

超臨場感コミュニケーションのための

IPv6 を想定した通信最適化アルゴリズム

Optimization algorithm for Ultra-Realistic Communications in IPv6

中山 功一^{*1*2}

Koichi NAKAYAMA

井ノ上 直己^{*1*2}

Naomi INOUE

^{*1} NICT ユニバーサルメディア研究センター
NICT Universal Media Research Center^{*2} ATR 認知情報科学研究所
ATR Cognitive Information Science Laboratories

1. はじめに

筆者らは、超臨場感コミュニケーションのための通信最適化に取り組んでいる。現在、遠隔地のリアルタイム情報の取得・伝送・提示におけるボトルネックは、主に伝送である。例えば映像情報の場合、HDTV(ハイビジョン)画質映像の取得と提示は市販品でも可能になりつつある。しかし、HDTV 画質の映像情報の遠隔地へのリアルタイム伝送は、市販の技術では困難である。

本稿では、今後、多くの通信方式が IP 化される可能性に注目し、IP ネットワーク上での通信最適化について述べる。現在の IP ネットワーク(IPv4)のルーティングでは、ルータの HOP 数が少ないという意味での最短経路を選択するボーダ・ゲートウェイ・プロトコル(Border gateway protocol)[RFC4271]が多く用いられている。ところが、実際のコミュニケーションでは、時間遅れやスループットなどの影響の方が大きい。また、時間遅れを小さくすべき情報(例えば会話中の音声情報)と、スループットを大きくすべき情報(例えばダウンロード中の楽曲情報)は、伝送において優先すべき特性が異なる。従来研究の多くが、通信量(転送効率)の最大化を目指しており、情報ごとに異なる優先順位を考慮したものは少ない。現在、移行が進められている IPv6[RFC2460]では、ヘッダ上の Traffic Class フィールドにおいて遅延やスループット、セキュリティなどの優先順位の指定ができ、現在の IPv4 以上に多目的な制御を目指している。また、超臨場感コミュニケーションの実現にも優先順位の考慮は不可欠である。本稿では、パケットごとに優先順位が異なる場合を想定し、通信最適化アルゴリズムを議論する。

2. 実験モデル

本稿で述べる通信最適化アルゴリズムは、ルータが学習してルーティングテーブルを変化させるダイナミック(動的)ルーティングの一種である。本稿では、最適化アルゴリズムの性質を検証しやすい単純な実験モデルとして、あるルータからある宛先へ伝送される 2 種類のパケットに対する 4 つの経路へのルーティングを考える(図 1)。4 つの経路の特性は遅延/コスト/スループットの 3 種類とし、それぞれ表 1 に示す値とする。2 種類のパケット{A 群, B 群}のうち、A 群のパケットは遅延の最小化を優先し、B 群のパケットはコストの最小化を優先する。また、ルーティング結果の評価値として、遅延を優先するパケット A 群の評価値を{10-遅延}とし、コストを優先するパケット B 群の評価値を{10-コスト}とする。

本実験モデルでは、表 1 に示すように、遅延に関してもコストに関しても、経路 1 と経路 3 の方が経路 2 と経路 4 よりも高性

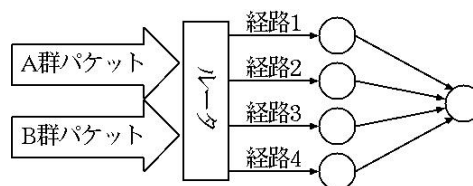


図 1: 本実験モデルのネットワーク

表 1: 経路の特性

経路特性	経路番号			
	1	2	3	4
遅延 (ms)	1	9	1	9
コスト (円)	4	5	4	5
スループット(MB)	2	2	4	4

表 2: 場合ごとの評価値{10-遅延/コスト}の総和

	A群	B群	合計
(A)	3MB×9	3MB×6	3MB×15
(B)	3MB×(9+1)	3MB×(6+5)	3MB×21
(C)	3MB×(9+9+1)	3MB×5	3MB×24
(D)	3MB×(9+9)	3MB×(5+5)	3MB×28

能である。このため、パケット A 群と B 群のいずれも、それぞれの評価値から判断すると、経路 1 と経路 3 にルーティングされる。一方、ネットワーク全体の評価値の総和は、表 2 に示すように (A)パケット A 群と B 群の全てを経路 1 と経路 3 のみにルーティングし、そのスループットの半分(3MB)ずつを使用する場合や、(B)全ての経路をパケット A 群と B 群で半分ずつ使用する場合、(C)経路 1 と経路 3 を全て A 群で使用し、経路 2 と経路 4 を A 群と B 群で半分ずつ使用する場合などに比べて、(D)パケット A 群を経路 1 と経路 3 に、B 群を経路 2 と経路 4 にルーティングする場合の方が大きい。

すなわち、B 群のパケットを性能の低い経路 2 と経路 4 にルーティングすることで全体としては評価値の総和が高くなる“ジレンマ”の存在する環境である。このため、単純に評価値の高い経路を選択するだけでは、(D)のルーティングは得られない。

3. 最適化アルゴリズムとしての DS-GA

一般的に、ルーティングでは、何らかの方法で複数の経路から適切な経路を選択する。宛先ごとに選択する経路は、ルーティングテーブルに記録されている。ダイナミックルーティングでは、このルーティングテーブルをネットワーク環境の変化に応じて適

切に書き換える必要がある。本稿における最適化アルゴリズムとは、宛先と優先順位ごとに選択する経路を、環境に応じて書き換えるためのものである。

単純に HOP 数が最も少ない経路を最適と定める場合や、様々な要素をメトリック(metric)として1次元パラメータであらわす場合には、適切な経路の選択は比較的容易である。しかし、このような場合には、例えば遅延の最小化を優先するパケットとコストの最小化を優先するパケットが混在しても、それぞれの優先順位に応じた経路にルーティングできない。これらの実現には、経路ごとに異なる特性と、パケットごとに異なる優先順位に基づいた経路の選択が必要となる。しかし、多くの情報のやり取りが必要な最適化アルゴリズムは、ネットワーク負荷の観点から好ましくない。いかに単純なアルゴリズムでこれらの最適化を実現するかが重要である。

本稿では、Grid コンピューティングのロードバランシングにおいて、自律分散的な最適化を実現した動的隔離型遺伝的アルゴリズム(Dynamically Separating GA, 以下 DS-GA と記す[中山 02] [中山 06])に注目する。DS-GA では、利用可能な複数の通信回線を仮想的にそれぞれ複数のチャンネルに隔離する。各パケットがどの経路にルーティングされるかは、各チャンネルに多数存在するエージェントが個別にもつルーティング戦略(ルーティングテーブルの一部)として表現される。エージェントはいずれかのチャンネルに所属し、所属するチャンネルのみ利用可能とする。ルータは、チャンネルごとにエージェントを無作為に選択し、エージェントのルーティング戦略に従いパケットの経路を決定する。

エージェントは、A 群のパケットの送信の場合、送信に要した遅延に応じて、B 群のパケットの送信の場合、送信に要したコストに応じて評価値を得る。評価値が初期評価値の 2 倍を超えたエージェントは 2 つに分裂し、評価値が負になったエージェントは消滅する。チャンネル内エージェント数が初期値の 2 倍を超えた場合、そのチャンネル内エージェントの半数は、ランダムに選択したチャンネルのエージェントを全て消滅させ、そのチャンネルに移住する。これにより、そのチャンネル内エージェントは、二つのチャンネルへ動的に隔離される。

DS-GA の有効性を検証するため、動的隔離を用いず、より評価値の高いエージェントが増加する単純な学習アルゴリズム(以下、sGA と記す)と比較する。

4. 実験結果と考察

100 試行を平均した実験結果のうち、手法ごとの評価値の総和の推移を図 2 に、DS-GA により選択された各パケットの経路の比率の推移を図 3 に、sGA における推移を図 4 に示す。

図 2 に示されたように、DS-GA は、sGA より高い評価値を獲得している。また、図 3 に示されたように、DS-GA はパケット A 群を経路 1 と経路 3 に、パケット B 群を経路 2 と経路 4 にルーティングしている。一方、図 4 に示されたように、sGA ではパケット B 群の多くを経路 1 と経路 3 にルーティングしているため、経路 1 と経路 3 により送信されるべきパケット A 群の一部がスループットの制約により送信されなかった。これらの結果、DS-GA の方が、通信されたパケット数も評価値の総和も、1.5 倍以上の値を示した。

DS-GA と sGA の重要な違いは、sGA は個々のパケットにとって評価値の高い経路を学習するのに対し、DS-GA はネットワーク全体にとって評価値の総和の高い経路を学習する点である。このため、スループットの大きい経路により多くのパケットをルーティングする負荷分散はいずれの手法でも実現できたが、パケットの優先順位と経路の特性に応じてルーティングする機能分散は DS-GA のみが実現できた。

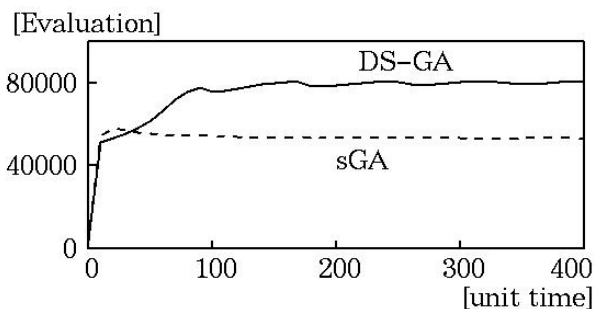


図 2: 評価値の総和の推移

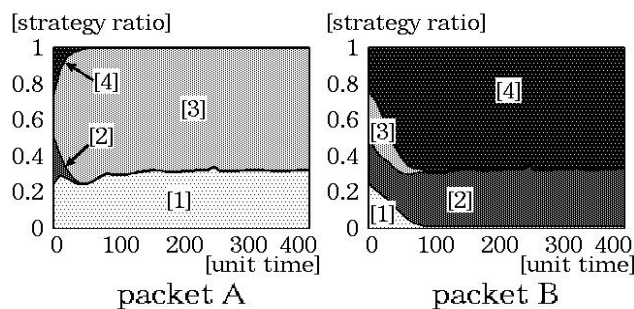


図 3: DS-GA により獲得された経路の推移

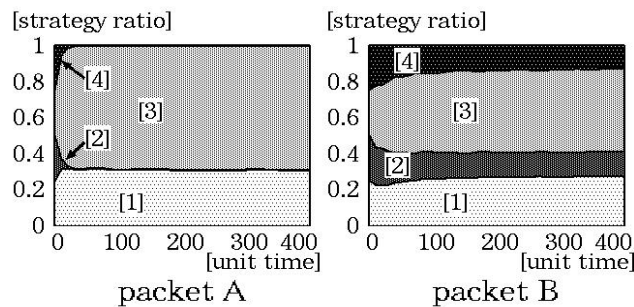


図 4: sGA により獲得された経路の推移

5. おわりに

本稿では、それぞれ異なる優先順位を持つパケットを、適切な経路へとルーティングするための最適化アルゴリズムについて述べた。実験結果から、ネットワーク上で通信される情報量を最適化のために増やすことなく、それぞれの優先順位に応じた経路にルーティングできることを示した。

本稿では 2 者間の一方方向通信で議論したが、2 者間の双方向通信でも結果は同様である。ただし、多者間通信など、より複雑なネットワークに対する有効性は、今後の検討課題である。また、これまでに提案された様々なルーティングプロトコルと比べて、本手法がどのような環境においてどの程度有効であるかは、本稿の実験だけから判断するのは難しい。今後は、より実際の環境に近いモデルを用いて、検討を進める予定である。

参考文献

[RFC4271] <http://tools.ietf.org/html/rfc4271>
 [RFC2460] <http://tools.ietf.org/html/rfc2460>
 [中山 02] 中山 功一, 松井博和, 野村由司彦: 動的隔離型 GA の提案, 情報処理学会論文誌: 数理モデル化と応用, Vol. 43, No. SIG 10 (TOM 7), pp. 95—109 (2002).
 [中山 06] 中山 功一, 松井博和, 下原勝憲, 片井修: エージェント指向グリッドコンピューティング (MAO-Grid) の提案と DS-GA の適用によるロードバランシングの最適化, 情報処理学会論文誌: 数理モデル化と応用, Vol. 47, No. SIG 1 (TOM 14), pp. 40—55 (2006).