

広域ネットワーク上のエージェントシステム管理手法の提案

寺内 敦 明石 修

terauchi.atsushi@lab.ntt.co.jp akashi@core.ntt.co.jp

NTT 未来ねっと研究所

概要

マルチエージェントを使った広域ネットワークの管理を行う場合、ネットワーク上の複数地点に配置したエージェントによる情報収集および協調が必要である。しかし、すべてのエージェントが平等で信頼できるとは限らないエージェント系では情報共有の範囲を明確にして、それに応じて適切な動作を選択しないと情報流出などの問題が起こる可能性がある。本稿では、そのような広域ネットワークを管理するための MAS において、各エージェントが配置先毎のポリシーを反映して適切にエージェント間通信を行うことを可能とするエージェント管理手法を提案し、モデルおよび機能要件に関する検討結果を報告する。

Organization in Network Management Agents

Atsushi Terauchi Osamu Akashi

terauchi.atsushi@lab.ntt.co.jp akashi@core.ntt.co.jp

NTT Network Innovation Labs.

abstract

This paper describes a method for managing agents in multi-agent systems (MAS) for network management. In general network management, cooperation including information exchange among Autonomous Systems (ASs) should be executed regarding a security policy of each AS. To achieve similar cooperations among agents in network management MAS, the method for defining groups of agents based on a security policy is proposed. By using the defined groups of agents, each agent in MAS can select adequate cooperative actions.

1 はじめに

インターネットは独立した管理主体により運用・管理される AS (Autonomous System) が相互接続された巨大な分散システムである。個々の管理主体は自分が管理する AS 内のネットワークしか観測制御できないため、複数の AS を跨る広域ネットワークの運用管理では AS 間での協調作業が不可欠である。例えば、インターネットの経路情報は複数の AS を経由しながらネットワーク全体に伝搬されるが、その伝搬過程において AS が任意に変更することができる。そのため、経路情報の転送状況を調査した場合などは当該経路情報を生成した AS を始めとして当該経路を伝搬したすべての AS の協力が必要である。また、動画など大容量のコンテンツを多数

のユーザにインターネットで配信する場合、サーバやクライアントといった終端のノードを制御するだけでは十分でなく、例えば、マルチキャストのように転送経路上のルータやネットワークを含めた広域にわたる協調制御が必要である。

このように、広域ネットワークの運用管理とは複数の AS による分散協調作業といえる。そのため、広域ネットワークの運用管理を高度化、効率化するには複数のエージェントが協調してタスクの実行を行うマルチエージェントシステム (以下、MAS) [1] を使ったアプローチが有効であり、実際に MAS をネットワーク管理に適用した事例も多く報告されている [2, 3, 4, 5, 6]。

我々も MAS による広域ネットワーク管理の高度

化、自動化を目指して、AS間での経路情報の到達性を診断する経路診断システム ENCORE[2]、ENCORE などの MAS におけるエージェント間の効果的な協調を支援するエージェント組織化支援システム ARTISTE[7] およびこれらの MAS からなる広域ネットワーク管理用マルチエージェントアーキテクチャの提案を行っている。現在はこれらを実際の ISP(Internet Service Provider) におけるネットワーク管理で利用するための検討を行っている。

ところで、前述の通りインターネットは AS 間の協力によって動作している反面、それらの AS (を運営する主体) は利害が競合する関係にもある。そのため、実際のネットワーク運用では、たとえ障害の解決といった共通の利益のためであったとしても、AS 間での協力には制限が加わることが通常である。

この AS 間の協調に関する制約は、広域ネットワーク管理を行う MAS におけるエージェント間協調にもそのまま当てはまる。ENCORE、ARTISTE は共に複数の AS 上に配置したエージェント間の協調を通じて経路診断あるいはエージェントの探索というそれぞれのタスクを実行するが、その際にエージェントが各 AS で収集した局所情報の交換を行うことがある。しかし、各 AS では自己のネットワーク情報を他 AS に公開することに関しては独自のポリシーを持っているため、このような情報を MAS を使って無制限に交換することは問題がある。そのため、広域ネットワーク管理用 MAS を実ネットワークの運用に適用するためには、通信相手となるエージェントおよびエージェント間での協調動作を適切に管理する仕組みが必要と考えられる。

本稿では、広域ネットワーク上で動作する MAS におけるエージェントおよびその動作を、エージェントの配置先のポリシーに基づいて管理するエージェント管理手法について検討した結果を報告する。

2 MAS による広域ネットワーク管理

本章では、我々が提案する広域ネットワーク管理用マルチエージェントアーキテクチャ (以下、エージェントアーキテクチャ) を使って、MAS による広域ネットワーク管理の概要およびその問題について述べる。

2.1 広域ネットワーク管理用マルチエージェントアーキテクチャ

我々が提案するエージェントアーキテクチャは、実際のネットワーク管理を行うアプリケーション MAS とエージェント組織化支援システム ARTISTE という 2 種類の MAS によって構成される。

提案するエージェントアーキテクチャを図 1 に示す。

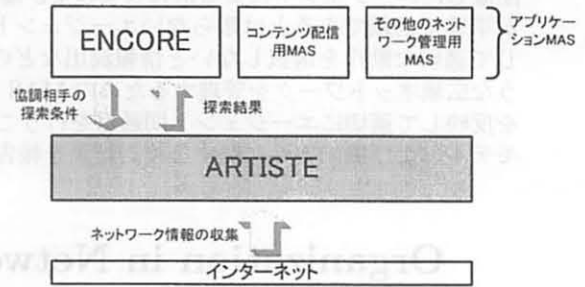


図 1: 提案するエージェントアーキテクチャ

アプリケーション MAS の 1 つに我々が提案する経路診断システム ENCORE がある。ENCORE は BGP(Border Gateway Protocol)[8] によって伝搬されている経路情報を、インターネット上の AS 上に配置した複数のエージェントによって相互観測することにより、単独の AS からの観測では発見の難しい他 AS のフィルタ設定ミスなどによる経路の伝搬障害を迅速に発見、診断するシステムである。

ENCORE などのアプリケーション MAS では経路診断のようなタスクを実行する際にエージェント間での協調を行う。このとき、協調相手のエージェントの選択はエージェントの性能・能力に加えて、ネットワーク上の位置や配置先 AS の状態などによって決定される (例: 自分からネットワーク的に最も近いエージェント)。しかし、インターネット上に配置されたエージェントはそれぞれ自分の周辺の局所的なネットワーク情報しか観測できないため、MAS 中のエージェント全体を管理しない限り、自分の知ることのできる局所的な範囲でしかエージェント協調ができない。

エージェント組織化支援システム ARTISTE はこの問題を解決するために開発されたシステムであり、インターネット上に分散配置されたエージェントが、各地点においてネットワーク情報およびアプリケーション MAS の情報を収集する。そして、アプリケー

ション MAS から協調エージェントのための探索条件が送られてくると、ARTISTE エージェントが協調することによって条件に合致するエージェントの集合を広域ネットワーク上から探索し、その結果をアプリケーション MAS に提供する。

アプリケーション MAS と ARTISTE を連携させることで個々のアプリケーション MAS は他のエージェント情報を管理することなく問題や環境に応じた効果的な協調が可能になるため、より効率的かつ信頼性の高いネットワーク管理が行えるようになる。

本アーキテクチャにおけるアプリケーション MAS と ARTISTE との関係動作の概略を以下に示す。

1. ARTISTE によりネットワーク情報とアプリケーション MAS 中のエージェント情報を収集
ARTISTE エージェントは配置先 AS 内のルータやアプリケーション MAS エージェント（以下、MAS エージェント）と通信を行い、近傍のネットワークトポロジ、MAS エージェントの能力・状態を収集する。
2. アプリケーション MAS から ARTISTE に協調エージェントの探索条件を送信
MAS エージェントはタスクの実行中に他の MAS エージェントとの協調が必要になった場合、協調相手の満たすべき条件（能力やネットワーク上の位置など）を ARTISTE エージェントに送信することで、エージェントの探索を ARTISTE に依頼する。
3. ARTISTE では ARTISTE エージェントによる情報交換を通じて送信された条件に合致する MAS エージェントを探索
MAS エージェントからの要求を受信した ARTISTE エージェントは必要に応じて適宜他のエージェントと協調しながら条件に合致する MAS エージェントを探索する。
4. ARTISTE から探索結果をアプリケーション MAS に返答
5. アプリケーション MAS は探索結果を元にエージェント間協調を行い、経路診断などのタスクを実行

アプリケーション MAS と ARTISTE の関係動作を図 2 に示す。

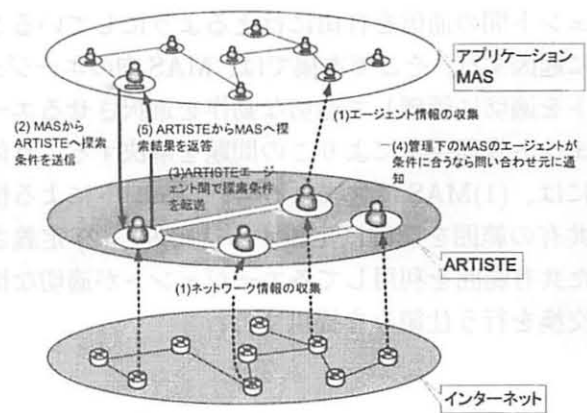


図 2: アプリケーション MAS と ARTISTE の動作

2.2 MASによる広域ネットワーク管理の問題

広域ネットワークの管理を行う場合には自 AS 内部の状態（例えば、トラフィック分布、ネットワークトポロジなど）を観測するだけでなく他 AS の状態を知ることも必要である。これとは逆に、他 AS からの要求があった場合には自 AS のネットワーク情報を公開する必要もある。しかし、実際のネットワークの管理の現場においては、自 AS のネットワーク情報を他の AS に公開することは顧客のプライバシー保護、特定攻撃の対象になる可能性があるなどの理由から特に注意が払われている。このように AS 間の情報交換については個々の AS が独自のポリシーを設定してそれに従った運用がなされている。

ところが、現在、我々が提案している ENCORE、ARTISTE も含め、広域ネットワーク管理用の MAS では、タスクの遂行が優先されるため、エージェント間の通信（情報交換）は制限されていないことが多い。そのため、我々は AS 毎のポリシーに基づいてエージェント間の情報交換を適切に制限できることが実際の広域ネットワーク管理に MAS を適用する際の重要な要求条件であると考えた。次章以降で実現すべき機能要件について説明する。

3 広域ネットワーク用 MAS におけるエージェント管理

2.2 章で示した問題は、MAS 内のすべてのエージェントは互いに平等で信頼できるものとしてエー

エージェント間の通信を自由に行えるようにしていることに起因する。そこで本稿では、MAS内のエージェントを適切に管理して適切な動作を選択させるエージェント管理手法によりこの問題を解決する。具体的には、(1)MASに含まれるエージェントによる情報共有の範囲を明確に定義する仕組み、(2)定義された共有範囲を利用して各エージェントが適切な情報交換を行う仕組みを提供する。

3.1 エージェントのグループ化

本稿で提案するエージェント管理手法では「情報共有を行う範囲の定義=エージェントのグループ化」としてモデル化する。そして、個々のアプリケーションMASに依存しない共通的なグループ化情報と各アプリケーションMASにおけるエージェントの配置先ポリシーに基づいたグループ化情報からなる2階層の定義方法を採用する。以下に、それぞれのレベルでのエージェントのグループ化について説明する。

アプリケーションに依存しないグループ化

AS間での通信障害や情報流出は自分や顧客だけでなくインターネット全体へも影響しうることから、ASではピアリングはもちろんトラフィック交換も十分に信頼できる相手としか行わないというケースも多い。そのため、広域ネットワーク上でMASを利用する際には、まず系に属するASに関する信頼関係を明確にすることが情報公開の範囲を決める上で重要であると考えた。ここでの信頼関係とは系列会社に属するAS、同じIXを通じてピアリングしているASなど当事者のAS以外の外部からも観測可能な関係を想定している。

そこで、提案モデルではこのような実AS間に成り立つ信頼関係に基づいて形成されるASの集合を元に、それらASに配置されたエージェントの集合をグループと定義する。以降では、このグループをglobalグループと呼ぶ。そして、(1)このようなAS間の基本的な関係はアプリケーションに関わらず利用可能な情報であること、(2)なりすましなどの不正を防止し、信頼関係の正しさを保証するためには中立的な機関による管理が必要であること、という理由からglobalグループ情報はARTISTEにより集中的に管理する。グループの種類やメンバ情報は、

アプリケーションMASを運用するASの管理者によって決定されARTISTEにdeployされる。

アプリケーション毎のグループ化

アプリケーションMASではglobalグループ情報を基本的な情報共有の単位として動作を行う。しかし、個々のエージェントの配置先ASは独自の管理ポリシーを持つため、globalグループ情報だけではなく自分のポリシーに基づくグループ化とそれに基づく動作制限をしたいという要求も存在する。そのため、アプリケーションMAS内では、各エージェントが独自に他エージェントをグループ化してlocalでその情報を維持管理すること、そして自分が定義したグループ情報に基づく動作選択を行えるようにした。このような各エージェントが定義するグループ情報は以降ではlocalグループと呼ぶ。

提案するエージェントのグループ化の2階層モデルを図3に示す。図下部で示したglobalグループ情報に対して、図上部に示すように個別のAS(この例ではAS1)が自分のポリシーに基づいたlocalグループ情報を定義できる様子を表している。例えば、AS2はglobal情報によるとAS1と信頼関係にあるが、AS1自身はAS2を危険とみなすというように独自の定義が可能になっている。

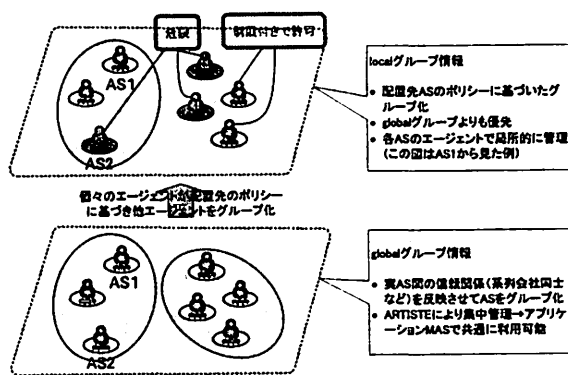


図3: エージェントのグループ化

3.2 グループ情報を使ったMASの動作

3.2.1 ARTISTE

本モデルではARTISTEのエージェントはすべて中立で信頼できるという仮定を置いているため、

3.1 章で定義したエージェントのグループが直接 ARTISTE の動作に影響することはない。アプリケーション MAS からの要求内容によっては、信頼できるグループ内のみを検索対象とするということが起こりうるが、これはあくまでアプリケーション MAS からの要求に基づいて動作しているだけであり、ARTISTE としてはグループ情報に依存した動作はしない。

3.2.2 アプリケーション MAS

各アプリケーション MAS のエージェントは、自分が他のエージェントと通信する場合、あるいは他のエージェントからの通信依頼があった場合に 2 種類のグループ化情報を参照しながら動作選択を行う。それぞれのグループ化情報の利用イメージを示す。

global グループ

global グループ情報では、他のエージェントはグループに含まれるか否かという 2 種類に分類されるため、グループ内エージェントとはすべてのネットワーク情報を互いに交換して日常的な相互観測を行うが、それ以外のエージェントとは交換できる情報の種類や通信そのものの頻度を制限するといった形で利用する。また、global グループ情報は ARTISTE によって管理されているため、ARTISTE によってエージェントを探索する際に自分と同一グループのエージェントのみを探索するなど ARTISTE の探索範囲を制限するためにも利用する。

local グループ

global グループ情報では他エージェントはグループ内外という 2 種類にしか分類できないため、細かい動作選択には利用できない。対して local グループ情報は任意の数だけ指定できるので、各エージェントでは通信相手によって通信を拒否したり、限定した情報のみを公開するというような細かい動作選択が可能になる。

また、2 種類のグループ情報を使う場合、1 つのエージェントに対する動作選択が競合する場合が起こりうる (ex. global グループに基づけば制限付きの通信が可能だが local グループに基づけば通信を

拒否する必要がある)。この場合、local グループが各 AS のポリシーを直接反映したものであるため、local グループに基づく動作選択が優先される。

4 動作例

4.1 設定

アプリケーション MAS において、グループ化情報を使った動作を行うために各エージェントでは以下の設定を行う。

1. global グループに対する動作定義

- 自分と同一の global グループのエージェントおよび上記以外 (= グループ外) のエージェントと通信する際の動作をそれぞれ定義する。
- 自分が複数の global グループに属している場合はそれぞれのグループについて動作定義する。

2. local グループの定義

- エージェント毎のポリシーに基づき他のエージェントを local グループに分類する。
- local グループは任意の数だけ定義できる。

3. local グループに対する動作定義

- local グループ毎の動作を定義する。
- global グループに対する動作定義と競合する場合はこちらの動作定義が優先する。

4.2 動作手順

グループ化情報を利用してアプリケーション MAS と ARTISTE を動作させる手順を示す。

1. アプリケーション MAS のエージェントを運営する配置先 AS の管理者は自分のエージェント情報を ARTISTE に登録する。
2. AS から global グループ情報の登録依頼が ARTISTE にあった場合、ARTISTE (の管理者) は global グループのメンバに確認を行い全員の承諾が得られた場合にのみ global グループ情報を登録する。

3. 各エージェントの管理者は必要であれば local グループ情報や動作定義を自分のエージェントに deploy する。
4. ARTISTE は近隣のネットワークや ENCORE エージェントの情報を収集する。
5. アプリケーションから ARTISTE に対して協調相手のエージェントを探索するための条件を送信する。
問い合わせ元のエージェントは自分と同一の global グループのメンバだけを検索対象とするか、それ以外のエージェントも検索対象とするかを任意に指定することができる。
6. ARTISTE エージェントは他の ARTISTE エージェントに対して要求を転送する。
7. ARTISTE エージェントは他エージェントからの返答を総合して、探索結果のエージェント集合を協調相手の候補として問い合わせ元のエージェントに返信する。
8. アプリケーション MAS では、ARTISTE からの探索結果を元に他のエージェントと協調しながらタスクを実行する。
各エージェントは 3.2.2 章に示したように 2 種類の local グループ情報を参照しながら適宜動作を選択する。

5 まとめと今後の課題

本稿では広域ネットワークの管理を行う MAS において、エージェントの配置先毎のポリシーに基づいてエージェントに適切な動作を行わせるためのエージェント管理手法について述べた。そして、エージェントのグループ化手法として、エージェント同士の信頼関係を元にしたエージェントグループをアプリケーション非依存の情報として共通的に定義し、それに加えてエージェントの配置先毎のポリシーに基づいてグループ化をカスタマイズできる 2 階層のグループ化モデルを提案した。また、提案するエージェント管理手法を我々の提案するネットワーク管理用エージェントアーキテクチャに適用した場合の動作例を示した。

今後は、提案したエージェント管理手法の実装および運用実験を行って、提案手法の有効性の確認および機能の追加および改良を行っていく予定である。

参考文献

- [1] E.H. Durfee, V.R. Lesser, and D.D. Corkill. Cooperation through communication in a distributed problem solving network. In M. Huhns, editor, *Distributed Artificial Intelligence*, chapter 2. Pitman, 1987.
- [2] O. Akashi, A. Terauchi, K. Fukuda, T. Hirotsu, M. Maruyama, and T. Sugawara. "Detection and Diagnosis of Inter-AS Routing Anomalies by Cooperative Intelligent Agents". *Lecture Notes in Computer Science(Proc. of DSOM'05)*, Vol. 3775, pp. 181–192, Oct 2005.
- [3] 寺内, 明石, 丸山, 菅原, 福田, 廣津, 栗原. "エージェントの組織化による広帯域ストリーム向け適応型配信アーキテクチャの提案". 第 6 回インターネットテクノロジーワークショップ (WIT2004), Dec 2004.
- [4] S. Willmott and B. Faltings. "The Benefits of Environment Adaptive Organisations for Agent Coordination and Network Routing Problems". *ICMAS2000*, pp. 333–340, 2000.
- [5] D. A. Tran, K. A. Hua, and S. Sheu. "A New Caching Architecture for Efficient Video-on-Demand Services on the Internet". *IEEE Symposium on Applications and the Internet (SAINT 2003)*, pp. 172–181, 2003.
- [6] M. M. Hefeeda, B. K. Bhargava, and D. K. Y. Yau. "A hybrid architecture for cost-effective on-demand media streaming". *Computer Networks*, Vol. 44, No. 3, pp. 353–382, Feb. 2004.
- [7] 寺内, 明石, 丸山, 福田, 栗原, 菅原. "経路障害診断システム用エージェント管理システムの提案". 第 12 回 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ, pp. 299–304, Dec 2004.
- [8] Y. Rekhter and T. Li. "A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4)". *RFC1771*, 1995.