An Adaptive and Reliable System Based on Interdependence between Agents

Akifumi Tanimoto Non-member (Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University)

Keinosuke Matsumoto Member (Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University)

Naoki Mori Non-member (Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University)

Keywords : Reliability, Robust, Interdependence graph, Monitoring, Replication, Intelligent systems

1. Multiagent System

A multiagent system (MAS) has recently gained public attention as a technique to solve competition and cooperation in distributed systems. However, MAS's vulnerability due to the propagation of failures prevents from applying to large scale systems. Then, this paper proposes a general composition technique to improve its reliability easily applied to the existent MAS.

2. Adaptive Multiagent System

2.1 Monitoring System Proposed system monitors messages between agents to detect undesirable behaviors (failures). An monitoring mechanism is distributed in order to raise efficiency and reliability. The monitoring system has the following two roles:

- Observation and control of domain agents
- Generation of global information

These two roles are assigned to two kinds of agents: monitoring agents and a host monitoring agent. A monitoring agent is associated with each domain agent, and a host monitoring agent is associated with each monitoring agent, respectively.

2.2 Interdependence Graph Collecting related information, the system generates global information of interdependence between agents and expresses it in a graph. A domain agent is related to a node as shown in Fig. 1. These

Fig. 1. Interdependence graph

situation is expressed as (N, L, W) . It is called an interdependence graph.

$$N = \{N_i \mid i = 1, \dots, n\} \dots\dots\dots (1)$$

$$L = \{L_{i,j} \mid i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, n\} \dots\dots\dots (2)$$

$$W = \{W_{i,j} \mid i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, n\} \dots\dots\dots (3)$$

Where, n is the total number of nodes, N is a node set, $L_{i,j}$ is a link from node N_i to N_j , and $W_{i,j}$ is a weight labelled to a link $L_{i,j}$. $W_{i,j}$ corresponds to importance of the interdependence between agent i and j . Moreover, if domain agents are added or deleted, the graph is updated dynamically. This interdependence graph enables us to detect or predict undesirable behaviors.

2.3 Adaptive Multiagent Architecture Our adaptive multiagent architecture is shown in Fig. 2. This architecture consists of a monitoring system and a replication server that manages domain agents and replicas. The replication, which arranges replicas of the same contents on a network, is an effective technique for improving the reliability of distributed systems. In our adaptive replication system, you can adjust dynamically the number of replicas according to each agent's importance computable from the interdependence graph.

Our simulations show that the system can optimize performance of a MAS and improve adaptively its reliability under complicated and dynamic environment by applying the global information acquired from the interdependence graph to the replication system.

Fig. 2. Adaptive multiagent architecture

エージェントの相互依存関係を用いた適応型高信頼性システム

非会員 谷元 昭文* 正 員 松本 啓之亮*
非会員 森 直樹*

An Adaptive and Reliable System Based on Interdependence between Agents

Akifumi Tanimoto*, Non-member, Keinosuke Matsumoto*, Member, Naoki Mori*, Non-member

A multiagent system (MAS) has recently gained public attention as a technique to solve competition and cooperation in distributed systems. However, MAS's vulnerability due to the propagation of failures prevents from applying to a large scale system. Then, this paper proposes a general composition technique to improve its reliability easily applied to the existent MAS. Proposed system monitors messages between agents to detect undesirable behaviors (failures). Collecting related information, the system generates global information of interdependence between agents and expresses it in a graph. This interdependence graph enables us to detect or predict undesirable behaviors. This paper also shows that the system can optimize performance of MAS and improve adaptively its reliability under complicated and dynamic environment by applying the global information acquired from analysis of the interdependence graph to a replication system.

キーワード : 信頼性, ロバスト, 相互依存グラフ, モニタリング, レプリケーション, 知能システム

Keywords : Reliability, Robust, Interdependence graph, Monitoring, Replication, Intelligent systems

1. はじめに

近年, 情報家電などの進展によるユビキタスネット社会では, 我々を取り囲む多くの機器やシステムがお互いに協調しあい, サービスを提供する。そのための技術としてマルチエージェントシステム⁽¹⁾ (Multiagent System: MAS) が注目されている。しかしマルチエージェントシステムは故障の伝播による脆弱性のために, 実際に稼動しているシステムは小規模にとどまっているのが現状である。情報家電などの進展によるユビキタスネット社会のインフラ構築には, 大規模なマルチエージェントの信頼性を高めることが必要不可欠である。そこで本論文では, 既存のマルチエージェントシステムに対し, 容易にその信頼性を向上させるための一般的な構成手法を提案する。

提案するシステムでは, 故障などの予期しない振舞いを検出するためにエージェントとエージェントの間のメッセージをモニタリングする。これにより, 関連情報の取得と保存, 望ましくない状態の検出と予測など得られた情報からエージェントの相互依存関係をグラフで表現した大域的な情報を生成し, この相互依存グラフの分析から得られた大域的な情報をレプリケーションシステム⁽²⁾に応用するこ

とで, マルチエージェントシステムにおいて複雑かつ動的な環境に適応的に信頼性を向上させることが実現できることを示す。

レプリケーションシステムは, 同じ内容の複製(レプリカ)をネットワーク上に複数配置するため, 既存のシステムのコードを大幅に変更する必要がなく, 分散システムの耐故障性を容易に向上させる効果的な手法であることが知られている。このようなシステムは耐故障性をもつアプリケーションを実現するために故障エージェントと置き換わるレプリカをもつ。しかし, それらはレプリカ数の増加に伴ってレプリケーションコストが増大するために, 大規模な環境下においては適さない。

したがって本論文では, 環境の変化に適応し, 動的に変化するマルチエージェントシステムにおいて, レプリケーションによるコストを効率的に抑えパフォーマンスを向上させることができる動的なレプリケーションシステムおよびレプリケーションポリシーについても提案する。

2. 従来手法の問題点

〈2・1〉 従来のモニタリング手法 モニタリングとは故障のような望ましくない振舞いが存在するシステムにおいて, 信頼性を向上させたマルチエージェントシステムを設計するために用いられる手法であり, いくつかの手法⁽³⁾⁻⁽⁵⁾が提案されている。これらの手法の問題点を以下に示す。

* 大阪府立大学大学院工学研究科知能情報工学分野
〒599-8531 大阪府堺市学園町 1-1
Dept. of Computer Science and Intelligent Systems, Graduate
School of Engineering, Osaka Prefecture University,
1-1 Gakuen-cho, Sakai, Osaka 599-8531

免疫型ネットワーク⁽³⁾は、自己診断型であるためエージェントが局所的にもつ知識に依存する点、および耐故障性とパフォーマンスがネットワークの設計に依存するため、システムが複雑になるという問題点がある。

また、Kaminka らの手法⁽⁴⁾は、状態の不一致を同定するために手続き型のプラン認識モデルをベースにした手法であるが、これは用いるプランが静的で、かつ閉じたシステムを前提としているため、環境の変化に適応できないという問題点がある。

最後に、Horling らの手法⁽⁵⁾は、故障モデルを用いた分散システムの診断手法である。これはパフォーマンスが局所的に最適化されているが、大域的には最適化されていないため、大規模かつリアルタイムでエージェントの追加や削除が行われるオープン環境下におけるマルチエージェントシステムには適さない。また、免疫型ネットワークと同様にエージェントが局所的にもつ知識に依存するためエージェントレベルでのモニタリングしか対処することができないという問題点がある。

3. 相互依存グラフを用いたモニタリング手法

この章では、まずエージェント間の通信状況を表すためのデータモデルとして「相互依存グラフ」を導入する。次に、それを使ったエージェントモニタリングアーキテクチャを提案し、そのアーキテクチャにおける相互依存グラフの計算アルゴリズムを示す。

4 章では、このように計算された相互依存グラフを使って、レプリケーションを制御する手法を示す。

〈3・1〉 相互依存グラフ 図 1 のようにドメインのエージェントをそれぞれノードに関連付け、ラベル付けされた (N, L, W) で表現して、これを相互依存グラフと呼ぶ。 N はグラフのノード集合、 L はリンク集合、 W はラベル集合である。

$$N = \{N_i\} \quad i=1, \dots, n \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$L = \{L_{i,j}\} \quad i=1, \dots, n, j=1, \dots, n \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$W = \{W_{i,j}\} \quad i=1, \dots, n, j=1, \dots, n \quad \dots\dots\dots (3)$$

図 1 相互依存グラフ
Fig. 1. Interdependence graph.

ただし、 n はノード数である。 $L_{i,j}$ は、ノード N_i から N_j へのリンクであり、 $W_{i,j}$ は $L_{i,j}$ でラベル付けされた重み (実数値) である。 $W_{i,j}$ は関連するエージェント i, j 間の相互依存の重要度を反映させたものである。

〈3・2〉 モニタリングアーキテクチャ モニタリングは相互依存グラフを更新するための情報の取得と、ドメインエージェント(Domain Agent)を制御するためのグラフ分析の 2 つのプロセスから構成される。この情報とは、例えば通信負荷やエージェントの役割等である。

既存のマルチエージェントアーキテクチャのほとんどは、観測メカニズムが集中化されており、取得した情報はシステムの振舞いを修正、もしくは解析するためにオフラインで使用される。このため、これらの集中化されたモニタリングアーキテクチャは、観測された情報が環境の変化に対してリアルタイムに適応できないため、大規模かつ複雑なシステムに適さない。従って本論文では、大規模かつ複雑なシステムの環境の変化にリアルタイムに適応させるために観測メカニズムを分散させたモニタリングアーキテクチャを提案する。その構成を図 2 に示す。

この分散観測メカニズムは、環境変化に対して適応的に反応するエージェントの組織構成に対応する。モニタリングレベルにある反応的なエージェントは以下の 2 つの役割をもつ。

- ・ ドメインエージェントの観測と制御
- ・ 大域的情報の生成

これら 2 つの役割は、ドメインのエージェントをモニタリングする監視エージェント(Monitoring Agent)と、監視エージェントを管理するホストモニタエージェント(Host Monitoring Agent)との 2 種類のエージェントに関連づけられる。監視エージェントは各ドメインエージェントに、ホストモニタエージェントは各監視エージェントにそれぞれ関

図 2 モニタリングアーキテクチャ
Fig. 2. Monitoring architecture.

連付けられる。このモニタリングシステムにおいてそれを構成するエージェントは 3 階層の構造をもつ。それぞれの監視エージェントは 1 つのホストモニタエージェントのみと通信を行い、モニタリングにより得た局所的情報を送信する。ホストモニタエージェントは、監視エージェントがモニタした個別の情報を収集し、これらを大域的情報(大域的なメッセージ数や交換された情報量等)にまとめる。

監視エージェントはドメインエージェントの様々な変化を相互依存グラフに反映させる。また、エージェント環境はリアルタイムで変化するため、このグラフは静的ではなくドメインのエージェントが追加、もしくは削除された場合は動的に更新される。例えば新規のドメインエージェントが追加され、既存のドメインエージェントと通信を行う場合には、この既存のエージェントをモニタする監視エージェントが新規のドメインエージェントを認識し、その結果をホストモニタエージェントに連絡する。それを受けてホストモニタエージェントが新規ドメインエージェントの監視エージェントを追加する。

〈3・3〉 重み更新アルゴリズム 重み更新アルゴリズムに用いる指標を以下に示す。

- ・ モニタリングの時間インターバル Δt

- ・ 通信負荷 $Q(\Delta t)$

$$Q(\Delta t) = \text{operator1}(Q1,1(\Delta t), \dots, Qn,n(\Delta t)) \dots\dots\dots (4)$$

- ・ 送信メッセージ数 $NM(\Delta t)$

$$NM(\Delta t) = \text{operator2}(NM1,1(\Delta t), \dots, NMn,n(\Delta t)) \dots\dots\dots (5)$$

$Q_{i,j}(\Delta t)$ および $NM_{i,j}(\Delta t)$ は、それぞれ時間インターバル Δt におけるエージェント i から j への通信量および送信メッセージ数を表す。 operator は集合演算子であり。一般的なものには平均演算がある。

相互依存グラフの重み $W_{i,j}$ を更新する適応アルゴリズムの概要を以下に示す。このアルゴリズムは関連ノードを管理するために各監視エージェントによって実行され、ホストモニタエージェントに結果が収集され最終的に相互依存グラフに反映される。

実行ステップ:

1. エージェント j ($j \neq i$) について以下を繰り返す

2. 式(6), (7) の計算

$$Q_{temp} = (Q_{i,j}(\Delta t) - Q(\Delta t)) / Q(\Delta t) \dots\dots\dots (6)$$

$$NM_{temp} = (NM_{i,j}(\Delta t) - NM(\Delta t)) / NM(\Delta t) \dots\dots\dots (7)$$

3. 重み $W_{i,j}$ の更新

$$W_{i,j}(t+\Delta t) = W_{i,j}(t) + \alpha \times \text{operator3}(Q_{temp}, NM_{temp}) \dots\dots\dots (8)$$

4. 繰り返しの終端

ここでパラメータ α は、既存の重みに対して新しく算出した重みをどれくらいの割合で反映させるか決める割引率である。環境の変化に対して重みを敏感に反応させる場合はこのパラメータを高く設定し、経験的に得られたデータを重視する場合はこれを低く設定する。 operator3 は集合演算子である。

また、上記の提案アルゴリズムでは通信負荷 $Q(\Delta t)$ と送

信メッセージ数 $NM(\Delta t)$ の 2 種類の情報のみ扱った。ここでは重要度の基準として情報の処理量を取った。これ以外にもメッセージ経路の確保から相互依存グラフの連結性などが考えられるが、 operator の内容を変更することにより、これらの要素を加味することができる。つまりこのアルゴリズムでは、指標として用いる情報を容易に拡張できるようになっている。

4. 適応型マルチエージェントアーキテクチャ

〈4・1〉 アーキテクチャ 提案する適応型マルチエージェントアーキテクチャを図 3 に示す。このアーキテクチャは、ドメインのマルチエージェントシステムとレプリカを管理するレプリケーションサーバ(Replication Server)と前章のモニタリングシステム(Monitoring System)で構成される。

〈4・2〉 レプリケーションポリシー レプリケーションポリシーとは、エージェントの状態や送受信メッセージ等のバックアップをどのようにして保存しておくかという方針である。一般的に用いられるレプリケーションポリシーには以下の 3 種類がある。

- ・ アクティブ型
- ・ パッシブ型
- ・ セミアクティブ型

アクティブ型は、他のエージェントから受け取ったメッセージを連続して全てのレプリカに対し送信するレプリケーションポリシーである。次に、パッシブ型はレプリカに対し一定の周期で定期的に状態を送信するタイプであり、セミアクティブ型は 1 つの代表的なリーダーレプリカを決め、そのリーダーレプリカが受け取ったメッセージをアクティブ型と同様に他のレプリカに連続して送信するタイプである。

その特徴としてアクティブ型は全てのレプリカがメッセージレベルで同期しているために、復旧のための切り替えをスムーズに行うことができる利点があるが、そのレプリ

図 3 適応型マルチエージェントアーキテクチャ

Fig. 3. Adaptive multiagent architecture.

ケーションコストが大きいという欠点がある。逆にパッシブ型は任意のインターバルでバックアップを行うことができるため、そのレプリケーションコストが小さいという利点がある一方、他のエージェントに対してバックアップ時点から故障時点までのメッセージを再送してもらう必要があるため復旧のための切り替えがスムーズに行うことができないという欠点がある。また、セミアクティブ型はアクティブ型とパッシブ型の中間的な特徴をもつ。

〈4・3〉 適応型レプリケーションシステム 提案システムとして、システムレベルでの効率性を改善するために動的にレプリケーションポリシーを切り替えられるアーキテクチャを考える。具体的には、パッシブ型とセミアクティブ型の2種類のレプリカを用いて、ドメインエージェントおよびいくつかのレプリカからなるレプリケーショングループを形成する。レプリケーショングループにおけるリーダーレプリカが故障した場合、他のレプリカを新しくリーダーレプリカに切り替えることでシステムの復旧を行う。レプリケーショングループを管理するレプリケーションサーバは、以下のプロセスを常時実行する。

まず、レプリカの生成日時、およびバックアップデータの一貫度を算出してレプリカを評価する。この一貫度が高いレプリカがドメインのエージェントおよびリーダーレプリカが故障した場合に、新しいリーダーレプリカとして選択される。次にレプリケーショングループをリスト形式で表現して管理し、モニタリングシステムの指示で、レプリカの生成や削除を行い、その結果をリストに反映させる。

〈4・4〉 相互依存関係を用いたレプリカ数決定アルゴリズム 相互依存グラフの分析は、エージェントの重要度と故障の影響、マルチエージェントシステムの耐故障性を把握することに役立つ。提案システムではエージェントの重要性を評価するために、各エージェントの入出力リンクにラベル付けされている重み W_{ij} を *operator4* により集合演算することでエージェントの重要度を算出する。その算出式を式(9)に示す。ただし、 m はノード i の次数とする。

$$w_i = \text{operator4}(W_{ij}, j=1, \dots, m) \dots\dots\dots (9)$$

また、エージェント i の重要度 w_i は、適応型レプリケーションシステムにおいてレプリカの数 $repi$ を算出するために用いられる。その算出式を式(10)に示す。

$$repi = \text{round} [r_0 + r_{\max} \times w_i / W] \dots\dots\dots (10)$$

ここで用いられるパラメータ W は、全エージェントの w_i の合計値、 r_0 はレプリカ数の初期値、そして $r_{\max}$ は設計者が設定するレプリカの総数の上限値である。

以上により、各エージェントのレプリカの配置個数は環境により重要度の高いエージェントに対して優先的に割り当てられる。これはシステムリソースの効率化を図りながら、システム全体に影響を及ぼす重要なエージェントの故障に強いシステムを実現できることを表す。

5. シミュレーション実験

本章では、提案手法の有効性を検証するために行ったシ

ミュレーション実験について述べる。

〈5・1〉 対象システム 実験は、仮想的な市場をシミュレートした eMarket マルチエージェントシステム(eMarket MAS)を対象とする。そのシナリオを以下に述べる。

1. 製品工場に属する部品購入エージェントが部品工場に属する部品販売エージェントから部品を購入する。
2. 製品工場において購入した部品を加工し、製品を作る。
3. 製品工場に属する製品販売エージェントが製品を小売業者エージェントに売却する。

また、実験で用いる二段市場をモデル化したものを図4に示す。市場は次の2つが存在する。

- ・ 市場 A： 部品工場と製品工場間の取引
- ・ 市場 B： 製品工場と小売業者間の取引

さらに、市場を構成するエージェントを役割で分類すると次の4種類になる。

- ・ 販売エージェント(Sales Agent)
- ・ 購入エージェント(Purchasing Agent)
- ・ 購入・販売エージェント(Purchasing&Sales Agent)
- ・ 市場管理エージェント(Market Management Agent)

販売および購入エージェントはそれぞれ部品や製品の販売、購入のみを行うエージェントである。購入・販売エージェントは各市場において異なる役割を果たすエージェントであり、例えば製品工場に属するエージェントがこれに該当する。最後に、市場管理エージェントは各市場に1つ存在し、市場を構成するエージェントの登録や削除などの管理を行う。また、オークション形式で行われる取引の仲介を行い、その管理も行う。

表1に実験に用いた計算機の性能と実行するアプリケーションを示す。Ethernet 上で接続された3台のマシンにおいて、それぞれ対象システムである eMarket MAS、レプリケーションサーバおよびフォールトジェネレータを実行し、そのうちマシン A にのみモニタリングシステムを実行させる。また市場でのオークション形式による取引は以下のプロセスで行う。

1. 販売エージェントが最低販売価格を市場管理エージェントに提示する。

図4 二段市場モデル

Fig. 4. Two stage market model.

表 1 各マシンのスペックと実行するシステム

Table 1. Specifications of each machine and running systems.

	Specifications	Running Systems
Machine A	Intel Pentium4 3.4GHz Memory 1GB	Replication Server Monitoring System eMarket MAS Fault Generator
Machine B	AMD Athlon 1.2GHz Memory 512MB	Replication Server eMarket MAS Fault Generator
Machine C	Intel Celeron 1GHz Memory 256MB	Replication Server eMarket MAS Fault Generator
Network	100Base-T Ethernet	

- 市場管理エージェントは一定時間、購入エージェントからの入札を受け入れる。
 - 入札締め切り後、市場管理エージェントは最低販売価格を超える入札のなかで、最も高い入札価格を提示した購入エージェントとの取引を成立させる。
 - 該当する入札がない場合、取引は不成立とし販売エージェントは先の販売価格を下回る価格を再び提示する。
- 価格提示と入札のタイミングおよび販売価格と入札価格は一様乱数により決定する。

フォールトジェネレータによる故障の生成については一様乱数により決定したエージェントに停止故障を発生させる。以上の条件下のシステムにおいて、耐故障性とパフォーマンスの二点について検証を行う。

〈5・2〉 実験 1 実験 1 の目的は、あらかじめシステム設計者が設定するパラメータであるレプリカの総数 $r_{\max}$ とシステムの信頼性との関係を明らかにすることである。

〈5・2・1〉 実験条件 実験は、10 分間のシミュレーションにおいてフォールトジェネレータにより計 100 個の故障を発生させ、レプリカの総数 $r_{\max}$ を 0 から 30 まで 2 ずつ変化させた時のシミュレーション成功回数を測定する。

シミュレーションは計 40 回行い、その成功の割合で評価を行う。実験に用いるパラメータは表 2 のとおりである。

〈5・2・2〉 実験結果と考察 実験結果を図 5 に示す。 $r_{\max}$ を 10 に設定した場合は、成功率は 80 % に達し、20 以上に設定すると成功率 100 % となった。つまり、この実験環境の場合は $r_{\max}$ を 20 以上に設定することでシステムの信頼性を維持できることを表し、かつレプリケーションコストを効率的に抑えることができる可能性があることを示している。他のケースについても同様な傾向が見られた。

このパラメータ $r_{\max}$ は、システムにとって重要なパラメータであり、適切な値を設定しなければならない。

〈5・3〉 実験 2 実験 2 の目的は、システムのパフォーマンスに影響を与える要素となるモニタリングコストについて検証する。

〈5・3・1〉 実験条件 実験は、まずモニタリングを行う場合と行わない場合で、実行に要する処理時間(Execution time)によりパフォーマンスを計測する。

市場を構成するエージェント数は 100 から 350 まで 50 ずつ

表 2 実験 1 で用いるパラメータ

Table 2. Parameters applied to experiment 1.

Number of Agents	Total 100
(Market Management Agents)	2
(Purchasing&Sales Agents)	50
(Purchasing Agents)	24
(Sales Agents)	24
Monitoring Interval	500ms
Discount Rate α	1.0
Initial Number of Replica r_0	1

図 5 $r_{\max}$ によるシミュレーション成功率の違いFig. 5. Relationship between $r_{\max}$ and success rate.

表 3 実験 2 で用いるパラメータ

Table 3. Parameters applied to experiment 2.

Agents	
(Market Management Agents)	2
(Purchasing&Sales Agents)	50%
(Purchasing Agents)	25%
(Sales Agents)	25%
Monitoring Interval	500ms
Discount Rate α	1.0
Total Number of Replicas $r_{\max}$	30

つ変化させ、実験 1 と同様にエージェントの構成は市場管理エージェントを 2 つに固定し、残りを表 3 の割合で配置する。故障は、実験 1 と同様に 10 分間のシミュレーションにおいてフォールトジェネレータにより計 100 個の故障を発生させる。実験に用いるパラメータは表 3 のとおりである。

〈5・3・2〉 実験結果と考察 提案システムでモニタリングした場合としない場合のパフォーマンスの計測結果を図 6 に示す。

両者の差がモニタリングコストに相当するが、エージェント数が増加した場合でも、モニタリングにより急激にパフォーマンスが悪化することなく、一定のコストで増加していることが分かる。

また、従来の代表的なモニタリングシステムである免疫型ネットワークとレプリケーションシステムを組み合わせた従来システムとパフォーマンスを比較した。図 6 の結果より、提案システムによるモニタリングコストは問題にならない程度であることが分かる。

さらに、エージェント数が増加すると、従来システムは相互診断を構成するエージェントが増加するためパフォー

図6 モニタリングコスト

Fig. 6. Monitoring cost.

マンスが大幅に悪化することも読み取れる。免疫型ネットワークの診断領域を縮小することでパフォーマンスは若干改善すると考えられるが、逆に故障の決定に必要な信頼度計算の収束に時間を要するため、信頼性を維持できなくなる。これは提案システムが大規模なマルチエージェントシステムのモニタリングシステムとしてモニタリングコストの面からも適することを裏付けるものである。

6. まとめ

本論文は、マルチエージェントシステムにおいてエージェント間の相互依存関係を大域的に表現した相互依存グラフを導入することにより、システムレベルでの解析が行える大域的モニタリング手法を提案した。さらに、モニタリングにより得た大域的情報をマルチエージェントシステムの耐故障性の向上に利用した適応型レプリケーションシステムを提案した。

また、実験としてマルチエージェントシステムを仮想的に表現した eMarket MAS を対象に提案手法を適用し、有効性の検証を行った。本手法の効果は、単位処理量当たりの故障発生率がほぼ等しい均質なエージェントからなるマルチエージェントシステムに対して、実行時の処理量を監視することにより、効率的に発揮できるものと考えられる。また、 $r_{\max}$ の設定については、ドメインエージェントの故障率とも関係するので、類似のシステムからの推定値や過去の経験からの推定値を用いて設定することが必要になる。これらについては、さらなる検討が必要である。

今後の課題としては、次のようなものが挙げられる。

- ・重み更新アルゴリズムに用いる集合演算子の拡張
例えば、過去の重要度に対する現在の重要度の学習度合い
- ・相互依存グラフに用いる局所的情報の拡張
例えば、メッセージの種類の抽出、分類、およびその評価と重み付けやメッセージ系列の評価
- ・レプリケーショングループにおけるレプリケーションポリシーの動的な切り替え手法

(平成 17 年 6 月 21 日受付, 平成 17 年 11 月 4 日再受付)

文 献

- (1) G. Weiss : "Multiagent systems -A modern approach to distributed artificial intelligence-", The MIT Press, pp.79-120 (1999)
- (2) K. Hagihara : "Algorithms for fault-tolerant distributed systems", *Information Processing Society of Japan Magazine*, Vol.34, No.11, pp.1336-1340 (1993-11) (in Japanese)
萩原兼一 : 「フォールトトレラント分散システム向けアルゴリズム概論」, 情報処理, **34**, 11, pp.1336-1340 (1993-11)
- (3) Y. Ishida : "An immune network approach to sensor-based diagnosis by self-organization", *Complex Systems*, Vol.10, No.1, pp.73-90 (1996)
- (4) G. A. Kaminka, D. V. Pynadath, and M. Tambe : "Monitoring teams by overhearing: A multi-agent plan-recognition approach", *Intelligence Artificial Research*, Vol.17, pp.83-135 (2002)
- (5) B. Horling, B. Benyo, and V. Lesser : "Using self-diagnosis to adapt organizational structures", *Proc. of 5th International Conference on Autonomous Agents*, pp.529-536 (2001)

谷 元 昭 文

(非会員) 2005 年 3 月大阪府立大学大学院工学研究科電気・情報系専攻博士前期課程修了。現在、富士火災システムサービスに勤務。在学中、マルチエージェントシステムの信頼性に関する研究に従事。

松 本 啓之亮

(正員) 1978 年 3 月京都大学大学院工学研究科精密工学専攻修士課程修了。同年 4 月三菱電機 (株) 入社。1996 年大阪府立大学工学部情報工学科教授。現在、大阪府立大学大学院工学研究科教授。主に、知能情報処理やソフトウェアに関する研究に従事。工学博士。1984 年電気学会論文賞, 2005 年進歩賞受賞。情報処理学会, IEEE などの会員。

森 直 樹

(非会員) 1994 年 3 月京都大学大学院工学研究科原子核工学専攻修士課程修了。1997 年 3 月同大学院工学研究科電気工学専攻博士後期課程指導認定退学。同年 4 月大阪府立大学工学部情報工学科助手。現在、同大学院工学研究科講師。主に、遺伝アルゴリズムの研究に従事。工学博士。1999 年システム制御情報学会論文賞受賞。