

複数経路を用いて IP パケット転送する

5U-2

マルチルートゲートウェイの実装と評価

森田 直人<sup>†</sup> 山崎 真一郎<sup>†</sup> 林 孝典<sup>†</sup> 相田 仁<sup>††</sup> 武市 正人<sup>††</sup> 土居 範久<sup>†††</sup>  
<sup>†</sup>通信・放送機構 <sup>††</sup>東京大学 <sup>†††</sup>慶應義塾大学

1. はじめに

著者らは、インターネット通信の高信頼化を目的として、複数経路を用いたデータ転送方式とその通信品質について検討を進めている [1][2]。本稿では、複数経路にパケットを複製して送信し、最も早く受信したパケットのみを有効として通信するマルチルートゲートウェイ(以下、MR-GW と記す) を実装し、遅延ゆらぎやパケット損失が発生する経路に適用した場合の通信特性を評価した。

2. MR-GW の実装

MR-GW の機能として、送信側では「パケット複製・アドレス変換」、受信側では「アドレス変換・重複パケット判定」が必要となる。MR-GW の実装は、PC-UNIX (CPU: Intel Pentium II 450MHz, Memory: 128MB, OS: FreeBSD 2.2.8-RELEASE) 上の ipfilter-3.2.10 (以下、ipfilter と記す) を機能拡張することで実現した。対象プロトコルは TCP/IP および UDP/IP とした。

3. MR-GW の処理概要

図 1 に、MR-GW の処理概要を示す。パケット内の S/D は送信元/宛先 IP アドレスを示し、locaddr0 から locaddr3 への通信の様子を表している。

図 1(a) の送信処理では、パケットの複製とアドレス変換を行う。MR-GW 間の複数経路で通信するため、ipfilter によりアドレス変換されて送信するパケット以外に、MR-GW 間の別のインタフェース(以下、I/F と記す) 間で通信できるパケットを複製する。この際、パケットの宛先アドレス、送信元アドレスをそれぞれ、各経路の送信側 I/F の IP アドレス、受信側 I/F の IP アドレスで書き換えるアドレス変換処理を同時に行う。このパケット送信元及び宛先 IP パケット対は、ipfilter 設定ファイルに記述できるように拡張した。

図 1(b) の受信処理では、パケットのアドレス変換と重複パケット判定を行う。まず、パブリックネットワーク向け I/F から到達したパケットをすべて、指定された I/F からのパケットにアドレス変換する。その後、MR-GW により重複パケットの判

定を行い、初めて到達したと判断したパケットのみ I/F を通過させ、その他のパケットは破棄する。重複判定は IP 識別子をキーとした到着パケット登録テーブルを参照して行う。また、ipfilter 設定ファイルで指定した複製対象 I/F および被複製対象 I/F の合計数を初期値とするリファレンスカウントを持ち、到着パケットに合致するエントリがある毎にその値をひとつずつ減らす。カウントが 0 になった時点で、複製パケットがすべて到着したとみなし、テーブルエントリから削除する。パケット損失した場合にはタイムアウトによりテーブルエントリから削除する。

4. オーバヘッドの測定

MR-GW で図 2 に示す 2 経路を用いた環境を構築し、今回追加した処理によるオーバーヘッドを測定した。測定には Netperf [3] 用い、時刻同期させたワークステーション(以下 WS と記す) でパケットダンプを行い、各パケットダンプポ

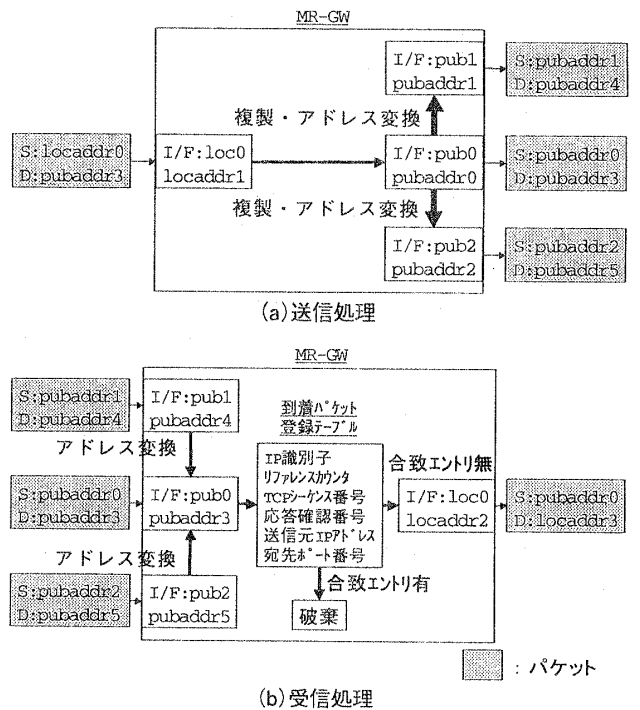


図 1 処理概要

Implementation and Evaluation of A Multi-Route Gateway.  
 Naoto MORITA<sup>†</sup>, Shin' ichiro YAMASAKI<sup>†</sup>, Takanori HAYASHI<sup>†</sup>,  
 Hitoshi AIDA<sup>††</sup>, Masato TAKEICHI<sup>††</sup>, Norihisa DOI<sup>†††</sup>.  
<sup>†</sup>Telecommunications Advancement Organization of JAPAN,  
 Azabudai Research Center, Nisso 22 Building 3rd Floor 1-11-  
 10, Azabudai, Minato-ku, Tokyo 106-0041 Japan, <sup>††</sup>The Uni-  
 versity of Tokyo, <sup>†††</sup>Keio University.

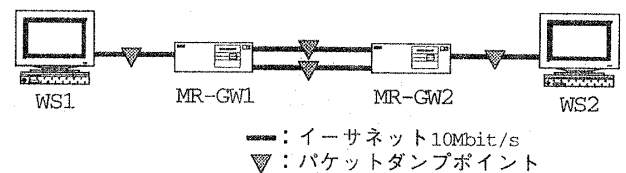


図 2 基本性能測定環境

ントの差によりオーバーヘッドを求めた。

UDPパケット(MSS1470byte)の1000パケット平均は表1に示すように、パケットのMR-GW通過時間1.3msecに対して十分小さく、問題にならない程度であることが分かる。

5. パケット遅延ゆらぎとTCPスループット特性

次に、図3に示す試験系でネットワークエミュレータを用いることにより擬似的に遅延ゆらぎを発生させてスループット特性を測定した。ルータ1とルータ2間はスタティックにルーティングさせてGW間の2つの経路は完全に独立したものになっている。WS間のTCPトラフィック発生にはNetperf[3]を用い、パケット遅延ゆらぎは指数分布を適用した。

1経路(Single)と2経路(Double)でパケット遅延ゆらぎをそれぞれ指数分布 $\mu$ の値を変化させた時の平均スループットを図4に示す。 $\mu$ が大きくなるほどSingleに対するDoubleのスループット向上が見られる。

6. パケット損失とTCPスループット特性

同じく図3の試験系を用い、SingleとDoubleでパケット損失をそれぞれ損失発生間隔を変化させて1パケット単位で損失を発生させることで損失率を変化させた時の平均スループットを図5に示す。損失率が2%以上になるとSingleではスループットが低下するのに対してDoubleでは安定したスループットが得られることが分かった。

次に、損失率を10%とし、損失形態をランダムからバーストへ変化した時の平均スループットを図6に示す。Singleではバースト傾向になるほどスループットが低下しているのに対し、Doubleではその影響が及ばないことが分かった。

表1 オーバヘッド

アドレス変換	29 $\mu$ sec
複製	45 $\mu$ sec
テーブル参照書込	33 $\mu$ sec
片道に要するオーバーヘッド	136 $\mu$ sec

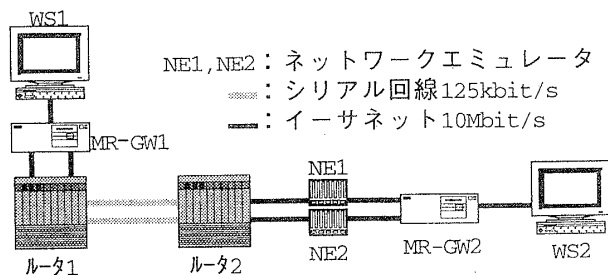


図3 試験系の構成

7. まとめと今後の課題

MR-GWの基本性能評価を行い、パケット遅延ゆらぎや損失に対する有効性を示した。特に、パケットのバースト損失時に効果が大きいことも分かった。

今後は、テレビ会議等の双方向アプリケーションでの性能評価も行う。また、実際のインターネット環境での実験も行い、他のトラフィックと混在した場合の影響も検討していく予定である。

参考文献

- [1] 林他, “インターネットを用いた複数経路データ転送方式に関する一検討”, 信総大B-7-78, 1999. 3.
- [2] 林他, “複数経路を用いたTCP通信に関する一検討”, 信ソ大B-7-51, 1999. 9.
- [3] Hewlett-Packard Company, “Netperf: A Network Performance Benchmark Revision 2.1,” 1995.

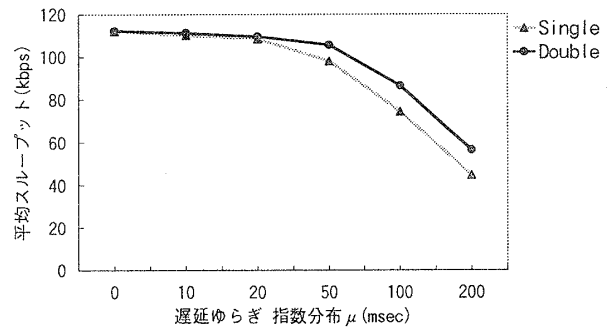


図4 パケット遅延ゆらぎと平均スループット

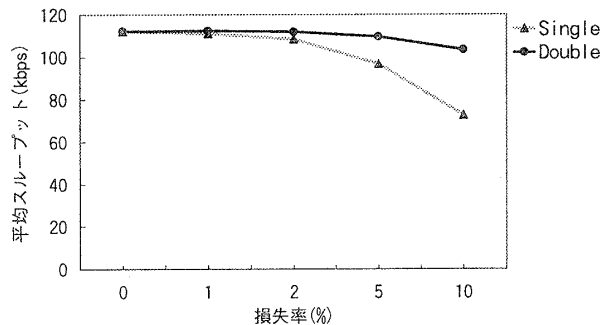


図5 パケット損失率と平均スループット

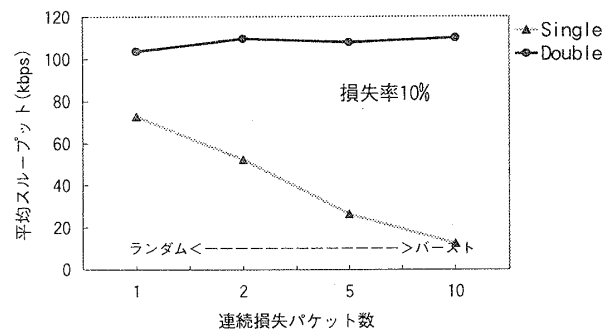


図6 パケット損失形態と平均スループット