

ネットワーク情報を利用したインターネットエージェントの配置

寺内 敦† 明石 修† 丸山 充† 福田 健介† 廣津 登志夫¶ 栗原 聡§ 菅原 俊治‡

† †{terauchi, akashi, mitsuru, fukuda, sugawara}@core.ntt.co.jp

¶hirotsu@ics.tut.ac.jp, §kurihara@ist.osaka-u.ac.jp

†NTT 未来ねっと研究所 ¶豊橋技術科学大学 §大阪大学 †NTT コミュニケーション科学基礎研究所

概要

知的エージェントを使ったインターネットの管理・制御においてはエージェントをインターネット上の複数地点に配置して情報収集することが必要だが、現在のインターネットは多数のネットワークが接続された巨大なネットワークであり、エージェントの配置を効率的に行う、すなわち、より少ない数のエージェントで広範囲のネットワーク情報の収集を行わせることがシステムの効率化および実用性の観点から重要である。本稿ではBGP情報を利用することで、少ない知的エージェントにより広範囲のネットワーク情報を取得することのできるエージェント配置方法を提案する。実際のインターネットのトポロジ情報を使ったシミュレーションを行い提案方法が有効であることを確認した。

Topology-aware Allocation of Intelligent Agents on the Internet

Atsushi Terauchi † Osamu Akashi † Mitsuru Maruyama † Kensuke Fukuda †

Toshio Hirotsu ¶ Satoshi Kurihara § Toshiharu Sugawara ‡

† †{terauchi, akashi, mitsuru, fukuda, sugawara}@core.ntt.co.jp

¶hirotsu@ics.tut.ac.jp, §kurihara@ist.osaka-u.ac.jp

† NTT Network Innovation Labs. ¶Toyohashi University of Technology

§Osaka University †NTT Communications Science Labs.

abstract

This paper describes a method for allocating intelligent agents in multi-agent systems (MAS) on the Internet. The proposed method uses the information about the topological structure of the Internet for determining the allocations of the agents. By using the proposed method, MAS can obtain the information about the Internet with the small number of agents. According to the experimental result of the simulation using the actual topological information of the Internet, we find that the awareness of the Internet topology can improve the effectiveness of collecting information in MAS.

1 はじめに

近年のインターネットの拡大により、その運用や維持管理はますます複雑かつ困難になっている。集中的な管理主体が存在しないインターネットではネットワーク全体の情報を獲得することが困難なため、分散配置された知的エージェントを用いたアブ

ローチがインターネット上でのサービスの実現やインターネット自身の管理を行う際に有効である。筆者らも知的エージェントを用いたネットワークの高度化、管理の自動化を目指していくつかの提案を行っている [1, 2, 3]。ネットワーク上で動作するマルチエージェントシステム (以下、MAS) はネットワーク上の複数地点に知的エージェントを配置し、個々

のエージェントが局所的な情報を収集管理するとともにエージェント間で観測した情報を交換することを通してシステムとしてタスクを実行する。

そのようなインターネット上の MAS の 1 つに筆者らが提案するエージェント管理システム ARTISTE (Agents' Roles and Topological Information management System for agent TEamwork) がある [4, 5]。ARTISTE はインターネット上で動作するさまざまな MAS (以下、対象 MAS) 中のエージェント (MAS エージェント) をネットワークや MAS 自体の状態を考慮しながら適切に組織化し、その情報を対象 MAS に提供するシステムである。

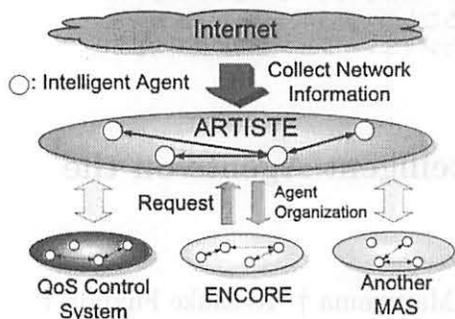


図 1: エージェント管理システム ARTISTE

ARTISTE では対象 MAS からの要求に合致する MAS エージェントの集合を組織のメンバとして、ARTISTE 中のエージェント (ARTISTE エージェント) が協調しながらネットワーク上から探索する。そのため、条件に合致する MAS エージェントをできるだけ多く発見するためには、配置された ARTISTE エージェントの集合により、できるだけ広範囲のネットワーク情報および MAS エージェントの情報が収集できることが要求される。このとき、多数の ARTISTE エージェントをネットワーク上の多くの地点に配置すれば多くの情報を得ることができるが、現在の巨大なインターネット全体をカバーするには膨大な数の ARTISTE エージェントが必要となる。また、ネットワーク上の特定の箇所に ARTISTE エージェントが集中しても収集できる情報の量はさほど変化しない。よって、ARTISTE による探索の品質の向上のためにはネットワーク上にどのくらいの ARTISTE エージェントをどこに配置すべきかというエージェントの配置問題が密接に関連していると言える。

本稿では、BGP 情報から得られるインターネットのトポロジを利用してインターネット上に ARTISTE エージェントを効率的に配置する方法を提案する。エージェントの配置に関してトポロジを考慮する方法は P2P などの分野でいくつか提案されている [6] が、本稿のように BGP による実際のインターネットのトポロジ情報を利用する方式はサーバの選択問題に適用した方法 [7] が提案されている以外は殆ど見られない。

提案方式に基づき実際の BGP 情報を解析して得られた AS 間トポロジを利用して ARTISTE エージェントの配置と得られる情報量をシミュレートする実験を行った。その結果、トポロジ情報を考慮して ARTISTE エージェントの配置を行うと、トポロジを考慮しない場合と比べて少ないエージェント数で広範囲のネットワークおよび MAS 情報を収集できることが分かった。

2 ARTISTE

2.1 概要

MAS の効率的な動作のためにエージェントを適切に組織化することの重要性は分散 AI などの分野で広く知られている [8]。ARTISTE はさまざまな MAS に対して組織情報を提供することで、それぞれの MAS の scalability および環境やタスクの変化に対する柔軟性を向上させることを目的とする [5]。ARTISTE はインターネット上に配置した複数の ARTISTE エージェントにより AS 間トポロジなどのネットワーク情報や MAS 自身に関する局所的な情報を収集解析し、それらの情報を元にして対象 MAS の要求に合致する組織情報を作成、提供する。さらに ARTISTE エージェント同士が協調して取得した情報を交換することにより、地理的に離れたネットワークや MAS エージェントの情報を含む、より大域的な情報を獲得できる。

2.2 ARTISTE によるエージェントの組織化

経路障害診断システム ENCORE [1, 2] を対象にした ARTISTE のプロトタイプの事例を元に、ARTISTE によるエージェントの組織化手順の概要

を図2および以下に示す。ENCOREはインターネットのAS(Autonomous System)上に配置した複数の知的エージェントによって、BGPで伝搬されている経路情報を相互観測することにより、自ASからの観測だけでは発見の難しい他ASにおける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。

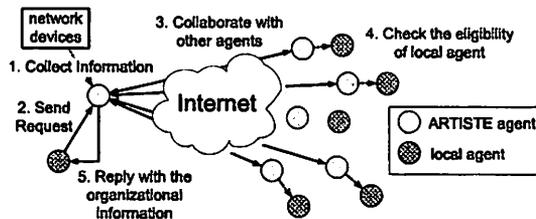


図 2: ARTISTE による ENCORE エージェントの組織化手順

1. 各 ARTISTE エージェントにより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。

ARTISTE エージェントは自分が所属する AS 内の BGP ルータや対象 MAS(ここでは ENCORE)のエージェント(以下、ENCORE エージェント)と通信を行い、ネットワークの状態や ENCORE エージェントの能力や状態を取得する。また、組織内での ENCORE エージェントの役割を決定するために必要な能力や状態(ENCORE ではネットワーク上での位置)も取得する。ここで各 ARTISTE エージェントは予め指定された ENCORE エージェントの情報のみを管理する。

2. ENCORE から ARTISTE に対してエージェントの組織情報に関する要求条件を送信する。ENCORE も MAS であり、診断タスクを行う過程において、ある役割を持つ他の ENCORE エージェントとの協調が必要になる。しかし、協調相手として適した ENCORE エージェントがどれかは個々の ENCORE エージェントには分からないので、協調相手の役割や場所を ARTISTE エージェントに送信する。
3. 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。

ENCORE からの要求を受信した ARTISTE エージェントは要求条件をチェックして自分の持つ局所的な情報だけでは要求に対する回答ができないと判断した場合は他の ARTISTE エージェントに要求条件を転送する。

4. 転送を受けた ARTISTE エージェントは step1 で収集した情報を元に、自分が管理する ENCORE エージェントの能力およびネットワーク上の位置を要求と照合する。要求に合致すれば、その結果を転送元の ARTISTE エージェントに返送する。
5. 転送元の ARTISTE エージェントはこれらの返答を総合して条件に合致する ENCORE エージェントの集合を組織情報として問い合わせ元の ENCORE エージェントに返信する。

3 ARTISTE エージェントの配置

3.1 要求条件と問題

2.2 章で示したとおり、ARTISTE では ARTISTE エージェントの協調によって、対象 MAS から与えられた条件に合致する対象 MAS 中のエージェントの探索を行う。本稿では、ENCORE を含めた対象 MAS のエージェントおよび ARTISTE エージェントはインターネットの構成単位である AS 毎に配置されるという前提で議論を進める。どの AS にどれだけの MAS エージェントがあるかは ARTISTE は観測によって知る必要がある。そのため、ARTISTE エージェントの集合はネットワークおよび MAS エージェントの全体の情報を把握していないと、要求に合致する MAS エージェント全体あるいは一部を発見することができない可能性がある。また個々の ARTISTE エージェントはネットワークおよび対象 MAS に関して局所的な情報しか獲得できないため、ARTISTE エージェントの集合により収集できる全体の情報は、ARTISTE エージェントの数と配置される場所に強く影響される。

前記のように MAS エージェントが AS 単位に配置されている場合、ARTISTE エージェントを配置する方法として最も簡便な方法はすべての AS 毎に ARTISTE エージェントを配置する方法である。各 ARTISTE エージェントが所属 AS から観測できる

ネットワーク情報および MAS エージェントの情報を管理するとすれば、原理的にはネットワークおよび対象 MAS 全体の情報を ARTISTE で管理できることになる。

ただし個々の AS は独立した組織が独自のポリシーで運営していることを考慮すると、全 AS に ARTISTE エージェントを配置するのではなく、一部の AS にもみ ARTISTE エージェントが配置される状況の方が現実的である。しかし、この場合には取得できるネットワークおよび対象 MAS の情報量が全 AS に配置できる場合と比べると減少するため、ARTISTE による組織化の品質が低下するという問題が生じる。

3.2 アプローチ

3.1 章の問題に対処するために、本稿では、ARTISTE エージェントの配置に際して AS 間のトポロジ構造に着目する。インターネットの AS とその接続数 (次数) k との間にはべき法則 $P(k) \propto k^{-\gamma}$ が成立すること [9] が知られている。つまり、大半の AS は少数の AS との接続しか持たないが、ごく一部の AS は多くの AS と接続している。後者の AS からは前者の AS に比べると広い範囲のネットワークが観測できるため、後者の AS に優先的に ARTISTE エージェントを配置することで、少数の ARTISTE エージェントで広範囲のネットワーク情報が取得できることが期待できる。

また、MAS エージェントが AS 毎に配置されているのであれば直接接続された AS が多い AS からは 1 ホップの通信で多くの MAS エージェントの情報が取得できるため、MAS エージェント情報を収集する際にも有利である。通信コスト以外にも、2 ホップ以上離れた AS 同士は未知である場合も多いため、2 ホップ以上先の AS (にいる MAS エージェント) に関する情報を取得することは容易ではないと考えられるため、1 ホップで多くの情報が取得できる AS は MAS エージェントの情報の収集に有利な場所であると言える。

ここでの課題は、提案する方法において、

- ARTISTE エージェントはどこ (どの AS) に配置すべきか?
- 配置する ARTISTE エージェントの数はどのくらいあれば十分か?

を明らかにすることである。この課題に対する定量的な検証を行うために、実際にインターネット上から取得した全経路情報 (フルルート) を元に作成した AS トポロジを使って ARTISTE エージェントの配置と収集できる情報の範囲の変化をシミュレートする実験を行った。実験方法および結果の詳細を 4 章で述べる。

4 実験

4.1 手順

1. BGP ルータからフルルートを取得し、AS トポロジを作る。BGP で伝搬される経路情報にはそれぞれが伝搬する際に経由したすべての AS が AS-path 情報として次に示すように記載されている。

Address	Hash	Refcount	Metric	Path
0x6320abcd	0	8	0	AS1 AS3 AS6 AS2
0x6213efgh	0	3	0	AS1 AS3 AS6 AS4
0x614Fijkl	0	1	0	AS1 AS3 AS6 AS5 AS9 AS8
0x63F0mnop	0	1	0	AS1 AS3 AS6 AS7 AS9 AS10

この AS-path 情報を使って AS 間の接続を示すトポロジを作成する。例えば、この例で示した AS-path 情報をすべて統合すると図 3 に示すトポロジが得られる。

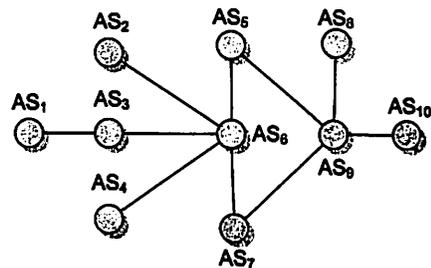


図 3: AS トポロジの例

2. AS トポロジを使って、各 AS 毎に他 AS との接続数を調べる。例えば、図 3 からは AS_1 の接続数が 1 で AS_6 の接続数が 5 であることが分かる。

- 次に全 AS の中から n 個の AS を選び、それらの AS に直接接続された近傍 AS の集合を求める。本実験での AS の選び方は 4.2 章に述べる。
- 前ステップで得られる集合の要素数は、「選択した n 個の AS に ARTISTE エージェントを配置し、それらが相互に収集した情報を交換するとき、システム全体としてどのくらいの範囲のネットワークおよび MAS の情報を把握することができるか」という意味を持つ。そこで、提案する配置方法の評価に次の式で表される「把握率」という値を用いる。

$$\text{把握率} = \frac{n \text{ 個の AS の 1 ホップ近傍の AS 数}}{\text{トポロジ中の全 AS 数}}$$
- n および AS の選び方によって「把握率」がどのように変化するか調べる。

4.2 結果

本実験では世界中の 4 カ所の AS において取得したフルルートを使った。それぞれのフルルートから作成した AS トポロジにおける AS の接続数の分布を図 4 および表 1 に示す。

表 1: AS の接続数の分布

接続数	1	2-10	11-100	101-1000	1000 以上
トポロジ 1	13957	5132	372	30	3
トポロジ 2	14783	5050	382	33	3
トポロジ 3	14563	5246	395	31	4
トポロジ 4	14627	5217	382	29	2

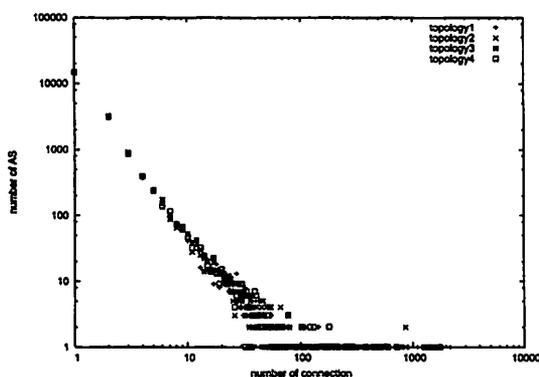


図 4: AS の接続数の分布

次に、AS の選び方と選ぶ個数による把握数の変化の様子を図 5 に示す。ここでは、以下の方法により AS を選択した場合のデータを示した。

data1 接続数の多い AS から順番に選択

data2 接続数が 2 以上である AS からランダムに選択

data3 全 AS からランダムに選択

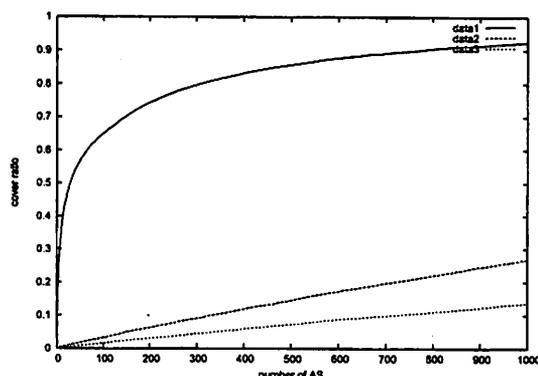


図 5: 把握率の変化

4.3 考察

グラフより、トポロジを考慮して優先的に ARTISTE エージェントを置く場合は、ランダムに ARTISTE エージェントを配置する場合と比べて、少ない ARTISTE エージェント数で高い「把握率」を得ることができることが分かった。表 1 の AS の分布からも分かる通り、大半の AS は接続数が 1 であるため、トポロジを考慮せずランダムに ARTISTE エージェントを配置する AS を選べば接続数 1 の AS に配置される確率が高くなり、エージェントの数を増やしても把握率が伸びない。よって、提案手法のようにトポロジを考慮した配置が必須である。

本稿では、ARTISTE エージェントの配置に伴って、個々の ARTISTE エージェントが管理すべき MAS エージェントの情報が增加するという問題については触れなかった。例えば、今回の実験で使用した AS トポロジ中の AS の最大の接続数は約 2,100 であった。その AS に配置された ARTISTE エージェントは少なくともそれだけの数の MAS エージェントの情報を管理しなければならないとすると大きな処理能力が必要とされる。このように、配置場所によって ARTISTE エージェントに要求される能力にも大きな差が出る。トポロジを利用したサーバの配置と同時に負荷分散を行う方法については [7] にも

提案されているが、ARTISTE エージェントの配置場所と要求される能力との関連については今後検討を進めていく予定である。

接続数の多い AS の間では相互の AS に対する接続が多いため、個々の AS とその近傍をクラスタと見なすとクラスタ間の重なりが多い。この重なりが小さくなるように配置を考慮すればさらに少ないエージェント数で多くの情報を得られる可能性がある。しかし、システムの robustness を考慮するとある程度のクラスタの重なり、すなわち、同じ情報を複数のエージェントで管理することが望ましいとも考えられる。この trade-off についても今後検討を進める予定である。

5 まとめ

本稿では、エージェント管理システム ARTISTE を使ってインターネット上の MAS およびネットワークの情報を管理する際に、トポロジ情報を用いることで ARTISTE エージェントを効率的に配置する、すなわち少ないエージェント数で広範囲の情報を収集できる配置方法を提案した。提案する方法では、インターネットのトポロジ情報から ARTISTE エージェントを配置すべき AS を選択し、それらの AS に優先的に ARTISTE エージェントを配置することで、少ない数のエージェントで広範囲のネットワーク情報を収集管理できる。実際のインターネットで流通している BGP 情報を用いてシミュレーションを行い、提案する配置方法がトポロジ情報を考慮しない配置方法と比べて十分に効果的であることを示した。

参考文献

- [1] O. Akashi, T. Sugawara, K. Murakami, M. Maruyama, and K. Koyanagi. "Agent System for Inter-AS Routing Error Diagnosis". *IEEE Internet Computing*, Vol. 6, pp. 78–82, 2002.
- [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". *Proc. of DSOM'05*, Nov 2005. (To be appeared).
- [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] 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.
- [5] A. Terauchi, O. Akashi, M. Maruyama, K. Fukuda, T. Sugawara, T. Hirotsu, and S. Kurihara. "ARTISTE: Agent Organization Management System for Multi-agent Systems". *8th Pacific Rim Int'l Workshop on Multi-Agents (PRIMA'05)*, Sep 2005. (To be appeared).
- [6] S. Ratnasamy, M. Handley, R. Karp, and S. Shenker. Topologically-aware overlay construction and server selection. *IEEE Infocom 2002*, Vol. 3, pp. 1190–1199, June 2002.
- [7] K. Fukuda, S. Sato, O. Akashi, T. Hirotsu, S. Kurihara, and T. Sugawara. "On the Use of Hierarchical Power-law Network Topology for Server Selection and Allocation in Multi-Agent Systems". *IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology (IAT'05)*, Sep 2005. (To be appeared).
- [8] K. M. Carley and L. Gasser. "Computational Organization Theory". *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence ed. by Gerhard Weiss*, pp. 299–330, 1999. MIT Press.
- [9] M. Faloutsos, P. Faloutsos, and C. Faloutsos. On power-law relationships of the internet topology. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol. 29, No. 4, pp. 251–262, 1999.