

多目的最適化アルゴリズムを用いた QoS ルーティングの性能評価

山脇 淳† 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

近年、コンピュータネットワークの発展と共に、ネットワークにおけるトラフィックの増加が問題になっている。そのため、クライアントの要求を満足させるルーティングアルゴリズムの考案が重要な課題となってきた。本研究では遺伝的アルゴリズムを用い、通信品質がトレードオフの関係にあるような状況の中からクライアントの求める品質を満足させるルーティング手法を提案する。シミュレーションを行った結果、提案するルーティング手法が従来の手法よりも良い結果を得られることを確認した。

Performance Evaluation of QoS Routing Method Using Multi-purpose Optimization Algorithm

Jun Yamawaki † Akio Koyama †† Junpei Arai ‡ Leonard Barolli ‡‡

† Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University †† Faculty of Engineering, Yamagata University

‡ Yamagata Prefectural College of Industrial Technology School ‡‡ Faculty of Information Engineering, Fukuoka Institute of Technology

Abstract

In recent years, the number of network users and terminals is increased very fast resulting in a rapidly increase of the network traffic. In order to deal with this problem, efficient traffic control algorithms are needed. The design of routing algorithms which can satisfy the demand of clients is becoming an important research problem. In this work, we propose a genetic algorithm based routing method which satisfies the communication quality requests with trade-off relation. The performance evaluation via simulation shows that the proposed routing method has better behavior than the conventional method.

1. はじめに

近年、総務省のインターネット普及率を見てもわかるようにインターネット人口が増加してきている。インターネット人口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って、回線のパンク状態、情報量の肥大化による通信遅延が発生している。更に、マルチメディアサービスとしても情報量の多い遠隔講義、遠隔会議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、これらのサービス品質を満足させるための QoS ルーティングアルゴリズムの開発が必要となってきた。QoS ルーティングとは、クライアントが求める品質を満たすことを考慮してルーティングを行うことであり重要となってきた。また、クライアントが求める品質は単一とは限らず複数存在する場合もある。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なことになってきている。

本研究では、そのような経路を発見するために遺伝的アルゴリズムを用いた新しい QoS ルーティング手法を提案する。遺伝的アルゴリズムとは、J.H.Holland によって考案された生物の進化を工学的に模倣した学習的アルゴリズムである。遺伝的アルゴリズムを用いた従来手法である LBR 手法[1][2]では、遺伝子のマッピング方法をあまり工夫していなかったため、遺伝的処理を複雑にしていた。また、その LBR 手法を改良した研究である TMR 手法[3]でも複数の QoS 情報を扱うには至っていない。その後、TMR 手法を基に QoS 情報を扱えるようにした手法である QTMR 手法[4]が提案された。しかし、この手法は複数の QoS 情報を一次元に圧縮する手法であるため、QoS 情報がトレードオフの関係を持っている場合には、あまり向い

※ 各世代の進行

変異: 適応度ポイントを
取り替える

ているとはいえない。

本研究では、TMR 手法を基に、QoS 情報がトレードオフの関係をもっているクライアントの要求を満足させる経路を探索する手法の提案を行い、QTMR 手法と比較することによってその有効性を検証する。

2. 遺伝的アルゴリズムの概要と処理手順

遺伝的アルゴリズムでは、選択や交差、突然変異といった遺伝的操作を各個体に適用し、遺伝的要素の組み替えを行うことによって次世代の個体を作り、個体集団を進化させる。その処理手順を以下に説明する。

まず初めに初期世代を生成する。一般には、あらかじめ決められた個体数だけランダムに個体を生成する。生成した個体の集団を遺伝子プールと呼ぶ。そして、この初期集団の各々の個体に対して適応度の評価を行う。各々の個体の適応度が決定されたら、その適応度により個体の選択確率を設定する。基本的には、適応度が高くなるほど選択確率も高くなる。選択確率が決定されたら、その値を基に遺伝子プールの中から交叉する個体を選択する。交叉とは、二つの染色体を組み換える操作であり、二つの親遺伝子から子の遺伝子を生成するものである。交叉方法には、(1) 単一交叉、(2) 複数点交叉、(3) 一様交叉などが存在するが、本研究では単一交叉を用いている。交叉を行う個体が決定したら、適当な確率で染色体の交叉を行う。これらの操作をあらかじめ決められた個体数になるまで繰り返す。個体数が満たされたら、次にそれらの個体に突然変異の処理を行う。突然変異とは、個体の遺伝子を一定の確率で変化させる操作である。突然変異を行う目的としては、初期集団の個体同士の交叉では、求めることができる解の質に限界が出るためである。

突然変異もまた交叉と同様に、適当な確率で行う。突然変異が終わると、新しい個体集団が生成されたことになる。

そして、この新しい個体集団の中の個体があらかじめ決められた条件を満たすまで (QoS ルーティングでは要求品質を満たすこと)、再び適応度の評価、交叉、突然変異を繰り返す。以上の処理の流れを図1に示す。

3. 従来手法

3. 1 LBR 手法

遺伝的アルゴリズムを用いたルーティングでは、ネットワーク上の通信経路を個体で表現しなくてはならない。遺伝的アルゴリズムを用いた手法として LBR (Load Balancing Routing) 手法[1][2]がある。この手法では、ネットワークをそのままの形で使用し、通信経路のノードの並びをそのまま遺伝子として表現するため、交叉と突然変異といった遺伝的操作を行う場合に様々な不都合が生じ、遺伝的操作を複雑にしている。

3. 2 TMR 手法

LBR 手法の欠点を補った手法である TMR (Tree Model Routing) 手法[3]では、遺伝的操作を行いやすくするため、無向グラフで表されたネットワークをそのままの形で用いずツリーで表現する。図2のネットワークにおいて、全ての経路をツリー表現し、ツリーの重複する分岐点をまとめた場合、図3のようになる。そして、ツリーの各分岐点にそれぞれ番号をつける。番号は、階層が浅い順に小さい番号が付けられる。

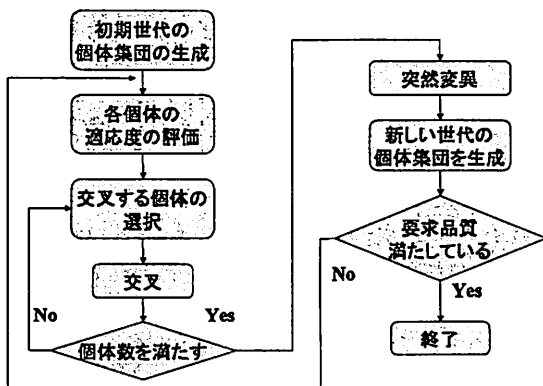


図1 遺伝的アルゴリズムの処理の流れ

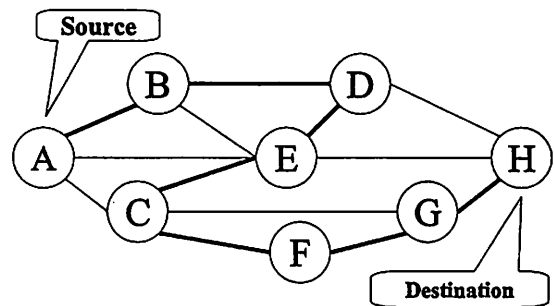


図2 ノード数8のネットワークモデル

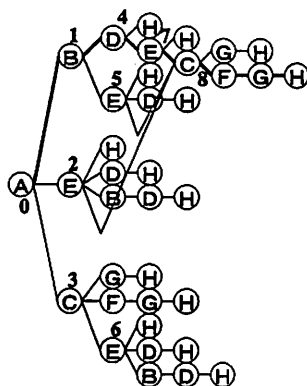


図3 重複する分岐点をまとめたツリー表現

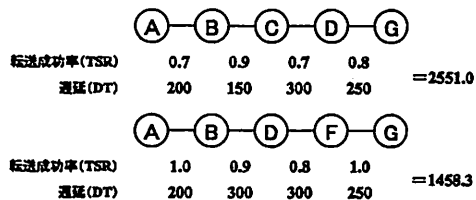
TMR 手法では、このツリーの各分岐点を遺伝子として扱い、その遺伝子の並びによって表される染色体から個体が決められる。このように遺伝子を分岐点で表すことによって、隣り合う遺伝子同士が相互作用しないため、交叉や突然変異といった遺伝的处理が適用しやすくなる。さらに、重複する分岐点をまとめることによって分岐点の数が減るため、個体の染色体の遺伝子数が少なくなり、ルーティングを行う際の計算量を減らすことができる。

3. 3 QTMR 手法

前節で述べた TMR 手法を改良し QoS を満足させる経路探索手法である QTMR (QoS Tree Model Routing) 手法は、N 次元のパラメータを一次元に圧縮する手法である。

例えば、各経路を個体として表現した際に、進化のパラメータとして遅延時間 (DT : Delay Time) と転送成功率 (TSR : Transmission Success Rate) の二つを使用するとする。進化パラメータとは、個体の評価を行う際にその個体が現在の環境にどれだけ適応しているかどうかを示す適応度を導き出すために用いられるパラメータである。ここで、ネットワークとして図4に示すように A-B-C-D-G と A-B-D-F-G が存在し、ノード A からノード G まで通信を行うとする。各リンクには、先程説明した遅延時間と転送成功率が設定されている。

それらの二つのパラメータを、あるノードからパケットを送信し目的地にパケットが到着するパラメータである T に圧縮している (図4)。このように圧縮することで、計算量が爆発的に増大することを防いでいる。また、複雑な計算式を必要としないため個体が進化を行う際より早期に良い個体に変化できることが期



$$T = (DT_n + DT_{n-1} \dots) / (TSR_n \times TSR_{n-1} \dots)$$

図4 パラメータ T の値

待できる。しかし、QTMR 手法では先程も述べたとおり N 次元のパラメータを一次元に圧縮しているため、必ずしもクライアントの要求 QoS を満足させる最適解であるとは限らない。また、進化パラメータがトレードオフの関係にある場合においては、個体の進化が思うようにいかないという欠点がある。

図4では、DT と TSR の比率を表しているの、小さい値を示した経路 A-B-D-F-G の方がより良い経路として選択される。

4. 提案手法

4. 1 経路検索エンジン

本研究では、3. 3節で述べた QTMR 手法の欠点を補った品質の次元圧縮を行わない経路探索手法を提案する。提案手法[5]では、経路検索エンジン、キャッシュ検索エンジン、ツリー検索エンジンが連携して経路を探索していく (図5)。

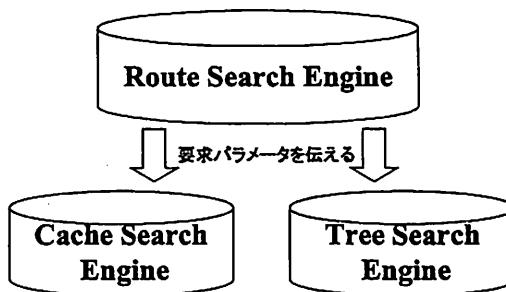


図5 検索エンジンの連携

まず、経路検索エンジンでは、クライアントから要求パラメータを受け取ると、キャッシュ検索エンジン、ツリー検索エンジンに対してその要求を伝え、それを満足させるような経路を検索させる役割を持つ。また、経路検索エンジンでは、キャッシュ検索エンジン、ツリー検索エンジンでより早期に発見出来た方の経路を採用する。キャッシュ検索エンジンとツリー検索エンジンは、独立して動作することができるため処理の分散となり、検索時間を短縮することができる。

4. 2 キャッシュ検索エンジン

キャッシュ検索エンジンとは、今までにツリー検索エンジンで発見されて要求を満たした経路が納められているキャッシュデータベースの中から、要求を満たさせる経路がないかどうかを調べるシステムである。キャッシュデータベースには、目的地や経路情報などが項目として保存されており、経路検索エンジンから要求された目的地を基に経路を検索する。そして、その経路を現在のトラフィック情報と照らし合わせて、経路の品質を決定し、要求された QoS を満足させるかどうかを判断する。

4. 3 ツリー検索エンジン

ツリー検索エンジンは、3. 2節で述べた TMR 手法を用いて実際のネットワーク情報の中から要求 QoS を満足させる経路を発見するシステムである。ツリー検索エンジンは GA を使用した検索方法であるため、通常キャッシュ検索エンジンよりも低速である。また、ツリー検索エンジンでは多目的最適化アルゴリズムを用いている。

多目的最適化では、トレードオフの関係にある複数の目的関数を同時に最小化する解を求める訳であるが、目的関数が互いに競合しあっているため、与えられた複数の目的関数に関して完全な最適解を見つけることは難しい。そのため多目的最適化では、ある目的関数の値を改善するためには少なくとも他の1つの目的関数の値を改悪しなければならないという解、パレート最適解を求める。パレート最適解集合を求めるために、多点検索を得意とする遺伝的アルゴリズムを用い、より早期に優良解を求める研究がなされている [6][7][8]。

更に、提案手法では分割並列母集団モデルを採用している。これは、目的関数が f_1 から f_x まで x 個存在する時、各々の目的関数に応じて領域を分割し、それぞれの領域が独自に最適化を行うものである。各々の領

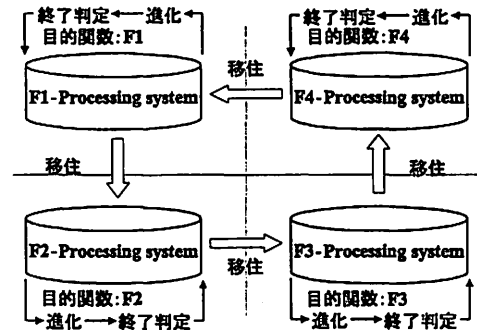


図6 多目的最適化アルゴリズムの並列処理

域で最適化を行うことで進化し、次の世代に移る前に終了条件を満たしているかどうかをチェックする。そして、数世代進化を行っても各々の領域で終了条件を満たす個体が発見できない場合には、各領域間で優良解の移住を行い再び各々の領域で進化を行う (図6)。

また、ツリー検索エンジンにおいてクライアントの条件を満たした個体の情報をキャッシュデータベースに格納するというも行っている。それは、いつまでも同じキャッシュデータが、変化を続けるネットワーク上で QoS を満足させるはずがないためである。このように、ツリー検索エンジンで見つかった個体をキャッシュ検索エンジンに送ってやることで、キャッシュ検索エンジンのキャッシュデータを最新の状態に更新している。

5. シミュレーション

5. 1 シミュレーション内容

シミュレーションには、ノード数 20 のネットワークモデルを使用する (図7)。

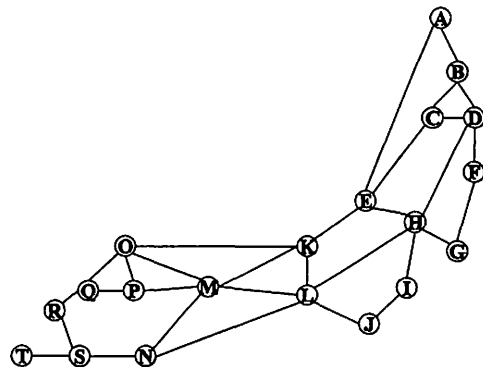


図7 ネットワークモデル

ネットワークの各リンクには、遅延時間と転送コストをランダムに設定する。ここで、遅延時間と転送コストは相反するトレードオフの関係にあるものとし、リンクに設定する値もそれを考慮してランダムに設定されるようになっている。送信元となるノードは、固定されておりノードAがそれに当たる。宛先となるノードは、ノードP、Q、R、S、Tの五つからランダムに選ばれる。要求QoSに関しては、各リンクに設定された値から無理のない要求となる値を算出して設定している。ただし、各リンクに設定させる品質の平均値を使用した概算となるため、実際に要求するQoSを満足させる経路がネットワーク上に存在するかどうかは定かではない。この場合は、終了条件である世代数200をむかえることで検索が終了するようになっている。

本実験では、検索エンジンに宛先と要求QoS値をある範囲内でランダムに設定し、結果が得られるまでの流れを300回行った。本実験において、比較したパラメータは個体数、世代数(世代数)、計算時間(msec)、解の発見率(%)である。

5.2 シミュレーションの結果および考察

QTMR手法と提案手法のシミュレーション結果を、図8、図9に示す。図8では世代数を、図9では検索時間を比較している。提案手法では移住を行う間隔を5,10,15,20世代毎に変化させ結果を表示している。また、QTMR手法と提案手法の200世代までに解を発見できた確率を表1に示す。

QTMR手法と提案手法の比較を個体数別に行くと、世代数、検索時間の両方において提案手法の方が短い世代数、検索時間で解を発見できているのがわかる。これは、やはりQTMR手法ではN次元のパラメータを一次元に圧縮する手法であるため、QoS情報がトレードオフの関係にあるような場合だと個体の進化がなかなか進まないからであると考えられる。

また、個体数が増えると早い世代数で解を発見できているのがわかる。これは、個体数が増えると1世代で参照できるネットワーク経路が増えるためであると思われる。しかし、個体数が増えればそれだけ良いというわけでもない。それは、図9のQTMR手法における個体数12と個体数16の時に現れている。個体数12,16の時を比較すると、個体数16の時の方が解を発見するまでの平均検索時間が増えている。これは、個体数が多くなっても個体集団の中に同じような個体が存在してしまっているためであると考えられる。当然個体数が増えた分だけ遺伝的処理の時間がかかってしまうため、このような結果が出たものと思われる。

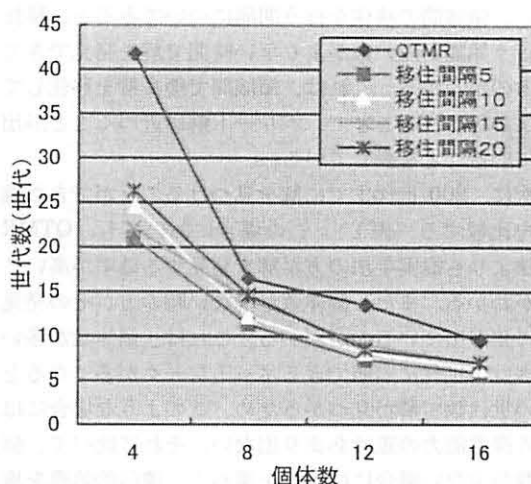


図8 世代数の比較

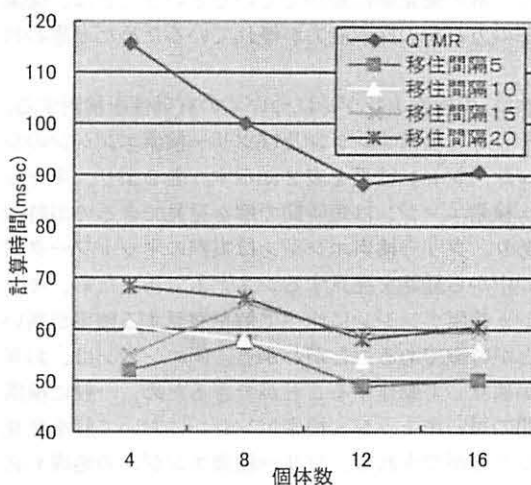


図9 検索時間の比較

表1 解の発見率

個体数	4	8	12	16	平均
QTMR手法	55.5%	58.0%	63.6%	65.0%	60.5%
提案手法	61.0%	64.0%	64.8%	65.3%	63.7%

表2 キャッシュとツリー検索エンジンの比較

キャッシュ検索エンジンがQoSを満たす経路を発見した確率	52.2%
キャッシュ検索エンジンが経路発見に要した平均時間	54.4(msec)
ツリー検索エンジンがQoSを満たす経路を発見した確率	64.2%
ツリー検索エンジンが経路発見に要した平均時間	58.0(msec)
両方の検索エンジンで経路を発見できなかった確率	35.8%

更に、領域間の移住を行う間隔についてみると、移住を行う間隔が短い方がより早い時間で解を発見できているのがわかる。これは、領域間で優良解を移住して交叉が行われることで、パレート解に近づくことが出来ていることを表している。

次に、200 世代までに解を見つけることができた確率を比較する(表1)。この場合においても、QTMR 手法よりも提案手法の方が解を発見する確率が高いことがわかる。また、個体数が少ない時の方がその発見率に差が出ているのがわかる。これは、個体数が多いときは1世代に参照できるネットワークが多くなると早い世代で解が見つかるため、このような場合には解の探索能力の差はあまり出ない。それに比べて、個体数が少ない場合には世代を重ねて、遺伝的処理を施して解を探索しなくてはならなくなる。このような場合に、解の発見率に差がでてきているということは、提案手法の方が解の探索能力が優れているためだと思われる。

次に、両検索エンジンについての有効性を検討する。キャッシュ検索エンジン及びツリー検索エンジンのシミュレーション結果を表2に示す。表2より、キャッシュ検索エンジンは短時間で解を発見できるのが特徴であり、ツリー検索エンジンは実際のネットワーク情報の中から経路を発見するシステムであるため、キャッシュ検索エンジンに比べて解を発見する確率が高いことが特徴であることがわかる。両エンジンは、お互いが独立して動作することができるため、一般に検索時間の短いキャッシュ検索エンジンにおいて解を発見することができれば、ツリー検索エンジンの処理も必要なくなり処理時間の短縮を行うことができる。

6. おわりに

本論文では、以前我々のグループで提案を行った手法である TMR 手法を改良し、QoS 情報を扱えるようにしたルーティング手法である QTMR 手法と経路検索エンジン、キャッシュ検索エンジン、ツリー検索エンジンが連携して経路を探していく手法である提案手法との性能評価を行った。シミュレーションでは、ネットワーク上のリンクへ相反する品質である遅延時間と転送コストを発生させ、一方の品質を向上させるともう一方が劣化してしまうような状況の中から要求を満たす経路を探し出すようにした。シミュレーションの結果、QTMR 手法よりも提案手法の方が優れていることがわかった。

今後は、キャッシュ検索エンジンの更新方法の検討や、LBR 手法と提案手法の比較検証を行う予定である。

参考文献

- [1] 棟朝, 高井, 佐藤: " 負荷分散機構を有する適応型ルーティングの一手法", 情報処理学会研究報告, Vol.97, No. 13, pp. 205-210 (1997),
- [2] 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", 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.2, pp. 219-226(1998).
- [3] L. Barolli, S. Motegi, A. Koyama, T. Taketa, S. Yokoyama: " An Adaptive Routing Method for High Speed Networks using Genetic Algorithm" Proc. of ISPACS '98, pp. 711-715 (1998).
- [4] 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, pp3121-3129(2000).
- [5] A. Koyama, L. Barolli, K. Matusmoto and B. O. Apduhan: " A GA-based Multi-purpose Optimization Algorithm for QoS Routing", Proc. of AINA2004, Vol. 1, pp. 23-28 (2004).
- [6] T. Hiroyasu, M. Miki and S. Watanabe: " Divided Range Multi-Objective Genetic Algorithms". Transaction Mathematical Modeling and Application, Vol. 41 No. Sig07-010 (2000).
- [7] T. Hiroyasu, M. Miki, S. Watanabe and K. Hatanaka: " Sharing, Terminal Condition and Evaluation Methods of Distributed Genetic Algorithms in Multiobjective Optimization Problems", 同志社大学理工学研究報告Vol. 40, No. 4, pp. 19-30 (2000).
- [8] 三木, 廣安, 島中, 吉田: " 並列分散遺伝的アルゴリズムの有効性" 日本計算工学会論文集 2000 年号, No. 20000038 (2000)