

# 複数経路における動画像・音声の伝送とその品質評価

2004MT110 津田 尚宏  
指導教員

2004MT119 山田 崇詞  
後藤 邦夫

## 1 はじめに

2005年以降、様々なインターネット動画配信サービスが増え、利用者も年々増加している。家庭用の回線は速くなってはいるが、十分な帯域が確保できないことがある。これにより単一経路によるデータ配送では、インターネット利用が集中する時間帯に、遅延やパケット損失などの影響が出てしまう。つまり合計帯域幅の確保が困難になるといった問題が生じる。

上述の問題点について、これまでの研究においては、主にデータ振り分けアルゴリズムの考案、提案、トラフィック制御がある。また昨年度の研究には遅延や帯域幅を考慮したアルゴリズムにおけるIP伝送方式の提案もなされた。さらに今年度、川本により新しい振り分け方法が研究されている。しかしこれらの研究はいずれもネットワークシミュレータ、もしくはエミュレータでテストされただけである。

本研究では、昨年度までの研究[1][2]とは違い、実際にインターネットで使用できるものを想定して作成し、Goto's IP Network Emulator[3]を通して実験し、最終的に実ネットワークで役に立つか、性能や利便性はどうなのか、調べることを目的とする。また本研究で作成したシステムでは、複数経路に配送する方法を、tun deviceによるトンネリングを使用することにより実現させた。実験ネットワークにおいて、作成したシステムで、スループット測定、さらには音声・動画像の評価の結果を比較することにより、複数経路、またDABBAの有効性を検証した。

評価の品質調査は共同で行い、津田は主にネットワーク構築を担当し、山田は主にプログラム作成を担当した。

## 2 複数経路送信アルゴリズム

ここでは本研究のもとである2006年度卒業の金石・熊崎により提案された、振り分けアルゴリズム[Delay and Available Bandwidth Based Algorithm](以下、DABBAと呼ぶ)[1]について述べる。このアルゴリズムによるパケットの流れを図1に示す。

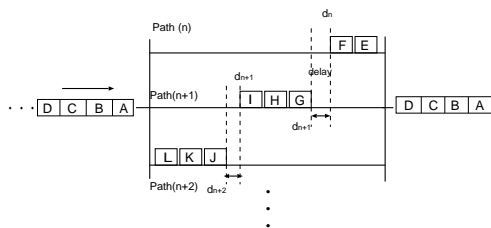


図1 Delay and Available Bandwidth Based Algorithm

各経路の利用可能帯域幅を  $a_1, a_2, a_3 \dots a_n$  [Mbps] とし、経路を切り替えるタイミングを  $x \{0 < x < 1\}$  とする。またそれぞれの経路に配送されたパケットサイズを  $B_1, B_2, B_3 \dots B_n$  [byte] とし、配送されてからの時間を  $t_1, t_2, t_3 \dots t_n$  [sec] とする。  $n > 0$  とする。

配送の方法として、はじめに Path(n) にパケット配送を続ける。条件式(1)を満たす場合、配送を続けて満たさなくなったとき、Path(n+1) に切り替えてデータを配送する。このとき、条件式(1)も  $n$  について  $n+1$  される。さらに Path(n+1) で条件式(1)を満たす場合データの配送を継続し、満たさなくなったとき、Path(n+2) に経路をまた切り替えて、データを配送する。また切り替えた際に Path(n) の遅延  $d_n$  [sec] と Path(n+1) の遅延  $d_{n+1}$  [sec] の差分を ( $\text{delay}[\text{sec}] = d_n - d_{n+1}$ ) とし、 $\text{delay}[\text{sec}]$  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加えることにより、次のパケットの配送時刻を決定し、タイミングを遅らせる。これを繰り返す。

過去の卒論における条件式[2]

$$\frac{a_n x}{8} > \frac{B_n}{t_n} \quad (1)$$

$a_n$ : Path(n) の利用可能帯域幅 [Mbps]

$x$ : 経路の切替え頻度を調整するパラメータ

$B_n$ : Path(n) への配送パケットサイズ [byte]

$t_n$ : Path(n) の配送開始からの単位時間 [sec]

- 条件式(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応じた速度でデータ配送を行うので、全体のスループットを向上させることができる。
- 経路切り替えの際に遅延の差分だけ、次のパケットの配送のタイミングを  $\text{delay}[\text{sec}]$  だけ遅らせることにより、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 システムの実現

この節では、本研究で作成するシステムについて述べる。

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。まず、複数経路を構築するために送信ノード(以下、hostAとする)と受信ノード(以下、hostBとする)の間に、中継ノード(以下、relayとする)を設置する。そのrelayを増やすことで2経路以上の複数経路を構築することができる。これは実インターネット上で誰でも利用できるシステムである。パケットの配送には、UDPトンネリングを使用する。またUDPトンネリングにはTUNを使用する。実ネットワークでシステムを使用するとき、仮想的なネットワークを作成する

ことにより、物理的に便利という利点を生み出すことができる。

この構成図を図 2 に示す。

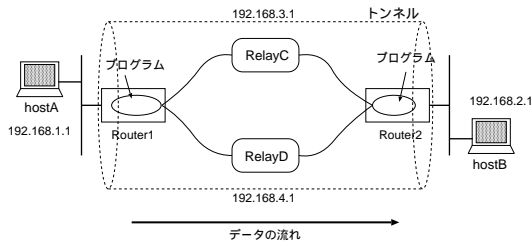


図 2 システムの構成図

#### 実現方法

##### 『送受信プログラム』

Linux のトンネリング device(tuntap) を用いて、hostA と hostB に Point-to-Point リンクを構成する。入力した IP パケットを UDP ペイロードとして振り分けアルゴリズムに従い複数の relay に送信する。複数の relay を経由したパケットを受信する。

##### 『中継プログラム』

UDP socket から入力したペイロードを反対側の Router に送信する。つまり中継地点の役割をする。

##### 『経路設定』

Router で hostA から hostB への通信のゲートウェイを、静的に Point-to-Point の反対側と指定する。同様に逆も設定する。hostA から hostB へ方向にデータを配送する際に、relay を経由して配送されるようになる。これで複数経路となる。(設定次第で片道だけでもできる)

## 4 実験環境

この節では、本研究における実験環境の詳細について述べる。

#### 実験ネットワークの構成

実験環境を図 3 のように構成した。hostA, hostB, relayC, relayD, エミュレータ用 PC を設置し、hostA, hostB には Vine Linux 2.6 kernel 2.4.22-0vl2.11 を使用し、relayC, relayD には、DELL のデスクトップ PC を 2 台使用する。エミュレータ用の PC には DELL の PowerEdgeSC440 を使用する。実験においては、hostA を server, hostB を client として、hostA からエミュレータ用の PC, relay 用 PC 2 台を経由して、hostB への一方向にデータを配送する。

1. クロスケーブルを使用して、エミュレータ用 PC に hostA, hostB, relayC, relayD を接続する。
2. root で送受信プログラムを hostA, hostB の両側で起動 (送信先は relay) する。このモジュールを入れる。
3. 中継プログラムを relayHost で起動する。
4. GINE 内で遅延や帯域幅を設定できるネットワークエミュレーションプログラムを起動する。

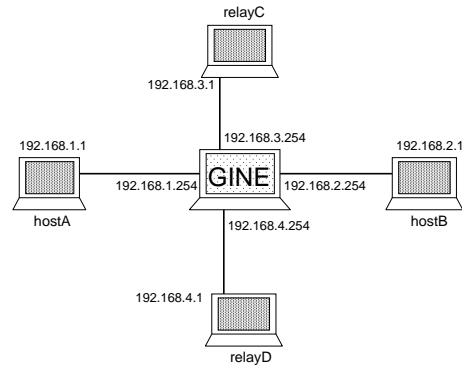


図 3 実験環境

## 5 スループット測定

hostA, hostB の PC にネットワーク性能測定ツールである iperf[4] を取り入れ、単一経路と複数経路の帯域幅比例ランダム (以下、BPRM とする) さらには、DABBA の 3 つの場合のスループット (以下、TP とする) を TCP と UDP の場合でそれぞれ比較する。この 3 つの場合で比較することにより、複数経路の有効性、DABBA の有効性が検証できると思われる。また DABBA の切替えパラメータ  $x = 0.5$  とし、表は実験で一番スループットがよいときの値である。

#### 測定結果

TCP, UDP それぞれの場合でスループットを測定した結果をここで述べる。なお経路制限なしだと、単一経路で 63.3Mbps であるネットワークとする。

##### TCP:各経路に遅延がある場合

単一経路での遅延は 0.1 [sec], 2 経路では Path1 を 0.1[sec] Path2 を 0.05[sec] として最大スループットを測定した。結果を表 1 に示す。

表 1 TCP スループット (遅延あり)

経路	帯域幅 [Mbps]	遅延 [sec]	TP[Mbps]
単一経路	5.0	0.1	4.56
	10.0	0.1	4.77
BPRM	4.0 +6.0	0.1,0.05	3.47
	5.0 +15.0	0.1,0.05	3.30
DABBA	4.0 +6.0	0.1,0.05	5.12
	5.0 +15.0	0.1,0.05	6.23

##### UDP:各経路に遅延がある場合

単一経路での遅延は 0.1[sec], 2 経路では Path1 を 0.1 [sec] Path2 を 0.05[sec] として最大スループットを測定した。結果を表 2 に示す。

スループットの測定結果より、TCP・UDP の場合共

表 2 UDP スループット (遅延あり)

経路	帯域幅 [Mbps]	遅延 [sec]	TP[Mbps]
単一経路	5.0	0.1	4.67
	10.0	0.1	9.34
BPRM	4.0+6.0	0.1,0.05	9.25
	5.0+15.0	0.1,0.05	18.6
DABBA	4.0+6.0	0.1,0.05	9.23
	5.0+15.0	0.1,0.05	18.0

に、単一経路よりも複数経路の方が、高スループットが得られた。つまり複数経路の有効性が検証された。また振り分けアルゴリズムにおいては、実験結果より、複数の経路に異なった遅延が生じた場合、TCP の場合で DABBA の有効性が検証された。それは DABBA は、遅延処理を行っているため、パケットの到着順序に入れ替わりが削減され、パケットを再送する必要がないからである。それに対して、UDP の場合では、パケットの到着順序が変わっても再送する必要がないので、スループットの有効性はみられなかったが、しかしながらパケット到着順序の入れ替わりを削減するには、有効であることが検証された。

## 6 動画品質評価

この節では音声と動画の品質評価方法の詳細と、実際に実験ネットワークで行ったテスト方法の詳細と、得られた結果を述べる。

### 6.1 評価方法

#### ・音声の評価方法

音声の品質評価方法として MOS 値 (Mean Opinion Score) を使う。複数人の評価者が音声を聴き、その音声の品質を表の 5 段階で評価する。その評価の平均値が MOS 値となる [5]。MOS 値を表 3 に示す。

表 3 MOS 値の 5 段階評価

評価点	品質
5	素晴らしい (Excellent)
4	良い (Good)
3	まあまあ良い (Fair)
2	悪い (Poor)
1	非常に悪い (Bad)

#### ・動画の評価方法

本研究では動画の評価方法として 2 重刺激連続品質尺度法 [6] を用いる。2 重刺激連続品質尺度法は、DSIS(Double-Stimulus Impairment Scale method) と DSCQS(Double Stimulus Continuous Quality Scale) がある。DSIS は原画にたいして評価する画像がどのく

らい異なっているかを評価する。DSCQS は 2 種類の画像を交互に比較しながら評価する方法である。

DSCQS の画像提示方法を図 4 に示す。

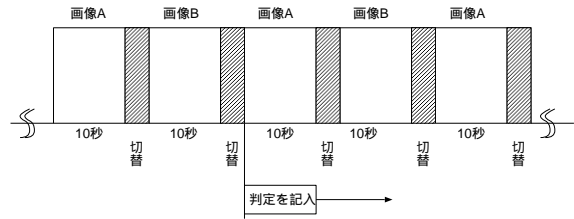


図 4 画像提示方法

1. 画像 A を約 10 秒間観察する。
2. 画像 B を 1 と同じディスプレイに表示し、約 10 秒間観察する。
3. 再度、画像 A および 画像 B を観察し、それぞれの印象を評価用紙に記入する。  
ただし、画像 A と画像 B の提示順序はランダムにする。
4. 1~3 の手順をくり返し行う。
5. 全評価者の平均評点を画像ごとに求め、画像の評点差をグラフ化する。

### テスト方法

テスト方法は、前節で述べた評価方法を参考にし、同研究室の 10 名のメンバーの方々に協力してもらう。実験ネットワークは図 3 を使用し、Web カメラで撮影したものを配送してテストを行った。評価音声、動画の大きさとしてそれぞれ基本 0.064Mbps、6.0Mbps とした。テストは、表 4 のパターンで行う。

表 4 評価のパターン

	経路
1	単一経路
2	複数経路 (BPRM)
3	複数経路 (DABBA)

### 6.2 音声のテスト

ここでは、6.1 節の方法を使用して、実際に音声のテストした結果を述べる。

#### 単一経路と BPRM

ここでは複数経路(2 経路)のうち 1 経路を単一経路のよりも悪い条件にして(ここでは帯域幅を小さくする)、複数経路の有効性を考える。評価結果を表 5 に示す。

表 5 評価結果

経路	帯域幅 [Mbps]	遅延 [sec]	MOS 値
単一経路	0.05	0.1	1.6
BPRM	0.04+0.06	0.1+0.2	3.9

## BPRM と DABBA

ここでは振り分けアルゴリズム以外同じ条件にすることにより振り分けアルゴリズムの比較を行う。評価結果を表 6 に示す。

表 6 評価結果

経路	帯域幅 [Mbps]	遅延 [sec]	MOS 値
BPRM	0.04+0.06	0.1+0.2	3.4
DABBA	0.04+0.06	0.1+0.2	4.2

音声のテストの結果として MOS 値を比べるとわかるように、スループットの測定の結果と同様、複数経路の有効性が検証され、さらに DABBA の有効性が検証された。DABBA の有効性はスループットの測定では、UDP の場合、形としてみられなかったが、この実験で DABBA の有効性を検証することができた。つまりパケット到着順序の入れ替わりを削減することがこの結果に繋がった。

### 6.3 動画像のテスト

ここでは、6.2 節の方法を使用して、実際に動画像のテストした結果を述べる。

#### 単一経路と BPRM

音声同様に比較し、複数経路の有効性を考える。評価結果を表 7 に示す。

表 7 評価結果

経路	帯域幅 [Mbps]	遅延 [sec]	評価
単一経路	3.0	0.1	1.3
BPRM	2.0+4.0	0.1+0.2	3.5

## BPRM と DABBA

ここでも音声同様に比較し、アルゴリズムを比較する。評価結果を表 8 に示す。

表 8 評価結果

経路	帯域幅 [Mbps]	遅延 [sec]	評価
BPRM	2.0+4.0	0.1+0.2	3.1
DABBA	2.0+4.0	0.1+0.2	3.3

動画像のテストの結果として評価を比べるとわかるように、スループットの測定の結果、さらには音声テストの結果同様、複数経路の有効性が検証され、さらに DABBA の有効性が検証されたといえる。しかしながら評価をみるとわかるように、複数経路同士で比べた場合、あまり違いがみられなかった。これは tun device によるトンネリングの使用により、違いがあまりみられなかったと思われる。MTU の削減が原因であろう。

## 7 おわりに

本研究で作成したシステムは、エミュレータ (GINE) 内で構築したネットワークを使用して実験したが、実ネットワーク上で使用可能であり、実用性を生み出した。昨年度の研究で作成したシステムと違い、tun device の

使用により、relay を経由させたトンネリングという新たな方法で複数経路を実現させた。またスループットの測定では、TCP, UDP 共に、本研究で作成した実ネットワーク用のシステムによる研究においても、複数経路の有効性が検証された。

振り分けアルゴリズムにおいては、複数経路に異なった遅延が生じた場合、DABBA は遅延処理が行われるため、DABBA が有効であるということが検証された。UDP の場合では、DABBA によりスループットの有効性はみられないが、パケット到着順序の入れ替わりを削減することを検証した。しかしこれは一定遅延の場合のみであり、遅延のばらつきが生じる場合 (実ネットワーク)、DABBA の有効性はみられないことがわかった。

また音声・動画像の評価でも、スループット測定と同様に DABBA の有効性が検証された。つまり我々が作成した実ネットワーク用のシステムでも、DABBA が音声・動画像の配送でも有効といえた。しかしながら音声・動画像配送では、tun device によるトンネリングでの配送により、少し品質が落ちたように思われた。

まとめとして、昨年度のエミュレータ用システムにおける研究により、複数経路と DABBA の有効性をシミュレーションにより検証出来たが、本研究で作成したシステムは、一定遅延の場合その両方を検証でき、実ネットワークのリアルタイムで変化する遅延に対しては、DABBA の有効性が見られなかった。今後の課題として、実ネットワークにおける実験、DABBA の改善、新しいアルゴリズムの考案、様々な環境における実験が考えられる。

## 参考文献

- [1] 金石 朋子, 熊崎由佳: 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, 卒業論文, 南山大学数理情報学部情報通信学科 (2006).
- [2] 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).
- [3] 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).
- [4] NLANR: Iperf The TCP/UDP Bandwidth Measurement Tool (accessed Oct.2007).  
<http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>.
- [5] ITpro: 音声品質の主観評価である「MOS 評価」と客観評価の概要 (accessed Aug.2007)  
<http://itpro.nikkeibp.co.jp/free/TIS/denwa/20040414/1/>
- [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 (accessed Aug.2007)  
<http://www.cqpub.co.jp/toragi/TRBN/trsample/2004/tr0407/0407sp8.pdf>.