蟻川 浩，村田 忠彦："グリッド向けマルチエージェントシミュレーションにおける実装方法の比較"，計算工学講演会論文集，Vol.12, No2, pp.699-702 (2007).

6) Tadahiko Murata, Hiroshi Arikawa, Sen-ichi Morishita, Taiyo Maeda, "A Design of Problem Solving Environments for Policy Making Assistance Using MAS-Based Social Simulation," Proc. of 3rd Int'l Conf. on e-Science and Grid Computing, pp.521-528, 2007.

7) 森下 仙一，蟻川 浩，村田 忠彦，MPIとGridRPCの併用によるマルチエージェントシミュレーションプログラムの実装,情報処理学会研究報告(2007-HPC-111), No.80, pp.139-144 (2007).

8) 武宮 博，田中 良夫，中田 秀基，関口 智嗣，MPIとGridRPCを利用した大規模Gridアプリケーションの開発と実行: Hybrid QM/MDシミュレーション，情報処理学会論文誌コンピューティングシステム，vol.46, No.SIG12, pp.384-395, (2005).

9) 西崎 一郎，上田 良文，佐々木 智彦，慈善くじによるグローバル・コモンズの保全のための資金調達と人口社会モデルを用いたシミュレーション分析，システム制御情報学会論文誌，Vol.17, No.7, pp.288-296 (2004).