

マルチエージェントシステムの効率的なトポロジー検出 アルゴリズムの性能評価

池田 誠†, バロリ レオナルド‡, 大庭 将平†
デマルコ ジュゼッペ‡, 小山 明夫†‡

現在ネットワークの急速な発展に伴い、次世代広帯域ネットワークではマルチメディアアプリケーションをサポートされると予想される。これは、マルチメディアデータのタイムリーな配送が、課題になる。つまり、主要な問題は Quality of Service(QoS)のサポートで、将来の広帯域ネットワークのための QoS のサポートは重要な役割とされている。これまで実時間系 QoS については、RSVP に基づく帯域予約の仕組みが提案されてきた。しかし、一方でスケーラビリティ問題も指摘されている。RSVP を利用しない場合には、実時間アプリケーションでの輻輳制御が重要である。すなわち、エンドホストが輻輳制御を行うという現状のインターネットの基本理念を受け継いでいくためには、実時間トラフィックも TCP と同様の輻輳制御を行い、ネットワーク輻輳による破綻を防がねばならない。そのような仕組みの積極的な導入が今後必要である。そこで、本論文では、マルチエージェントシステムを用いた輻輳制御を提案し、効率的なトポロジー検出のシミュレーションを実施し、その性能評価を報告する。

An Effective Topology Extraction Algorithm of a Multi-agent System and Its Performance Evaluation

Makoto Ikeda †, Leonard Barolli ‡, Shohei Ohba †
Giuseppe De Marco ‡, Akio Koyama † ‡

† Graduate School of Engineering, Fukuoka Institute of Technology
E-mail: {mgm05001, mgm05004}@ws.ipc.fit.ac.jp

‡ Faculty of Information Engineering, Fukuoka Institute of Technology
E-mail: {barolli, demarco}@fit.ac.jp

† ‡ Faculty of Engineering, Yamagata University
E-mail: akoyama@yz.yamagata-u.ac.jp

The networks of today are going through a rapid evolution and they are expected to support a wide range of multimedia applications. The requirement for timely delivery of multimedia data raises new challenges for the next generation broadband networks. The key issue is the Quality of Service (QoS) routing. Also, ensuring the QoS demands traffic flows and groups of flows is an important challenge for future broadband networks. So far, the RSVP has been proposed for real time QoS. However, it has the scalability problem. When RSVP is not used, the congestion control is important for multimedia application. Therefore, new mechanisms and algorithms are needed to deal with traffic control of multimedia applications. In this paper, we present the performance evaluation of the SSRA, which is used to get the effective topology of a given network.

1. はじめに

近年国内のブロードバンドの利用者数は2001年以降急速に増加しており、2005年3月末に1951万件を超えている。人口比で15.3%、世帯比では39.2%と広く普及してきている。とくに、DSLの増加が著しい。一方、FTTHもこの2年で急成長しており、2005年3月末に285万件を超えた。前年の114万件と比較すると249.7%も急激に加入者数が増加している[1]。このようなインターネット人口の増加によるネットワークのトラフィック量の急激な増加により、ルーティング処理のボトルネックや通信遅延が

発生している。更に、マルチメディアサービスの普及により情報量の多いWeb会議システムやP2Pなどが利用され始めているため更なるトラフィック量の増加が見込まれている。そのため、クライアントが求めるQoSを満たすことを考慮したルーティングを行うことが重要となっている[2]。また、クライアントが求めるQoSは単一とは限らず複数存在する場合もあり、それらの品質にはトレードオフの関係にある場合も多く、そのような条件の中からクライアントが求める品質を満たすルーティングを行うことは複雑になってきている[3,4]。

本研究では、ネットワークの規模拡大やトラフィックの増大に伴い、効率の良い通信を行うために輻輳状態にある経路を回避し、より遅延時間の少ない経路選択をすることによって、通信回線にかかる負荷を分散させるルーティングを目指した。そこで、遺伝的アルゴリズム、ファジー理論、複数のエージェント[4]を用いて早期により効率的な経路を探索するアルゴリズムを提案する。また、Search Space Reduction Agent; SSRA を用いてネットワークの絞込みを行うことにより、遺伝的アルゴリズムを適用する処理時間の短縮を目指す。これは、ノード数が多い場合、遺伝的操作が複雑であるという従来手法の問題点を解決するためである。

本論文では、2章で遺伝的アルゴリズムの概要、処理手順について説明する。3章では、本手法における分散型ネットワークアーキテクチャーの構成、各エージェントの特徴を示す。4章では、従来の問題点と提案手法を示し、5章ではSSRAのシミュレーションについて環境及び条件を述べ、6章では結果と考察を示す。そして、最後7章でまとめを述べる。

2. 遺伝的アルゴリズム

2.1 処理手順

図1に遺伝のサイクルを示す。遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm: GA)は生物の進化を工学的にモデル化したアルゴリズムである。GAは、選択や交叉、突然変異といった遺伝的操作を各個体に適用し、遺伝的要素の組み換えを行うことによって次の世代の個体を作り、個体集合団体を進化させる。

2.2 多目的最適化問題

多目的最適化問題において、パレート解集合を求めることは一つの目標となるが、現在、GAを適用する多目的GAに関する研究も数多く行われている[5,6,7]。その理由はGAが多探索であり、一度の探索で複数のパレート解集合が求まることにある。図2にDelay Time (DT), Communication Cost (CC)のパレート解集合を示す。パレート解集合を求める場合、得られた解が目的関数もしくは変数空間上の広範囲かつ真のパレート解付近に求まっていることは重要な要素といえる。

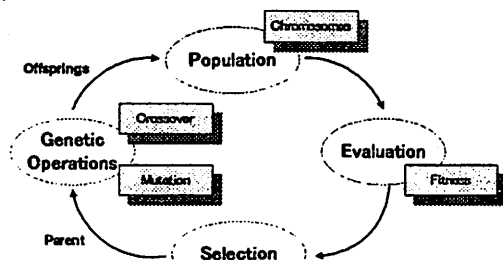


図1 遺伝のサイクル

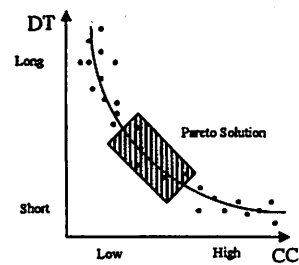


図2 パレート最適解 for DT and CC.

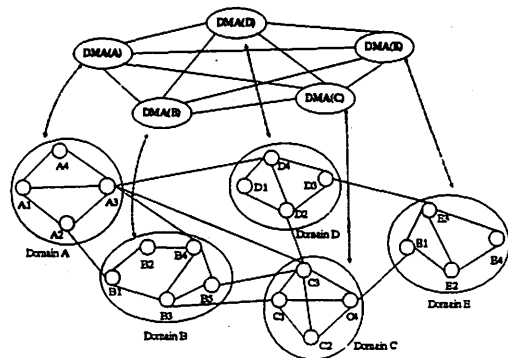


図3 分散型ネットワークアーキテクチャー

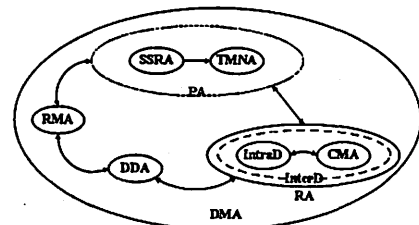


図4 Domain Management Agent

3. 分散型ネットワークアーキテクチャー

図3に分散型ネットワークアーキテクチャーを示す。ネットワークを複数のドメインに分割し、各ドメインで複数のエージェント(図4参照)を用いルーティングを行う。各エージェントについて説明していく。まず、Resource Management Agent (RMA)で Fuzzy を用いた接続制御を行う。Precomputation Agent (PA)は、Search Space Reduction Agent (SSRA)と、Tree Model Network Agent (TMNA)で構成される。SSRAはしきいを用いて輻輳状態にあるリンクの絞り込みを行う。そしてTMNAでループを統合したツリーに変換する。Destination Discovery Agent (DDA)は宛先ノードがどこにあるか探索するエージェント、Routing Agent (RA)は階層的エージェントで、Inter Domain Agent: InterD, その内側に Intra Domain Agent: IntraD, Connectivity Management Agent (CMA)で構成される。CMAはドメイン間の接続制御を行う。IntraD Agent内でGAを用いている。複数のドメインに分割し経路制御を行うことにより、ネットワーク規

模の拡大にも柔軟に適応することが可能となる。

本論文の提案手法では、適応型アルゴリズム [8,9]の分散型ルーティングと始点制御ルーティングを用いている。分散・適応型ルーティングは、ネットワークの大域情報と局所情報を併用し、より詳細な情報を用いている。そして、ネットワーク環境に応じたルーティングを行うことを目的とする。また、始点制御ルーティングとは、パケットを送信するノードにおいて最終目的地までの完全な経路を決定するルーティング手法である。つまり、通信パケットの送信元ですべての経路情報を管理する。利点は、大域的なトラフィックの把握が出来るため、効率の良い経路選択が可能である。反対に、リソース情報を各ノードが分散して持っている場合と比較した場合、通信経路を動的に変化させるのは非常に難しくなる。始点制御のデメリットとして、ネットワーク規模が大きい場合、到達可能な経路の数が膨大になり、データの扱いが大変になるという欠点もある。

3.1 RMA

リソース管理エージェントでは Fuzzy を用いた接続制御を行う [10]。FAC: (Fuzzy Admission Control) スキームを図 5 に示す。

3.2 PA and DDA

3.2.1 SSRA and TMNA

SSRA はネットワークのリンクを、しきいを用いて絞込みを行うエージェントである。例を挙げると、図 6 に絞り込みを行った後の 8 つのノードからなるネットワークを示す。A がソースノード、H が目的地ノードとなる。さらにその経路情報からツリーを作成する。このとき、ループが発生しないようにすべてのルートを作成する。次に TMNA を用いて図 7 のように、このツリーの重複する分岐点 (影付きの部分) をまとめて、ツリーを新たに作成する。このときの重複する部分とは、分岐点のノードが同じでありその子供のリンクがすべて一致しているものを指す。1 つでもリンクが一致していない場合、まとめることはできない。その後、ツリーの各分岐点に番号をつける。そして、作成されたツリーを用いて、通信経路を表す個体を表現する。

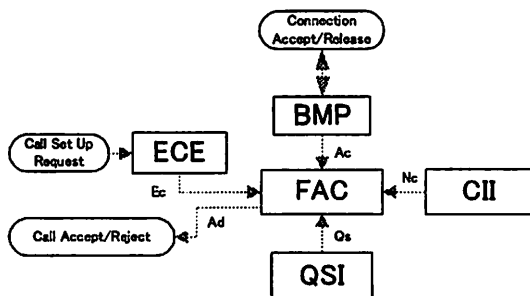


図 5 FAC scheme.

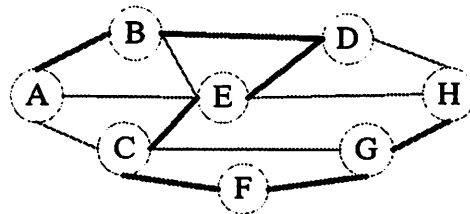


図 6 8ノードのネットワーク

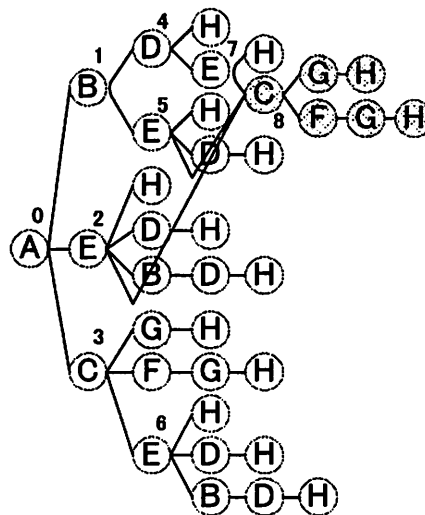


図 7 Reduced network tree Model.

3.2.2 DDA

DDA は目的地ノードが同じドメイン内にあるか判断し、その情報を伝達するエージェントである。

3.3 IntraD Agent

IntraD Agent は遺伝子コーディングを行う。各分岐点を遺伝子として、その並びによって示される染色体から経路が決定される。ここでの遺伝子とは図 8 にあるような配列を取ったときの各配列番号で取りうる値 (1 番目においては D, E) を指し、染色体とはその並びによって表される 1 つの配列だと考えてもらえればよい。

0	1	2	3	4	5	6	7	8	
B	E	C	D	E	H	D	B	C	F
B	D	-	-	E	-	-	C	F	
1	1	0	0	1	0	0	1	1	

図 8 遺伝子マッピング

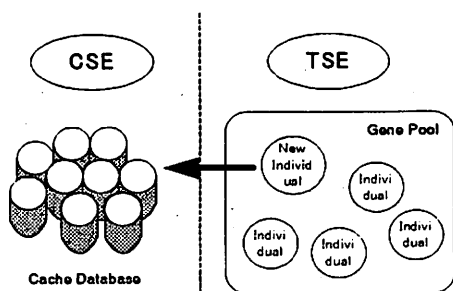


図9 CSEとTSEの協調動作1

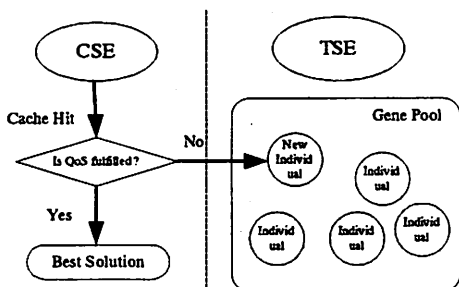


図10 CSEとTSEの協調動作2

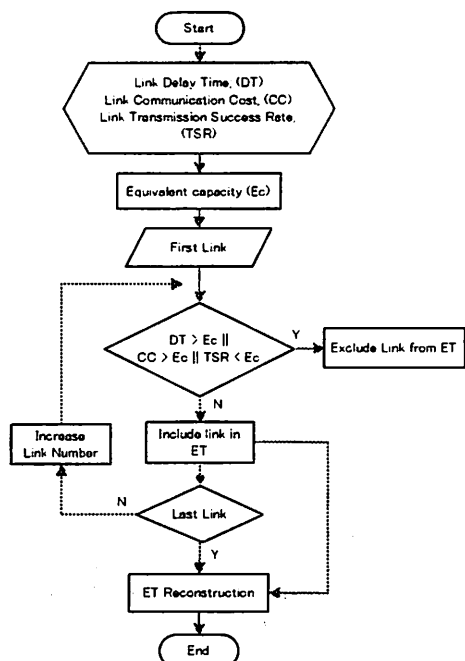


図11 SSRAフローチャート

3.4 InterD Agent

InterD Agentではキャッシュエンジン(Cache Search Engine; CSE)と、GAを用いたツリー検索エンジン(Tree Search Engine; TSE)から構成される。両エンジンは独立動作するが経路情報を交換するという協調動作も行う。図9のように、TSEでクライアントの要求する個人を発見するとCSEのデータベースに保存する。これにより、次の検索時に経路を早期に発見すること

が可能となる。TSEはGAを用いて個人の検索を行うので、CSEと比較すると検索時間は長くなる。逆に図10に示すように、CSEで発見された個人は一度QoSのチェックを行う。ネットワークトラフィックは常に変化しているので一度チェックを行う。QoSを満たす場合は、その経路情報の優先度をあげてデータベースのアップデートを行う。満たさない場合は、TSEの遺伝子プールに新しい個人として追加する。これは、CSEに保存された個人は一度でもよい経路だったということで、オペレーションに加えることでより良い子孫が期待できるからである。

4. 従来の問題点と提案手法

4.1 従来手法の問題点

従来の研究ではQoSのパラメータをひとつないしは、2つしかサポートを行っていない。問題は多くのパラメータが増えることにより処理時間の増加やオーバーヘッドなどの問題に陥らないようにする工夫が必要だと考えられる。

4.2 提案手法について

そこで本研究では処理時間の低減のためSSRAを用いることにより効率化されたネットワークを求め、その後GAを用いて最適解を得るというアプローチである。実装したSSRAのフローチャートを図11に示す。分散型ルーティングでドメインに分割することにより処理の時間を軽減させることは説明したが、ドメイン内のノード数は少ないとは言いがたい。そこで、SSRAを用いることにより、GAを適用する前計算として、輻輳状態にあるリンクの通信品質を、しきい値を用いて絞込みを行うことにより、GAでの処理負担を低減させることが可能となる。今回はリンクの転送成功率、遅延時間、コストの3つをしきい値にかけた。従来は2つのしきい値を用いるエージェントを実装したが、新しく実装したものである。しきい値(Equivalent Capacity: Ec)は固定値を用いる。TSRはTransmission Success Rate(転送成功率)、DTはDelay Time(遅延時間)、CCはCommunication Cost(通信コスト)を示す。

5 シミュレーション

シミュレーション環境は以下のとおりである。CPU: Athlon64 +3500, Memory: 1024MB, OS: Windows XP Pro, IDE: Visual C++6.0, シミュレーションは、ノード数30,45,60,75,90を用いて行った。各リンクの遅延は0~100ms、転送成功率は0~100%、通信コストは0~200にランダムに設定する。各メトリックに関するしきい値は25から75まで25おきとし300回ずつシミュレーションを行った。複数のしきい値を満たす経路を発見できる場合、探索成功率と、リンクツリーを構築するまでの実行時間を測定した。

5.1 品質の表現

先に述べたように、本研究では QoS パラメータとして「遅延時間」、「転送成功率」、「コスト」を使用する。転送成功率とは、各ノードから次のノードまでパケットを送る際、パケットが紛失されずに、無事に到着する確率を表す。パケット紛失はルータ上のメモリー不足などによってキューが溢れたり、ネットワークに障害が起ることによって引き起こされることがある。遅延時間はパケットが各ノード間で転送され、到着するまでの時間を表す。コストは、回線使用料などに掛かる料金を示す。

6. シミュレーション結果と考察

ノード数 30,45,60,75,90 でシミュレーションを行った結果を図 12 のノード数の変化による処理時間と成功率に示す。縦軸は、目的地までの経路を発見することが出来るかという平均成功率、横軸はリンクツリーを構築するまでの平均構築時間を表す。図 13 ではノード数の変化による処理時間とリンク数を示す。縦軸はツリーを構築した後の平均リンク数を示す。横軸はリンクツリーを構築するまでの平均構築時間である。品質が3つになると、しきい値をどの程度にすれば、良い解が得られるか判断が難しい。そこで、GA を用いて各品質を独立に最適化させお互いに適応度の高い個体を交換するなど、トレードオフ関係をうまく用いることにより良い解が得られるのではないかと考える。これについてはこれからの研究課題となる。

7. まとめ

本論文では、分散型ルーティングアーキテクチャを示し、ネットワークをドメインに分割し複数のエージェントを用いたルーティングを行うことについて述べた。本手法がネットワークの拡大した場合でも適用できることを明らかにした。また、SSRA のシミュレーションを行った。SSRA を用いることでネットワークの簡略化が行えるという有効性はあるので、今後の課題とし、GA を用いた多目的な最適化を行えるように拡張していく予定である。

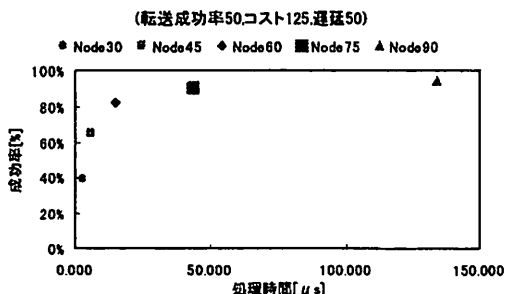


図 12 ノード数の変化による処理時間と成功率

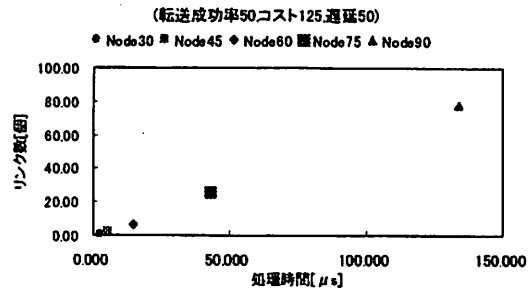


図 13 ノード数の変化による処理時間とリンク数

参考文献

- [1] 総務省 情報通信主要データ, 13 July 2005
- [2] C. Baransel, W. Dobosiewicz and P. Gburzycki, "Routing in Multihop Packet Switching Networks: Gb/s Challenge", IEEE Network, Vol.9, No.3, pp.38-60, 1995.
- [3] A. Koyama, L. Barolli, K. Matsumoto, B. O. Apduhan, "A GA-based Multi-purpose Optimization Algorithm for QoS Routing" Proc. of IEEE AINA-2004, Vol.1, pp. 3-28, March 2004.
- [4] M. Ikeda, L. Barolli, S. Ohba, G. Capi, A. Koyama, M. Durrresi, "A CAC and Routing Framework for Multimedia Applications in Broadband Networks Using Fuzzy Logic and Genetic Algorithm", Proc. of IEEE ICPADS-2005, Vol.1, pp. 648-654, July 2005.
- [5] D. E. Goldberg "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning", Addison-Wesley, 1989.
- [6] C. M. Fonseca, P. J. Fleming "Genetic Algorithms for Multiobjective Optimization: Formulation, Discussion and Generalization", Proc. of ICGA'93, pp.416-423, 1993.
- [7] J. Horn, N. Nafpliotis and D. E. Goldberg "A Nicked Pareto Genetic Algorithm for Multi-objective Optimization", Proc. of ICGA, pp.82-87, 1994.
- [8] 棟朝雅晴, 高井昌彰, 佐藤義治, "遺伝的アルゴリズムによる負荷分散機能を有する適応型ルーティング", 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.2, pp.219-226 1998.
- [9] M. Munetomo, Y. Takai and Y. Sato, "An Adaptive Routing Algorithm with Load Balancing by a Genetic Algorithm", Trans. of IPSJ, Vol.39, No.2, pp.219-227, 1998.
- [10] D. Dubois, H. Prade, and R. Yager, (Eds.), Fuzzy Sets for Intelligent Systems, Morgan Kaufman Publishers, 1993.