

複数経路 IP 伝送方式の提案とその上での動画像伝送品質評価

2003MT031 金石 朋子
指導教員

2003MT044 熊崎 由佳
後藤 邦夫

1 はじめに

2005 年以降インターネット上での音声や動画像配信が一般的になった。さらにインターネット動画像配信サービスが増え、利用者も年々増加している。単一経路による動画像配信では、視聴者のネット利用の集中する時間帯に、遅延やパケット損失などの影響が出てしまう。

その解決策として複数経路でデータを配送することにより、データ配送に必要な合計帯域幅を確保することができる。それによって単一経路にかかる負荷を減らし、効率良くデータを配送する技術が研究されている。これまでの研究には、主にデータ振り分けアルゴリズムの考案、考察 [4]、トラフィック制御がある。また、複数経路を用いた IP 伝送方式の提案 [7] もなされている。

本研究では、十分な帯域幅が得られない時に複数経路を用いることで、遅延やパケットの順序入れ替わりなどを回避することを目的とする。ここで、昨年度修士課程の家田 [4] による振り分けアルゴリズムを参考に、遅延や帯域幅の面から新しいアルゴリズムを考案し、複数経路を用いた IP 伝送方式を提案する。また実験ネットワーク上で音声や動画像を配送して、アルゴリズムの有効性や単一経路と複数経路での音声・動画像の品質の違いを比較し、評価する。

ネットワークの構築、プログラムの作成は共同で行い、金石は主に品質評価の調査を担当し、熊崎は主にアルゴリズムを担当した。

2 複数経路送信アルゴリズム

この節では、2005 年度修士課程の家田が提案した 2 つのアルゴリズム [Delay Based Algorithm, Available Bandwidth Based Algorithm] をもとに考案した新しいアルゴリズムの詳細を述べる。

2.1 Delay and Available Bandwidth Based Algorithm

このアルゴリズムは、データ配送の際に生じるパケット順序の入れ替わりやパケット損失の原因となる遅延と帯域幅の 2 点を軽減する。複数経路における遅延ベースでの配送制御と利用可能帯域幅に応じた負荷分散を満たしつつ、パケット追い越しの抑制を可能とする。Delay and Available Bandwidth Based Algorithm (以下、DABBA と呼ぶ) を用いたときのパケットの流れを図 1 に示す。

前提として、それぞれの経路の遅延は振り分けルータ Dispatcher がデータを振り分ける時点で既にわかっているものとする。ここで n 経路にデータを振り分ける条件式について説明する。それぞれの経路が使用可能な状況下で、経路を Path n [$n = 0, 1, 2, \dots$] とする。経路

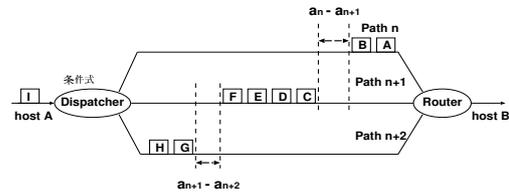


図 1 Delay and Available Bandwidth Based Algorithm

の遅延を a_n [sec] とし、利用可能帯域幅を b_n [Mbps] とする。また経路の切り替え頻度を調整するパラメータを x [$0 < x < 1$] とする。Dispatcher に到着するデータを配送し続けていく場合、Path n に対する条件式

$$x \cdot b_n [\text{Mbps}] > \frac{8 \cdot \text{datasize} [\text{byte}]}{\text{sendtime} [\text{sec}]} \quad (1)$$

datasize : 経路切り替え後のデータの累積バイト数
sendtime : 経路切り替え後から現在までの時間

これを満たす場合のみ、Path n にデータを配送する。datasize と sendtime は経路を切り替えた際に初期化する。式 (1) の左辺は経路の利用可能帯域幅の限界を表し、右辺は経路の平均スループットを表す。アルゴリズムを以下に述べる。

1. 初めの配送経路を利用可能帯域幅 b_n [Mbps] の Path n とする。前のパケットが配送されているかを確認し、配送されていたらすぐに次のパケットを配送する。もしまだ配送されていなければ、配送しないで待つ。
2. 式 (1) を満たす場合は Path n に配送し、満たさない場合または経路を切り替えてから 10 秒経過した場合に経路を Path ($n+1$) に切り替える。
3. 切り替えた際に、Path n の遅延 a_n [sec] と Path ($n+1$) の遅延 a_{n+1} [sec] の差分 ($a_n - a_{n+1}$) だけタイミングを遅らせてから Path ($n+1$) へパケットを配送する。経路が切り替わった時間に遅延の差分を足すことにより、次のパケットの配送予定時間を決定し、タイミングを遅らせる。次のパケットの配送は前のパケットの配送確認をするので、Path ($n+1$) でのパケット配送は全体としても Path n との差分だけタイミングがずれることになる。
4. 利用可能帯域幅 b_{n+1} [Mbps] の Path ($n+1$) は Path n 同様に式 (1) を満たす場合のみパケットを配送する。満たさない場合または 10 秒経過し

- た場合は配送経路を Path ($n+2$) に切り替える。
 5. 使用する経路を変えて 2~4 を繰り返していく。

式 (1) を使うことによって、それぞれの経路の利用可能帯域幅に比例した速度でデータを配送するので、全体のスループットを向上させることができる。また経路切り替えの際に遅延の差分だけ配送のタイミングを調整することによって、配送経路の遅延によって生じるパケットの到着順序の入れ替わりを減らすことができる。

3 実験環境とネットワークモデル

この節では、本研究における実験環境とネットワークモデルの詳細について述べる。

3.1 実験ネットワークの構成

本研究では、ホスト間 (host A, host B) に複数経路を持つネットワークを図 2 のように構成した。host A, B には Vine Linux の kernel2.4.31 を、エミュレータ用 PC には kernel2.4.22-divert6 を用いる。クロスプラットフォーム用 PC には WindowsXP を用いるが、これは第 5.2 節の評価でクロスプラットフォームを加えるために使用する。実験では、host A を server, host B を client とし、host A から host B への一方方向にデータを配送する。

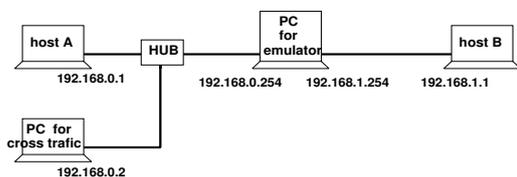


図 2 実験ネットワーク

3.2 ネットワークモデル

本研究では、複数経路にパケットを振り分けて配送する場合を想定する。そこで、後藤教授が作成したエミュレータ [5] (以下、GINE と呼ぶ) をもとに振り分け機能付きのルータ Dispatcher を追加し、複数経路の仮想ネットワークを作成した。このモデルを図 3 に示す。

ホスト間にデータを配送する際に、IP パケットの横取り・再注入が可能である divert socket で host A から配送されたパケットを横取りし、GINE 内に配送する。そして divert in Fwd へパケットを配送し、Dispatcher にて複数経路へと振り分ける。そして 2 つ以上の複数経路から Router へ合流して divert out Fwd へと配送する。最終的に divert socket でパケットを再注入して host B へと配送する。また、それぞれの path では遅延、パケット損失、バッファの大きさ、利用可能帯域幅の値を設定できる。このようにして、GINE で複数経路のデータ配送を可能とした。ただし往路は GINE を介した複数経路、復路はエミュレーションなしの単一経路となる。追加した振り分け機能付きルータは複数回線や中継が必要ではあるが、実ネットワークで利用することが可能であると考えられる。

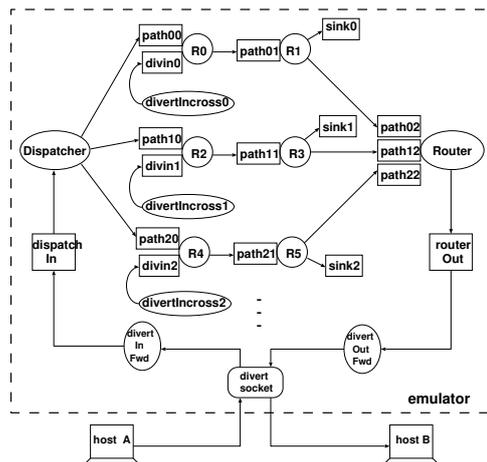


図 3 ネットワークモデル

4 実験

この節では、図 2 で示した実験ネットワークで TCP, UDP の最大スループットを測定する。ただし、実験ではクロスプラットフォームを加えない。

4.1 TCP スループット測定

単一経路と複数経路の場合、さらに複数経路での振り分け方法が DABBA と帯域幅比例ランダム (以下、BPRM と呼ぶ) の場合に分けて実験をし、iperf[8] で最大スループットを求めた。各経路での遅延の差が大きい場合の実験結果を表 1 に示す。なお、設定した平均遅延は単一経路で 100msec、複数経路で 100+30+10msec とし、相関係数は 0.9 とした。DABBA で使用する条件式の切り替え調節パラメータ x は 0.7 とした。

表 1 TCP スループット測定結果

経路	帯域幅 [Mbps]	スループット [Mbps]
単一経路	5.0	1.50
3 経路	DABBA	1.0+5.0+9.0
	BPRM	1.0+5.0+9.0

実験結果から、BPRM よりも DABBA の方が高スループットが得られた。パケット順序入れ替わりを調べたところ、DABBA では入れ替わりは見られなかったが、BPRM では約 20% 入れ替わりが発生していた。つまり DABBA で遅延の小さい経路から大きい経路に切り替えても、その差分だけ配送が遅れてしまうにもかかわらず高スループットを得ることができた。さらに式 (1) による帯域幅を考慮した経路切り替えによって、帯域幅が大きく遅延が小さい経路に、より多くパケットを配送できたと考えられる。ここでは遅延と帯域幅の 2 点ともに DABBA の有効性を確認できた。しかし、各経

路の遅延と帯域幅の差が小さい場合でも DABBA で高スループットを得るためには、もっと複数経路内での高帯域幅の経路へと効率良くパケット配送できるようにすることが必要である。

4.2 UDP スループット測定

TCP と同様に場合分けをし、遅延やパラメータも同様の値に設定して iperf で最大スループットを求めた。その結果を表 2 に示す。

表 2 UDP スループット測定結果

経路	帯域幅 [Mbps]	スループット [Mbps]	
単一経路	5.0	4.92	
3 経路	DABBA	1.0+5.0+9.0	8.06
	BPRM	1.0+5.0+9.0	14.20

単一経路よりも 3 経路のときに高スループットを得ることができたが、DABBA よりも BPRM の方が高スループットという結果になってしまった。しかしパケット順序入れ替わりを調べたところ、DABBA では入れ替わりがほぼ見られなかったが、BPRM では約 30% も入れ替わりが発生していた。つまり、TCP と同様に UDP でも DABBA の有効性が見られた。

このように、スループットやパケット順序入れ替わりを確認することによって、遅延と帯域幅を考慮した DABBA が効果的であることがわかった。さらに、より遅延の差が大きい場合では、BPRM と比較すると TCP ではより高スループットが得られ、UDP では多少スループットが低下しても、パケット順序入れ替わりの程度の差がより顕著に現れると予想できる。またストリーミング配信では、DABBA によるパケット順序入れ替わり抑制の効果が期待できる。

5 音声・動画品質評価

この節では、図 2 で示した実験ネットワークでストリーミング配信をして音声・動画伝送の体感品質を調査し、考察する。

5.1 評価方法

ここでは、音声と動画それぞれの評価方法について述べる。

音声品質評価方法

音声の品質評価には、評価の数値から音質を想像しやすい主観評価の MOS (Mean Opinion Score) [3] を用いる。MOS は電話の通話品質を人間が心理的判断に基づいて評価する方法で、評価者が音声を聞いて 5 段階 (非常に良い~非常に悪い) で評価し、その値の平均を取ったものが MOS 値である。

動画品質評価方法

動画の品質評価は、経路数や帯域幅が異なるネットワーク上に配送した映像を比較して、複数経路と

DABBA の有効性を調べるため、2 種類の画像を交互に比較しながら評価する DSCQS (Double-Stimulus Continuous Quality-Scale method, 2 重刺激連続品質尺度法) [2] [6] をもとに独自の動画品質評価方法を用いる。評価者は、それぞれの画像の評価値を評価シートに記入する。その評価は 5 段階 (非常に良い~非常に悪い) で示され、連続値による評価となる。評価シートから得られた評価値は差分をとり、0 から 100 % に正規化して平均化する。これが評価対象の劣化度となる。画像の提示方法は、第 5.2 節で述べる。

5.2 調査方法

ここでは、音声・動画評価をどのように進めていくかを述べる。

- 評価者
本研究では、同研究室の方々に協力してもらう。
- 観視条件
ディスプレイの大きさや画面輝度などが ITU-R の勧告 BT.500 で規定されているが、本研究では省略して評価しやすい環境を整える。
- テストセッション
本研究では評価を円滑に進めるために、1 パターンのセッション毎に音声と動画を同時に評価していく。そのセッションの流れを図 4 に示す。
- 実験ネットワーク
図 2 で示した実験ネットワークを用いて、host A で Darwin Streaming Server 5.5.4 [1] を起動し、host B では QuickTime 7 Pro [1] を用いてムービーファイルを再生する。このように host A から host B へのストリーミング配信を可能とした。ただし、調査の際には実ネットワークに近づけるためにクロス Traffick を加える。

この調査では、評価を以下のように行う。

1. 単一経路 低帯域幅
2. 複数経路 高帯域幅 (DABBA)
3. 単一経路 高帯域幅

1-3, 1-2, 2-3 の 3 つの組み合わせで動画を配送し、その結果を比較する。この 3 つの組み合わせで調査することで、データ配送に影響を与える要素に対して単一経路よりも複数経路が有効かどうかを、遅延の程度やパケットの到着順序入れ替わりの程度に注目して DABBA の有効性を確認する。本研究での評価方法は以下の通りである。また画像の提示方法を図 4 に示す。

1. 画像を 15 秒間提示する。
2. グレー画を 10 秒間提示する。
3. 画像を変え、1~2 と同様に提示する。
4. 1~3 をもう一度繰り返す。この間に評価者は音声の評価をし、評価シートへ記入する。
5. さらに 1~3 をもう一度繰り返す。ただし、最後のグレー画は 15 秒提示する。この間に評価者は画像の評価をし、評価シートへ記入する。

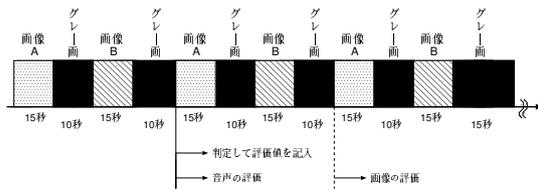


図 4 画像提示方法

5.3 調査結果

第 5.2 節で述べた方法で、研究室のメンバー 10 名に調査を実施した。1, 2, 3 の設定値を表 3 に示す。ただし、2 の合計帯域幅と 3 の帯域幅は同じ値に設定した。また調査結果の一部を表 4 に示す。

表 3 パターン毎の設定値

	帯域幅 [Mbps]	平均遅延 [msec]
1	0.3	10
2	0.2 + 0.15 + 0.25	30 + 20 + 10
3	0.6	10

表 4 調査結果

パターン	MOS 値	画像劣化度 [%]
2-3	2	74.7
	3	
1-2	1	15.8
	2	

2-3 の画像劣化度は 2 の 3 に対する劣化度、1-2 の画像劣化度は 1 の 2 に対する劣化度を表す。2-3 での結果を見てみると音声品質はそれほど差がないが、3 と比べて 2 の画像の劣化が目立っている。これは、2 では画像データよりも音声データの方が多く配送された結果だと考えられる。1-2 での結果を見てみると、1 よりも 2 が明らかに音声品質が良く、画像も 1 に対する 2 の劣化が見られない。2 での各経路の帯域幅や遅延が 1 よりも悪条件にもかかわらず良い結果が得られたのは、データを配送している経路で遅延が発生しても次の経路へと切り替わるので、複数経路全体で見ると 1 よりも遅延の発生が少ないと考えられる。

これらの結果より、音声に関しては 1 と比較すると、2 と 3 はほぼ同じ品質であることがわかった。また画像に関しても DABBA を用いると、複数経路の各経路が低帯域幅で設定した遅延が大きくても、単一経路と比べると遅延の発生を抑制できることがわかった。以上のことより音声や動画の評価において、本研究の DABBA は有効であることが確認できた。

6 おわりに

本研究では、DABBA を用いた振り分け機能付きのルータ Dispatcher を追加することによって、GINE で複数経路にデータを配送することが可能となった。スループット測定では、遅延と帯域幅を考慮した DABBA がスループットやパケット順序入れ替わりを確認することによって、効果的であることがわかった。しかし、各経路の遅延と帯域幅の差が小さい場合でも高スループットを得るためには、経路を切り替える際に現在の経路との遅延の差が小さい経路を選び、次の経路へとパケットを配送できるようにするなど、パケットをできる限り遅れの少ない状態で配送することに重点を置いて振り分ける必要がある。音声と動画の評価は、複数経路の各経路で十分な帯域幅が得られなくても合計帯域幅が確保されていれば、DABBA を用いることで単一経路よりも品質が良いという結果が得られた。

今後の課題は 4 つ以上の複数経路でのデータ配送の検証、アルゴリズムの改善、振り分けルータを用いた実ネットワークでの実験であると考えられる。アルゴリズムに関しては、より高帯域幅の経路に振り分ける、入れ替わりを考慮することで増えてしまう遅延を軽減するなど、DABBA の改善が必要である。

参考文献

- [1] Apple: Apple 社 Homepage (accessed Dec.2006). <http://www.apple.com/>.
- [2] 古性淑子: 画像クラスを考慮したカラー符号化画像の画質評価モデル, 修士論文, 北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科情報処理学専攻 (1998).
- [3] 平岡 翼, 森岡真生: IP 電話の通話品質評価と既存ソフトウェア電話の改良, 卒業論文, 南山大学数理情報学部情報通信学科 (2005).
- [4] 家田直幸: 複数経路を用いた IP パケットの高速伝送方式の提案と試作, 修士論文, 南山大学大学院数理情報研究科数理情報専攻 (2006).
- [5] Ihara, A., Murase, S. and Goto, K.: IPv4/v6 Network Emulator using Divert Socket, *Proc. of 18th International Conference on Systems Engineering (ICSE2006)*, Coventry, UK, pp. 159-166 (Sep.2006).
- [6] 川田亮一: デジタル・ビデオ画像の評価の実際, *トランジスタ技術* 2004 年 7 月号, pp. 193-197 (2004).
- [7] 元井 郁, 柳田陽平: 複数経路を用いた IP データグラムの配送方法とその性能評価, 卒業論文, 南山大学数理情報学部情報通信学科 (2006).
- [8] NLANR: Iperf The TCP/UDP Bandwidth Measurement Tool (accessed Oct.2006). <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>.