

ルーティングアルゴリズムにおける経路評価頻度の制御

山口直彦¹, 棟朝雅晴², 赤間清³, 佐藤義治⁴

1,4:北海道大学大学院 工学研究科 数理情報工学講座 情報解析学分野

2,3:北海道大学 情報メディア教育研究総合センター 情報メディアシステム分野

インターネットに代表されるように、ネットワークのサイズは年々増加の一途を辿っており、その上を流れるデータ量についてもまた、同様に増加を続けている。そこで、増え続けるネットワーク上のトラフィックへの対応策として、複数の代替経路を用いて負荷を分散させることにより、ネットワーク資源を効率的に使用し、遅延を改善することが可能である。このような経路制御アルゴリズムについては、これまでに遺伝的アルゴリズムを用いた負荷分散の手法が提案されているが、そこでは、ネットワーク中の各ノードが遺伝的操作によって複数の代替経路を生成し、それらの代替経路間でリンクの負荷に応じて動的に負荷の分散を行なう。本論文では、経路の評価方法に焦点をあて、評価の手法や頻度を変更することにより、ネットワークにどのような影響を与えるかを調べる。

Controlling Frequency of Route Estimation in Routing Algorithm

Naohiko Yamaguchi¹, Masaharu Munetomo², Kiyoshi Akama³ and Yoshiharu Sato³

1,4:Information and Data Analysis, Graduate School of Engineering,
Hokkaido University

2,3:Center for Information and Multimedia Studies, Hokkaido University

Expansion of computer networks such as the Internet is so rapid and traffic over the networks is increasing along their expansion. Therefore, it is important to utilize network resources efficiently and reduce network latency by distributing communication packets among alternative routes. To realize effective load balancing, we have proposed a network routing algorithms employing genetic algorithms to generate alternative routes and observe loads of links along the routes adaptively. In this paper, we will focus on evaluation strategy of routes. Changing evaluation strategy and frequency of observations, we examine their effects on overall network load status.

1 はじめに

増加の一途をたどるネットワーク上の膨大なトラフィックに対して、効率的に処理するためのルーティング機構が必要とされてきている。現在のネットワーク上でのルーティングは、ホップカウント

を用いたベクトル距離ルーティングやリンク状態ルーティングが一般的である。

これらは基本的に最適と思われる経路のみを用いて通信を行っており、ネットワークのトラフィックが大きくなってきた場合は特定の経路に負荷が集中する恐れがある。また、ネットワークの状態

を観測し、状態に応じた適切な経路を選択する適応型ルーティングアルゴリズムにおいては、状態の観測によるオーバーヘッドも大きな問題となっている。

適応型のルーティングについては、これまでに遺伝的アルゴリズム (GA) を適用した研究が行われている。

Cox ら [3] による研究では、帯域幅の割り当て問題に遺伝的アルゴリズムを適用しているが、パケット単位でのルーティングについては実現されていない。山口ら [2] はパケット単位でのルーティングを行う手法を提案しているが、実装については未定義の要素が多く、改善の余地が多く残されている。

本論文では、代替経路に評価を与えるために送信される、経路評価パケットについてその発生手法、発生頻度の制御を試みることにより、効率的なルーティング手法について考察する。

2 GA による適応ルーティング

山口らアルゴリズム [2] は、始点制御ルーティングに基づき各ノードで独立に目的ノードまでの経路を決定する。

始点制御ルーティングでは、通信パケットの送出元で目的地までの経路を決定する。そこで、通信パケットは、目的ノードへ到達するまでに経由するすべてのノードのリストを経路情報として持つことになる。

各ノードは図 1 のようなルーティングテーブルを持つ。目的地 (dest) ごとに経路パス (route) があり、各リンク間の評価値、評価値合計 (value)、通信パケット送信時に選択する確率 (weight) が与えられる。

初期状態では、ルーティングテーブルは空であり、ルーティングテーブルに存在しない目的地へパケットを送る必要が生じた場合、トポロジー情報に基づき Dijkstra のアルゴリズムにより最短経路を求める。通信パケットは始点制御ルーティングにより、目的地までの経路情報を与えられて送信される。

ある経路に対して一定数の通信パケットを送るごとに、経路評価パケットを送信して経路評価を

行う。経路評価パケットは、経路中の各リンクのパケットサイズ/帯域幅をメトリックとして集め、目的地まで調査した後、送信元へと戻る。

経路評価パケットが送信元に戻ると、threshold policy に従って各リンクの評価値を決定し、その合計値を経路の評価値とする。経路の評価値を基に、目的地までの経路として選択する確率である重みを計算する。

また、一定数の経路評価パケットを送信するごとに代替経路を生成する。代替経路の生成には遺伝的操作の交叉 (crossover)、突然変異 (mutation) を用いる。従来の研究では、ランダムに交叉ノードや突然変異ノードを決定していたが、本論文では各経路に与えられたリンクの評価値を用いることにより、ネットワークの状態にあわせた代替経路生成を行う。

通信パケットを目的地まで送信するときには、遺伝的操作で生成された代替経路を重みに従って選択する。これによりネットワークの状態にあった、動的な経路制御が可能となる。

dest	route	value	weight
2	(1 1 3 1 2)	2	0.8
	(1 1 3 5 4 5 2)	11	0.1
	(1 1 3 5 4 1 5 5 2)	12	0.1
6	(1 1 8 10 6)	11	0.4
	(1 1 10 1 11 5 6)	7	0.6
8	(1 1 8)	1	0.3
	(1 1 7 1 8)	2	0.7

図 1: ルーティングテーブル

2.1 代替経路の生成と制限

代替経路の生成には、遺伝的アルゴリズムにおける、突然変異 (mutation)、交叉 (crossover) の二つの手法を用いる。

突然変異

突然変異では、適用する経路中から始点、終点以外の一つのノードをランダムに選び、そこからネットワーク上で隣接するノードを再びランダム

で選んで、これを mutation node とする。始点から mutation node、mutation node から終点への最短経路を求め、それらの二つの経路を繋げ合わせるにより mutation node を通るという条件を満たす代替経路が生成される。求めた代替経路中に重複するノードがある場合、すなわち重複したリンクを通るような経路が生成された場合は、冗長な経路として破棄し突然変異を行わない。

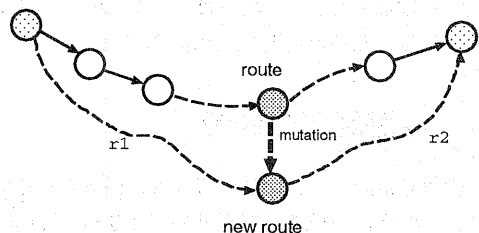


図 2: 突然変異

交叉

交叉では、適用する経路と、同一の目的ノードを持つもう一つの経路との間で行う。二つの経路に対し、それらに共通するノード毎に区切って、それぞれを部分経路とする。始点、終点を同じくする部分経路対について、リンク評価値の合計が小さい方を採用して、それらを繋ぎあわせることにより新しい経路を生成する。二つの経路に共通するノードが存在しない場合は、交叉を行わない。

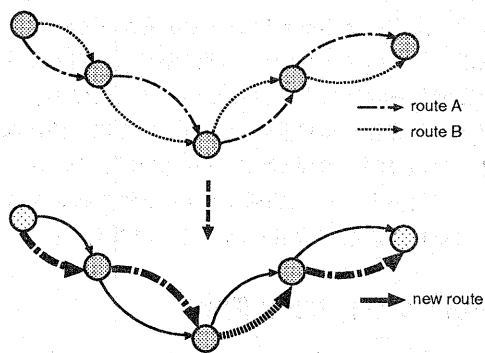


図 3: 交叉

代替経路を生成によるルーティングテーブルの肥大化を防ぐための制限として、遺伝的アルゴリズムにおける選択 (selection) を用いる。

選択

選択では、3 二つの手法を用いる。一つはルーティングテーブルの全体サイズによる制限であり、これはルーティングテーブルにおける代替経路の総数がある一定数を越えたとき、使用頻度の低い目的地への経路群を除去する。もう一つは目的ノードごとの制限であり、ある目的ノードへの代替経路数が一定数を越えたとき、weight の低い経路を除去する。

2.2 経路の評価

経路の評価は、一定数の通信パケットを送るごとに送出される経路評価パケットによって行う。経路の評価は頻繁に行うことによってネットワークの状況を正確に知ることが可能となるが、評価を行うためのパケットが遅延をおこす原因にもなるため、適切な回数、効率的な調査を行うことが重要となる。

一般に、リンクの負荷と応答時間の関係は図 4 のようになる。

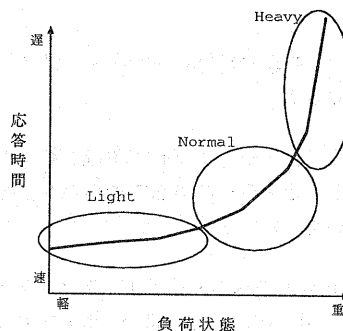


図 4: リンク負荷と応答時間の関係

動的負荷分散アルゴリズムによく用いられる threshold policy[4] に従い、経路の評価を低負荷状態 (light)、過負荷状態 (heavy)、その中間の状態 (normal) の三段階に分け、それぞれに相対的な評価値を割り当てる。

経路評価パケットは、目的ノードまでの往路中に各リンクの待ち行列中のパケットサイズ/帯域幅を求め、その値を保持する。経路評価パケットが送信元へ戻ってくると、その値を基に各リンクを

light, normal, heavy のいずれかに分類し、決められた評価値の合計をその経路の評価値とする。

2.3 確率重みによる負荷分散

経路の評価値が求まると、同一目的ノードへの重みは次の式により求める。

$$w_i = \frac{1/v_i}{\sum_{j \in S} 1/v_j} \quad (1)$$

このとき、 v_i は i 番目の経路に設定された経路評価値、 S は同一目的ノードを持つ経路の集合を表している。この重み w の値は遺伝的操作における適応度 (fitness) の値として用いる。再計算された重み確率 w に従った通信パケットの分散をすることによって、ネットワークの負荷状態に適応するような経路選択が可能となる。

2.4 実行手順

GA を用いたルーティングは、以下の手順で実行される。

1. ノード起動時には、ルーティングテーブルは空である。
2. あるノードにパケットが生成されると、以下に示すどちらかの方法でそのパケットが通る経路を決定する。
 - (a) 目的地への経路がルーティングテーブル中に存在しない場合、ホップカウントに基づく Dijkstra のアルゴリズムにより最短経路を求め、それを経路とする。この経路は、ルーティングテーブルに追加される。
 - (b) 目的地への経路がルーティングテーブル中存在する場合は、適応度に応じた確率で一つの経路が選択される。
3. あるノードにパケットが到着すると、そのノードが目的地であれば受信され、目的地でない場合はパケットが持つ経路情報に従って転送される。

4. ルーティングテーブル中の各経路には、一定数のパケットが送信される毎に、または一定時間毎に評価パケットを流し、経路の評価を行う。
5. 評価パケットは目的地まで送信され、各リンクの評価を行い、送信元へ戻る。このとき、評価値に基づき経路の適応度が再計算される。
6. 一定数の評価行われる毎に、遺伝的操作を適用し、新経路を生成又は削除する。

3 経路評価の制御

代替経路間での動的な負荷分散を達成するために、それぞれの経路に評価が必要となる。評価はネットワークに評価パケットを送出することによって行う。

評価パケットの発生手法

ある経路に一定数のデータパケットを送信するごとにその経路に対し評価パケットを送信させる手法と、一定時間毎にノードが持つすべての経路について、評価パケットを発生させる手法が考えられる。前者の場合、選択頻度の高い経路ほど詳しく調べることで必要性に応じた経路の調査が可能となる。しかし、時間あたりのパケット発生数が少ない場合にはノードが適切ではない経路情報を持ったままになってしまう恐れがある。後者の場合、安定したネットワークの調査が可能となる反面、一つのノードから一度に多くの評価パケットを発生させることになるため、局所的にネットワークが混雑する可能性がある。さらに、使用頻度の低い経路への評価パケット送信は、それがもたらす改善よりも、評価パケットそれ自体の負荷による負の影響が大きくなることが考えられる。

評価パケットの発生間隔

ネットワークの現状を正確に把握するためには、頻繁に評価パケットを送出させる必要がある。しかし、あまり多くのパケットを発生させてしまうと、それらが新たなネットワーク混雑の原因となってしまう恐れがあるため、適切な頻度でネットワークの評価を行うことが重要となる。

データパケットを送る毎に評価パケットを送出する手法については評価するために必要なデータパケット数を、一定時間毎に評価パケットを送出する手法については時間間隔を変更し、総評価パケット数の比較や、それらがネットワークに与える影響について調べる。

4 シミュレーション実験

実験には図5に示すような20ノードのネットワークを使用した。図において、太い線は450Kbpsの帯域幅を持つリンクを示し、細い線は150Kbpsであることを示す。

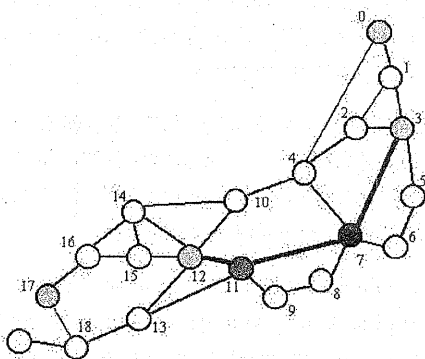


図 5: 実験に用いたネットワーク

通信パケットはすべてのノードより生成されるが、負荷を一律にさせないために、目的地はノード 0, 3, 7, 11, 12, 17 に限られるものとする。また、ノード 11, 7 は他の目的地と比べ、それぞれ 2 倍、3 倍の確率で目的地として選択されるものとする。

パケットは同一の平均発生間隔を持つ指数分布により発生し、平均サイズを 10KBytes とする。シミュレーション時間を 6000 秒とし、ネットワークの状態を観測して次のような結果を得た。

4.1 平均通信遅延時間の比較

ある目的地に対してデータパケットをそれぞれ 5 個、50 個送る毎に評価パケットを送信した場合、また、100 秒、200 秒毎に評価パケットを送信し

た場合の、遅延時間の比較を行った。図6にその結果を示す。

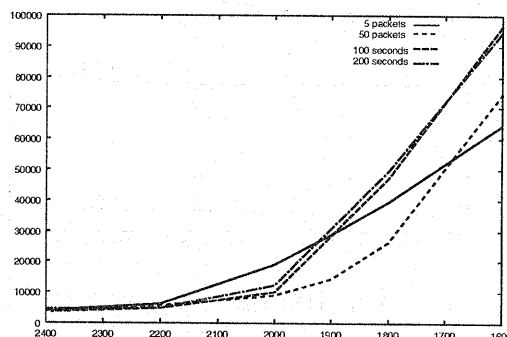


図 6: 平均遅延時間の比較

横軸はパケット発生間隔 (ms) であり、グラフの右へいくほどデータパケットの発生間隔が短く、ネットワーク全体が高負荷であることを示す。縦軸はネットワーク全体の通信遅延時間の平均 (ms) である。

データパケット毎に評価パケットを送出する手法では、ネットワーク全体の負荷が中程度と推測されるようなところにおいては、評価パケットの発生間隔数が多い場合に、遅延時間が小さくなっており、逆に、高負荷になってくると遅延時間が最も大きくなっている。このことから、ネットワークがそれほど混雑していない場合は、評価パケット自体が遅延を発生する大きな原因となってしまうことがわかる。高負荷の場合には頻繁に評価を行うことで、少しでも空いている経路を見つけることが有効であると考えられる。

時間毎に評価パケットを送出する手法では、中、高負荷の場合に比較的悪い観測結果となっている。これは、あまり必要とされていない経路についても評価パケットを発生させる事で余計なトラフィックを生み出しているためと考えられる。

4.2 送出された評価パケット数の比較

評価パケットを、ある目的地に対してデータパケットを 5 個、50 個送る毎に送信した場合と、100 秒、200 秒毎にそれぞれ各ノードがルーティングテーブル中に持つ全ての経路について評価パケットを送出した時の比較を行った。

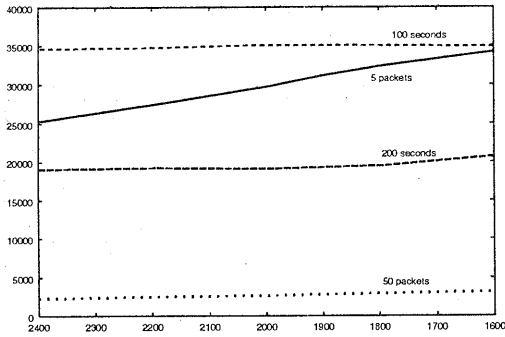


図 7: 送出された評価パケット数の比較

横軸は前の図と同様にパケットの発生間隔であり、縦軸にルーティングアルゴリズムのために送出された評価パケット数を示している。実験結果によると、データパケット送出数毎に評価パケットを発生させる手法では、ルーティングに必要な経路に比較的多くの観測を行っているため、大幅な評価パケット数の削減が可能である。一定時間毎に評価パケットを送出した場合は、各ノードが持つルーティングテーブルの全ての代替経路に評価パケットが送信されることになるため、SPFで用いられる keepalive の 30 秒間隔と比べて長い 100 秒の間隔で発生させても、パケット数が膨大なものとなっている。

図 6、図 7 の結果より、ネットワークの混雑が中程度の場合には、評価パケットの総数がネットワーク全体の遅延時間に大きな影響を与えられ

5 おわりに

本論文では、代替経路間での負荷分散を実現する経路制御アルゴリズムにおいて、シミュレーション時間中のパケット発生間隔を一定にした場合に経路の評価頻度を制御して評価パケットがネットワークに与える影響について調査した。代替経路を複数用意するような場合では、一定時間毎に全ての経路へ評価パケットを送出する手法は非効率であり、目的地へのデータパケット数に応じて、さらにはネットワーク全体の負荷を考慮しながら評価パケットを送出することが重要となる。実際には各ノードは独立して評価を行っているため、

ルーティングテーブルの情報からネットワーク全体の負荷を推測しつつ評価パケットを発生させることになる。

今後の課題としては、パケット発生間隔が時間と共に変化した場合の評価手法別による効果の確認があげられる。また、今回用いた始点制御ルーティングは、現実のインターネット上では一般的ではないため、始点制御以外の方法で動的負荷分散を行いつつ、矛盾の起こらないアルゴリズムを提案することがあげられる。

参考文献

- [1] 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.219-227(1998)
- [2] 山口直彦, 棟朝雅晴, 赤間清, 佐藤義治: “動的負荷分散機構を有する分散型経路制御アルゴリズム”, 情報処理学会 第 60 回全国大会講演論文集 (3), pp.449-450 (2000)
- [3] Jr.Louis Anthony Cox, Lawrence Davis, and Yuping Qiu. Dynamic anticipatory routing in circuit-switched telecommunications networks. In Lawrence Davis, editor, *Handbook of Genetic Algorithms*. Van Nostrand Reinhold (1991)
- [4] Niranjana G.Shivaratri, Phillip Krueger, and Mukesh Singhal: “Load Distributing for Locally Distributed Systems”, *IEEE COMPUTER*(1992)
- [5] Goldberg, D.E: *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley (1989)