

遺伝的アルゴリズムを用いたQoSマルチキャストルーティング

西江寿樹[†], 小山明夫[‡], 荒井順平^{†,††}, バロリ・レオナルド^{‡‡}

[†] 山形大学大学院理工学研究科, [‡] 山形大学工学部

^{††} 山形県立産業技術短期大学校, ^{‡‡} 福岡工業大学情報工学部

概要

マルチメディアサービスでは、要求に合った遅延やコストなどの通信品質(QoS)を考慮したルーティングが必要である。複数の要求を満たすQoSルーティングはNP完全問題になる。そこで遺伝的アルゴリズムを用いて、より迅速に要求を満たす経路を探索する研究が行われている。遺伝的アルゴリズムを用いたマルチキャストルーティングに、要求遅延内での最小コストマルチキャストルーティングが提案されている。しかし、この手法では、多様性が低く要求を満たさない局所解に陥ったりする。本稿では、遺伝的操作を改良したルーティング手法を提案しシミュレーションにより提案手法を用いることにより成功率や実行時間が改善されることを示す。

A QoS Multicast Routing Using Genetic Algorithm

Toshiki Nishie[†], Akio Koyama[‡], Junpei Arai^{†,††}, Leonard Barolli^{‡‡}

[†] Graduate school of Science and Engineering, Yamagata University

[‡] Faculty of Engineering, Yamagata University

^{††} Yamagata prefectural junior College school of Industrial Technology

^{‡‡} Faculty of Information Engineering, Fukuoka Institute of Technology

Abstract

For multimedia service in order to find a new route, the routing algorithm should consider the Quality of Service (QoS) parameters such as delay, cost and so on. But to find a route with two or more QoS parameters is an NP-hard problem. Therefore, recently many researchers are trying to use heuristic methods such as Genetic Algorithms (GA) to find good routes satisfying application request. In a previous work, a QoS multicast routing using GA is proposed. The routing algorithm uses as QoS parameters for multicasting the delay and cost. However, in this method, the multicast routing algorithm falls in the local minimum, thus it can not satisfy the application requirement. In this paper, we propose a new QoS multicast routing which has better genetic operation than the conventional method, thus resulting in a better success rate and execution time compared with the conventional method.

1 はじめに

近年、インターネットの普及などにより、コンピュータネットワークの規模が格段に大きくなった。そのために、インターネット上で多様なサービスが提供されている。

特に、リアルタイムで行われる電子会議システム、映像配信などの多人数が利用するサービスが今注目されている。このようなサービスは、ネットワーク上の多人数に、大容量のデータを送信しなければならない。そのため、ネットワークの情

報源からグループへ同時に同じ情報を送るマルチキャスト通信は、マルチメディアアプリケーションをサポートするコンピュータネットワークに求められている。1対1のユニキャストでは、数多くの余分な同じデータであふれてしまう可能性があるが、マルチキャストは、情報源から1つのパケットが送出され、それを途中のルータで必要に応じて複数の目的地に情報をコピーして送ることによって余分なデータの発生を防ぎ、ネットワーク資源を効率的に利用できる[6]。

一方、このようなマルチメディアサービスにおいては、通信コストや遅延などの要求されたQoSを満たすために、QoSの最適化が求められている[3]。マルチキャストルーティングの現在のアプローチは、マルチキャストツリーを構築することで行われる。その後、ツリーに沿って情報が送られる。要求遅延内での最小コストマルチキャストツリーの計算のために、様々なヒューリスティックアルゴリズムが提案された。その中でBSMAは最良のアルゴリズムとされるが、ネットワークが大きくなるにつれ、実行時間が非常に大きくなる[2]。QoSマルチキャストツリーの決定的な計算は通常時間がかかりNP完全問題となっている。Sunによって要求遅延内での最小コストマルチキャストルーティング問題のために拡張された遺伝的アルゴリズムは、比較的大きなネットワークで、BSMAより短い実行時間で低コストツリーを得られることを示した[2]。遺伝的アルゴリズムは、難しい最適化問題を解決する爆発的計算が必要な場合に、早期に近似解にたどり着くことが特徴である[4][5]。

遺伝的アルゴリズムを用いたQoSマルチキャストルーティングに、要求遅延内での最小コストマルチキャストルーティングが提案されている[1][2]。その中で様々な遺伝的操作が提案されているが、問題点として局所解に陥ったり、計算時間が長くなることなどが挙げられる。

本研究では、これらの問題点を解決するQoSマルチキャストルーティングアルゴリズムを提案し、シミュレーションによって性能評価を行う。

2 遺伝的アルゴリズムの概念

遺伝的アルゴリズムは、生物の進化を模倣した学習的アルゴリズムである。自然界における生物の進化過程においては、環境により適応した生物がより高い確率で生き残り、次世代に子孫を残す。このメカニズムをモデル化し、環境に対して最もよく適応した個体、すなわち目的関数に対して最適値を与えるような解を計算機上で求めようというのが遺伝的アルゴリズムの概念である。

2.1 遺伝的アルゴリズムの処理手順

遺伝的アルゴリズムでは、個体群を生成し、選択や交叉、突然変異といった遺伝的操作を個体に適用し、より良い個体を次世代に残していく。処理手順は次のようになる。まず初めに、初期個体群を生成する。一般に、決められた個体数をラン

ダムに生成する。初期個体群の生成が終わると、各々の個体の環境に対する適応度を求める。適応度が高いほど、より環境に適している良い個体である。そして選択を行い、個体群中から交叉する2つの個体を選択する。適当な交叉確率で、交叉し個体間で染色体情報の交換をする。この操作を、決められた個体数になるまで繰り返す。その後、突然変異を行う。突然変異も適当な確率内で行う。個体群中からランダムに個体を選び染色体を変化させる。突然変異が終わると新しい世代の個体群が生成される。その後、古い世代を新しい世代に置き換えて、与えられた条件を満たすか判定する。判定を満たすまで、一連の操作は繰り返される。これらの処理の様子を図1に示す。

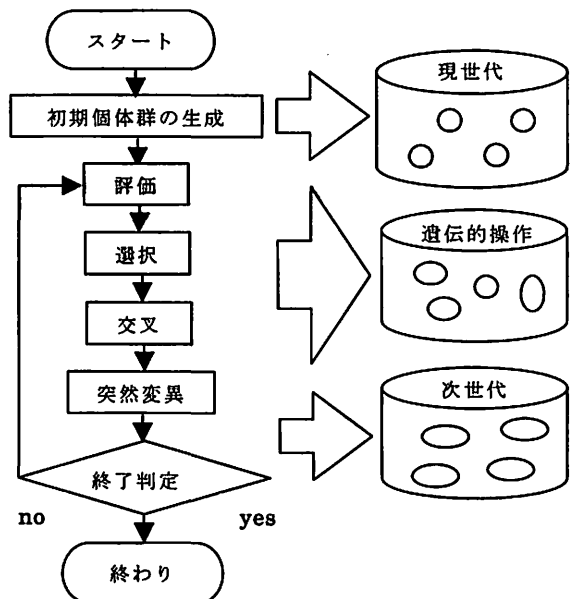


図1 遺伝的アルゴリズムの流れ図

3 関連研究

QoSマルチキャストルーティングとして、遺伝的アルゴリズムをベースにした要求遅延内での最小コストマルチキャストルーティングが提案されている[1]。各ノードは各リンク状態やネットワークポロジータを含むネットワークの完全な全体の情報を保持し、ソースルーティングで各目的地の要求遅延範囲内の最小コストルーティングを行う。以下で簡単に内容について述べる。

3.1 遺伝的操作

3.1.1 親(現世代の個体)の選択

この手法では、エリート保存が用いられる。エ

リート保存は、最良の個体を次の世代に残す方法で、前の世代と同等以上になり世代が進むにつれて、適応度が改善すると予想される。エリート保存のため最良の個体を次世代にコピーする。その後、親を選択し交叉を個体数分行う。交叉には2つの親が必要で、適応度に比例した親の選択を行う。親*i*が選択される確率 spi は、 $f(T_i)$ を個体 T_i の適応度、 N_p を個体数とすると

$$spi = \frac{f(T_i)}{\sum_{j=1}^{N_p} f(T_j)} \quad (1)$$

となる。

3. 1. 2 交叉

交叉確率は1で、交叉を行い子供（次世代の個体）を作る。図2は、目的地までの遅延を25以内と要求した場合、MとFが親マルチキャストツリーとして選択された交叉例を示した図である。生成された子供のマルチキャストツリーがCである。

最初に、2つの親MとFの同リンクを捜し、子供Cにそのリンクをコピーする。太いラインで示されるリンクが同リンクである。選択された親は、適応度関数の定義で、高確率に選ばれる良い個体だと考えられる。そのような2つの親の同リンクはより要求を満たす、より良いリンクと考えられる。よって、アルゴリズムの迅速な収束に2つの親の同リンクを残すことは有用である。しかし、同リンクのコピーにより、子供Cのツリーは同リンク、目的地ノード、情報源ノードのサブツリー群に分けられた状態になる。

そのため次に、分けられたサブツリーをマルチキャストツリーにまとめるためにパスを加えてサブツリーを接続する必要がある。複数に分けられたサブツリーの中から別々に2つサブツリーをラ

ンダムに選択し、最小遅延あるいは最小コストパスでそれらを接続する。もし、どちらの親も遅延要求を満たさなければ、最小遅延パスで接続し、片方でも要求を満たせば、最小コストパスで接続を行う。親Fは遅延要求を満たすので、MとFの同リンクによって構成される子供Cのサブツリーは、太いドットラインで示される最小コストパスによって接続される。これによりサブツリー群から2つのサブツリーとパスから構成された新しいサブツリーが形成され、同様の処理をマルチキャストツリーが構築されるまで繰り返す。ここでは、ノード1,2の間の最小コストパス、ノード3,11の間の最小コストパス、ノード9,11の間の最小コストパスの3度の接続操作を行いマルチキャストツリーを構築している。この接続によって構築されたマルチキャストツリーにループは存在しない。

上記の遅延とコストが考慮された交叉は、ヒューリスティックで、収束を促進し、子供により特性を引き渡すと考えられる。

3. 1. 3 突然変異

新しい子供が作られると、突然変異確率によって突然変異操作は実行される。突然変異アルゴリズムは、最初に、ランダムに一部のノードを選択し、選択されたノードの全リンクを削除する。これにより交叉と同じように、マルチキャストツリーが、複数の別々のサブツリーへ分解される。次に、それらの間を最小遅延あるいは最小コストパスで接続し、再度マルチキャストツリーを構築する。突然変異の場合、交叉とは異なり最小遅延パスか最小コストパスかで接続するかはランダムに選択する。

3. 2 従来手法の問題点

従来手法の問題点として、交叉や突然変異でのサブツリーの接続に最小コストパスか最小遅延パ

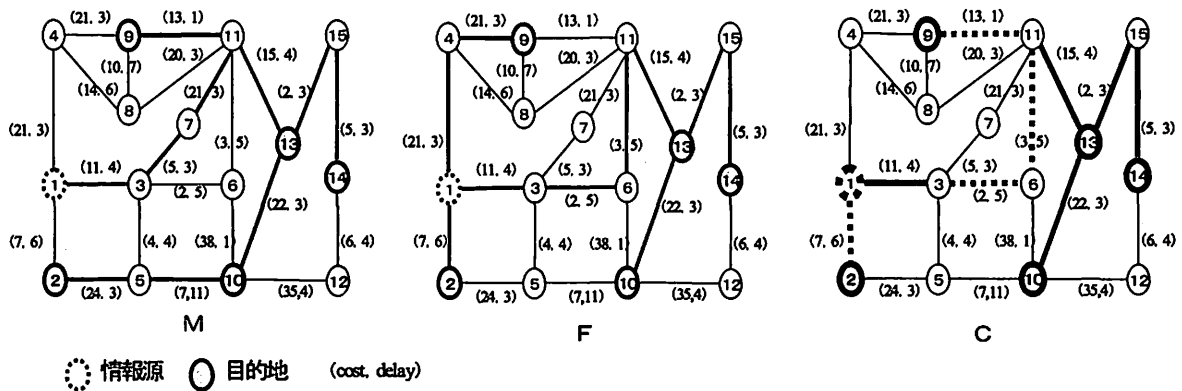


図2 遅延要求を25にした交叉

スの接続条件しか用いないために、多様性がなくなり要求を満たさない局所的な解におちいりやすく、効率的な収束が行われにくい。図3は、多様性がある場合とない場合の解探索のイメージ図である。多様性がない場合は、一方方向に探索して局所解に陥ってしまっている。多様性がある場合では、反対方向にも探索して最適解にたどり着いている。また、サブツリーの選択をランダムに行っていることにより、効率の悪い接続になることもある。

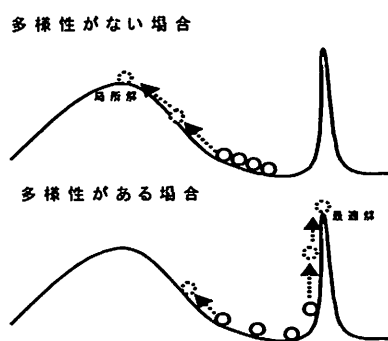


図3 解探索のイメージ図

4 提案手法

ここでは従来手法の中で問題となった、最短パスの接続方法、サブツリーの選択方法を改良した手法を提案する。

4.1 最小パスの接続方法

最小パスの接続は、いままで最小遅延パスと最小コストパスだった。交叉時のパスの接続条件が、どちらかの親が遅延要求を満たすか満たさないかという条件で、満たさない要求に対して最小パスで接続していたが、最小パスという極端なパスのため、要求同士の関係が壊れやすく、良い状態を維持することができなかつた。そこで、良い状態を維持できるような遅延とコストの両方を考慮したパスを追加した。遅延とコスト共に良いパスに更新する。接続条件は、どちらかの親がコスト要求を満たし、どちらの親も遅延要求を満たさない場合は最小遅延パスで、どちらかの親が遅延要求を満たし、どちらの親もコスト要求を満たさない場合は、最小コストパスで、その他の場合は遅延とコストを考慮したパスで接続するように条件を設定した。この方法により、良い状態を維持でき、接続のバリエーションも増え、要求を満たさない局所解におちいりにくくなり、より詳細な接続条

件により、効率的な収束が起こると考えられる。

図4に接続の例を示す。情報源から目的地までの要求値をそれぞれ遅延5、コスト7とする。従来手法では、遅延の最小パスの場合ではノード2を通るパスを選択することになるが、遅延2、コスト9になり要求を満たせない。コストの最小パスの場合では、ノード3を通るパスを選択することになるが、遅延6、コスト4となり、この場合も要求を満たすことができない。

このように、従来手法では、この要求を満たすパスは見つけることはできない。接続条件を追加した提案手法では、ノード1を通るパスが、遅延4、コスト6となる。ノード2、3を通るパスは、遅延とコスト共に良い状態とはならないため更新されず、要求値を満たすノード1を通るパスが採用される。

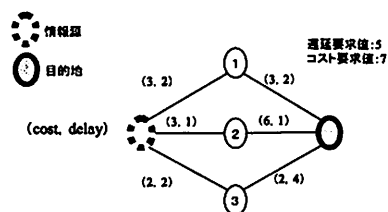


図4 最小パス接続の例

4.2 サブツリーの選択

従来手法では、サブツリーの接続時のサブツリーの選択はランダムに2つ選択していたが、サブツリー群の中から構成するノード数が最も大きな、つまり一番大きなサブツリーを選択し、そこに、もう一つランダムに選択したサブツリーを接続するようにする。これにより、大きいサブツリーを主体として接続することができ、無駄なパスや遠回りしたパスなどが少なくなり、大きいサブツリーに効率的に接続され、成功率や実行時間が改善されると考えられる。

図5に例を示す。要求コスト値90として、3つのサブツリーが存在している状態で、ランダムにサブツリーの選択を行って、最小コストパスでマルチキャストツリーを構築する場合と、大きなサブツリーを選択して構築する場合を表している。太いラインで示されるのがサブツリーでノード1,2,4をサブツリー1、ノード9をサブツリー2、ノード10,11,13,14,15をサブツリー3とする。サブツリー2は構成するノード数が1つであるが、情報源また目的地にはパスを接続する必要があるため、サブツリーとしておく。太いドットライン

で示されるのがサブツリーを接続する最小パスである。ランダムに選択を行う場合、サブツリーの選ばれ方によって要求を満たしていないツリーを構築する可能性がある。図では、サブツリー1とサブツリー2の接続を行い、その後にサブツリー3を接続したものである。遠回りをしてしまい、要求コストを満たせていない。大きなサブツリーを選択する場合は、要求を満たすツリーを構築できやすい。サブツリー3を基にしてサブツリー1と2どちらを選んでも図のようなツリーになり、要求コストを満たす。

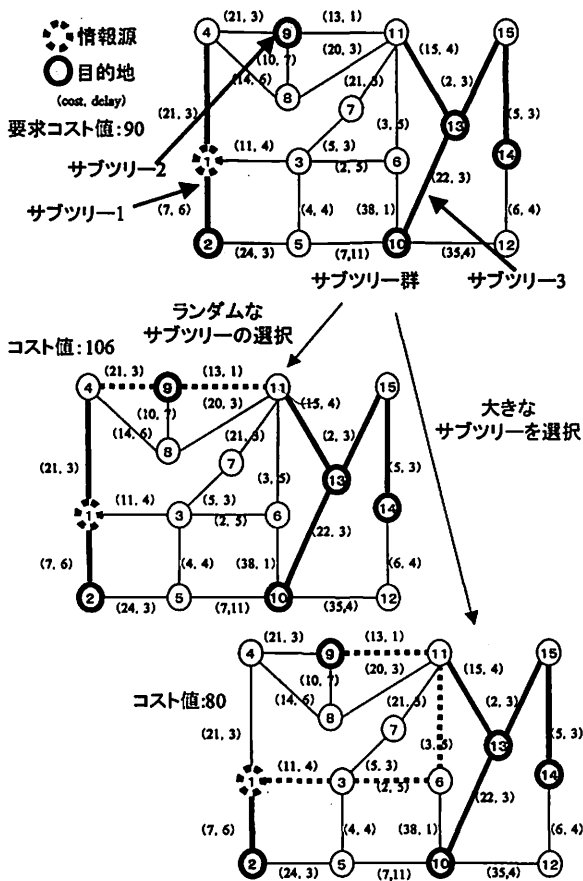


図 5 サブツリー選択の比較例

5 性能評価

従来手法、提案手法の性能をシミュレーションにより評価した。

5.1 シミュレーションの条件および方法

シミュレーションは、ノード数 30 と 60 のネットワークを用いて行った。各リンクの遅延は 0~50ms、コストは 0~200 にランダムに設定する。

ノード数 30 では目的地数を 20 とし、要求コスト値 (CDCF) の値が 2100、要求遅延値 (DDCF) を 80 から 230 まで 30 おきとし、ノード数 60 では目的地数を 20 とし、CDCF の値が 3000、DDCF を 90 から 240 まで 30 おきとし 100 回づつシミュレーションを行った。情報源と目的地はランダムに設定し、構築したマルチキャストツリーが各要求を満たす場合の成功率と、最大 20 世代までマルチキャストツリーを構築するまでの実行時間を測定した。

5.2 結果および考察

図 6, 7 は、ノード数 30 で目的地数 20 の時の結果である。目的地数が多いとき程、パスを接続しなければならぬノードが増え、作成されるツリーが複雑でパスの制限も大きくなり、従来手法と提案手法に差が現れる。また、図 8, 9 のノード数 60 ではノード数 30 の時よりパスのパターンが増えるため差が大きくなると考えられる。

図 6 はノード数 30 のときの成功率を示したグラフである。図から成功率は従来手法より提案手法の方が高くなっていることがわかる。提案手法は、接続パスの追加や条件の設定により、接続パスのバリエーションが増え多様性を持つことができ、従来手法では局所解に陥り要求を満たせない場合でも、局所解に陥らず、要求を満たす解にたどり着けたと考えられる。またサブツリーの選択を変更したことにより、無駄なパスや遠回りするようなパスが減り、成功率は上がったと考えられる。グラフの両端で成功率に差が生じないのは、要求遅延が小さい時、要求内の経路が存在せず差が生じず、要求が大きい時も、要求内の経路が多く存在するため差が生じないと考えられる。

図 7 はノード数 30 のときの実行時間を示したグラフである。図から提案手法の実行時間が、従来手法より小さくなったことがわかる。提案手法では、接続条件がより多様になった事、サブツリーの選択を変更したことにより、効率的に収束し早い世代で解にたどり着いたと考えられる。最小パスの計算も、大きなサブツリーに接続することによって無駄な計算時間を減らすことができる。これらの事により実行時間が小さくなったと考えられる。

図 8 はノード数 60 のときの成功率を示したグラフである。ノード数 30 の時と同様に提案手法の成功率は上がっている。また従来手法との差も大きくでている。ノード数 60 のときの成功率で

も提案手法の有効性が確認できる。

図 9 はノード数 60 のときの実行時間を示したグラフである。ノード数 30 のときと同様に提案手法の実行時間は従来手法より小さくなっている。また従来手法との差も大きくでている。ノード数 60 の実行時間も成功率と同じように提案手法の有効性が確認できる。

以上のことから、従来手法より優れた特性を示していることが確認でき、提案手法が有効であることがわかる。

6 おわりに

シミュレーションにより、従来手法と提案手法の比較検証を行った。その結果、提案手法は、遺伝的操作の改良によって、多様性を持ち要求を満たさない局所的な解に陥るのを防ぎ、また効率的な収束が行われたため、成功率や実行時間の改善が見られた。今後の課題として、様々な条件でのシミュレーションを行っていきたい。

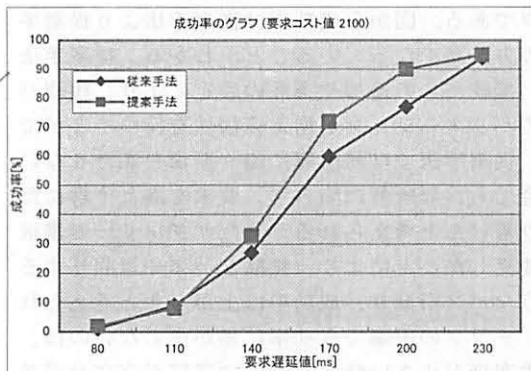


図 6 成功率のグラフ(ノード数 30)

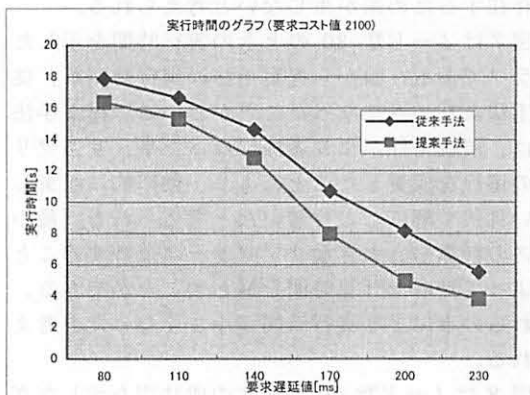


図 7 実行時間のグラフ(ノード数 30)

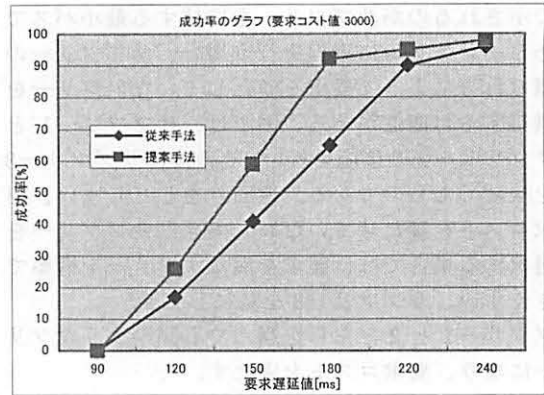


図 8 成功率のグラフ(ノード数 60)

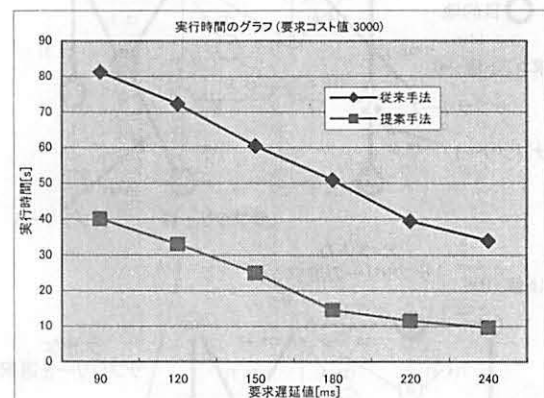


図 9 実行時間のグラフ(ノード数 60)

参考文献

- [1] W. Zhengying, S. Bingxin, Z. Erdun: "Bandwidth-delay-constrained least-cost multicast routing based on heuristic genetic algorithm", Computer Communications, Vol.24, pp.685-692, 2001.
- [2] Q. Sun: "A genetic algorithm for delay-constrained minimum-cost multicasting", Technical Report, IBR, TU Braunschweig, Butenweg, 74/75, 38106, Braunschweig, Germany, 1999.
- [3] 河野, 益田, 木下, 村上: "数の QoS を考慮したサービス情報検索方式", 電子情報通信学会論文誌, Vol.84, No.3, pp.443-451, 2001.
- [4] 棟朝, 高井, 佐藤: "遺伝的アルゴリズムによる負荷分散機構を有する適応型ルーティング", 情報処理学会研究報告, Vol.97, No.13, pp.205-210, 1997.
- [5] 松本, 小山, バロリ, 程: "遺伝的アルゴリズムを用いた高速ネットワークのための QoS ルーティング手法", 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.12, pp.3121-3129, 2000.
- [6] Thomas A. Maufer: "IP マルチキャスト入門", 共立出版, 2000.