

複数経路通信における動的トラフィック制御の検討

川島 佑 毅[†] 峰野 博 史^{††}
石原 進[‡] 水野 忠 則^{††}

携帯端末の普及により外出先から無線によりネットワークに接続するモバイルコンピューティングが一般的になった。しかし、無線通信には帯域が狭い、信頼性が低いといった問題がある。そこで、筆者らは複数の携帯端末のネットワーク接続リンクを同時利用することで論理的に帯域幅を広くし、信頼性の高い通信を実現する複数経路通信の方式として Mobile IP SHAKE (SHARed multiple paths procedure for cluster network Environment) を提案してきた。複数経路通信では、トラフィックを各経路に分配させる必要がある。これまでの実験で、分配手法によっては各経路の遅延揺らぎやパケットロスの影響で複数経路を使用しても、帯域の増加に結びつかない場合もあることが判明している。本稿では、経路の状態に応じたトラフィック分配を行う方式を検討する。

Study on Dynamic traffic Control for Multiple Paths Communication

YUKI KAWASHIMA,[†] HIROSHI MINENO,^{††} SUSUMU ISHIHARA[‡] and TADANORI MIZUNO^{††}

Mobile Computing became popular that connects with a network by radio from a going-out place by the spread of wireless mobile. However, it has some problems such as narrow bandwidth and low reliability. To solve these problems, we have proposed "Mobile IP SHAKE (SHARed multiple paths procedure for cluster network Environment)" as a kind of Multiple Paths Communication, which logical bandwidth is expanded by carrying out simultaneous use Internet connectivity link of some mobile nodes simultaneously. It is necessary to make traffic distribution to each paths on Mobile IP SHAKE. Even if it uses Mobile IP SHAKE under the influence of delay jitter or packet loss depending on the distribution method, it has become clear that it may be ineffective. In this paper, we inquire the traffic distribution according to the state of each paths.

1. はじめに

近年、有線 LAN、無線 LAN といった複数ネットワークインターフェースを搭載した移動端末も登場してきている。これら複数ネットワークインターフェースを使用しネットワークの負荷を分散、接続性向上、通信速度向上を図る複数経路通信が注目を集めている¹⁾²⁾。

筆者らは、複数経路を同時に利用することで高速・高信頼な通信を可能にする通信回線共有方式 SHAKE (SHARing multiple paths procedure for cluster network Environment) を提案している。SHAKE では近隣の移動端末を複数使用し、無線 LAN や Bluetooth 等の短距離高速ネットワークで相互接続して一時的な協力ネットワーク (アライアンス) を構築する。アライアンスを構築した各端末は、アライアンス外部のホストと通信する際に、自分の持つ外部リンクだけでなく、アライアンス内の他端末の持つ外部リンクを利用することでトラフィックを分散し複数経路通信を行う。

これまで SHAKE 実現の一手法として、Mobile IPv4 を

応用した Mobile IP SHAKE を提案し評価を行ってきた³⁾。Mobile IP SHAKE は、Mobile IPv4 のホームエージェントを分配ホストとして機能させることで、アライアンス外部の任意の端末が分配ホストの存在を知る必要なく、複数経路を使用した通信が可能となる。Mobile IP SHAKE を用いた複数経路通信において高速・高信頼の通信を行うには、どのトラフィックをどの経路にどのように送信するかが重要になる。トラフィックを複数経路に分散させる方法として、2つの方法が考えられる。1つは、トラフィックをパケット毎に複数の経路へ分配させる方法である。これは、単一のフローでも複数経路による通信が可能であるというメリットがあるが、これまでの実験の結果、Mobile IP SHAKE では各経路の遅延揺らぎが大きいとスループットが向上しないことが示されている。もう1つは、トラフィックを通信のフロー毎に複数経路へ分配させる方法である。この方法では遅延揺らぎによる影響を受けにくいものの、単一のフローを扱う場合に複数の経路を使用することが出来ない。これらの特徴を持つ2種類のトラフィックの分散方法の選択を、ユーザが事前にポリシーとして記述しておくことでトラフィック種類毎に分配させる方式を検討し評価した⁵⁾。その結果、より高く安定したスループットを得るためには、ユーザが詳細にポリシーを設定しておくよりも、通信の状況に応じて分配方式を自動的に切り替える仕組みがあ

[†] 静岡大学大学院情報学研究科
Graduate School of Information, Shizuoka University

^{††} 静岡大学情報学部
Faculty of Information, Shizuoka University

[‡] 静岡大学工学部
Faculty of Engineering, Shizuoka University

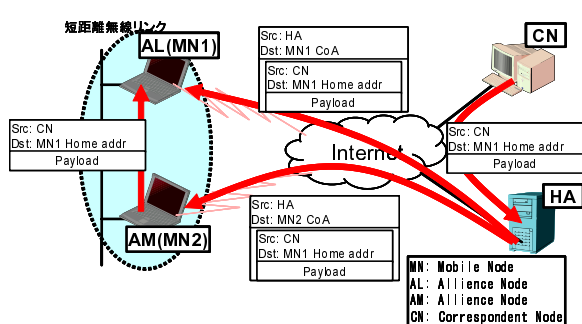


図1 Mobile IP SHAKE 動作概要

ると便利なことが分かった。

本稿では Mobile IP SHAKE において、通信の状況に応じてトラフィック分散方法を自動的に切り替えることで高いスループットを保つことが可能な仕組みについて検討する。

2. Mobile IP SHAKE

2.1 Mobile IP SHAKE 概要

以下に Mobile IP SHAKE の概要を示す。移動端末 (Mobile Node : MN) がアライアンス外部にいる任意の通信相手 (Correspondent Node: CN) と IP 層で SHAKE による通信を実現するためには、途中にトラフィックを複数経路に分配するホストが必要である。Mobile IPv4 では、CN から MN 宛てのトラフィックをホームエージェント (Home Agent : HA) が代理で受信する。HA はトラフィックをカプセル化し MN の移動先での気付けアドレス (Care of Address : CoA) に転送する。経路最適化を行わない限り CN と MN 間の通信は必ず HA を通過する。そこで、HA にトラフィック分配機構を持たせることで SHAKE を IP 層実現することができる。我々はこの手法を Mobile IP SHAKE と呼んでいる。HA でトラフィック分配をすることで、CN は分配のための特別な機構を持つ必要がないだけでなく、また分配ホストの存在を知ることなく、複数経路を利用した通信が可能となる。

Mobile IP SHAKE の動作概要を図 1 に示す。図 1 では、移動ノード (MN1) は自身の気付けアドレス (MN1 CoA) を HA に登録する。MN1 は SHAKE クラスタ管理機構 (SHAKE Cluster Control Manager : SCCM)⁴⁾ を使用し近隣の移動端末 (MN2) とアライアンスを組み、MN2 の気付けアドレス (MN2 CoA) を HA に登録する。ここで、SHAKE を利用して通信を行う端末をアライアンスリーダー (Alliance Leader : AL)、トラフィックを中継する端末をアライアンスメンバ (Alliance Member : AM) と呼ぶ。また、HA と AL はユーザの設定したポリシーに従い帯域幅や遅延を考慮しながらトラフィックを分配するトラフィック分配機構を持つ。トラフィック分配機構は DQ(Delay-Queuing) 方式と呼ばれる方法でパケットを送信する経路を選択する。DQ 方式の詳細は次節で述べる。各端末は CPU 処理能力、論理帯域、パケットコストと

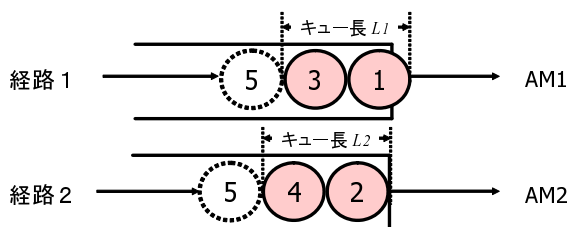


図2 仮想的な送信キュー

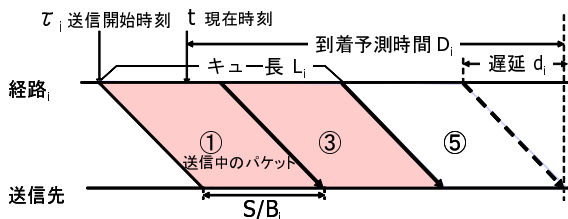


図3 パケット到着予想時間

いった端末固定の情報を Terminal Profile としてトラフィック分配機構に登録する。下りトラフィックの場合、HA が通信ホスト (CN) から AL 宛のトラフィックを受信し、トラフィック分配機構がカプセル化して AL だけでなく AM にも転送する。AM はカプセル化されたトラフィックを受信するとカプセル化を解除し AL に転送する。上りトラフィックの場合、AL がパケットを 2 重カプセル化して AL→AM→HA→CN もしくは AL→HA→CN という経路でトラフィックを分配する。

2.2 DQ(Delay-Queuing) 方式

SHAKE による通信でトラフィックをパケット毎に分配する場合、受信側へのパケット到着順を考慮しないとパケット到着順の逆転が頻発し、TCP の送信制御が働いて性能が低下してしまう。現在実装されているパケット毎の分配方式では、各経路の仮想的な送信キュー待ち時間と伝送遅延時間の合計時間が最短になる経路へ送信する DQ(Delay-Queuing) 方式を採用している³⁾。仮想的な送信キューを図 2 のように HA から AL、AM までの各経路を待ち行列とみなす。経路番号を i としたとき、パケット到着予想時間 D_i は図 3 に示すように、パケットサイズ S_i 、論理帯域 B_i 、キュー長 L_i とすると、現在送信中のパケットを送信した時間 τ_i と現在時刻 t 、伝送遅延時間 d_i から求められる (式 (1))。

$$D_i = \frac{S}{B_i}(L_i + 1) + \tau_i - t + d_i \quad (1)$$

2.3 ポリシーによるトラフィック制御

前述したように、筆者らは Mobile IP SHAKE に図 4 のような通信相手、内容、経過時間に対するポリシーを記述しておくことで、トラフィックの分配方法を指定出来る仕組みを実装した。

図 4 に示すようにポリシーは CN から AL への上りトラフィックに関する Downlink ポリシー、AL から CN への上りトラフィックに関する Uplink ポリシーのそれぞれ

#Downlinkポリシー				
#Source Address	Protocol	S-Port	Method	Time: Method
192.168.25.110	TCP	110	Own	10: Packet
192.168.15.22	TCP	22	Own	
any	UDP	any	Bandwidth	
any	TCP	80	Cost	60: Packet
#Uplinkポリシー				
#Destination Address	Protocol	D-Port	Method	Time: Method
192.168.25.110	TCP	25	Cost	30: Packet
192.168.15.22	TCP	22	Own	
any	UDP	any	Bandwidth	
any	TCP	21	All	60: Packet

図4 AL ポリシーの例

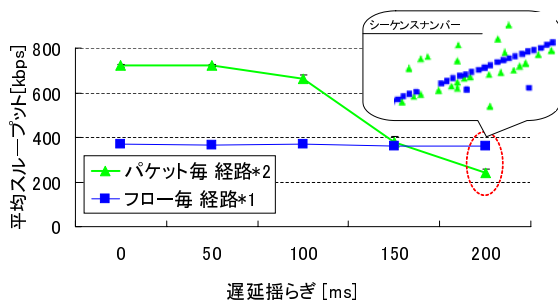


図5 経路品質によるスループット変化

についてルールの記述が可能である．ここでルールとは、ポリシーに設定された条件とそれに対する分配方法の組を言う．ルールの記述方法は CN の IP アドレス、使用プロトコル、ポートによって決定されるフローに対して、Method という項目で分配方法を設定する．Method 項目には、パケット分配、帯域重視のフロー分配 (Packet)、パケットコスト重視のフロー分配 (Bandwidth)、自経路のみ (Own)、全ての経路 (All) が設定可能である．また、そのフローの分配を開始してから指定時間経過後に反映させる分配方法も指定可能である．

また、SHAKE 通信を中継する AM にも経路を貸し出す際のポリシーを設定可能である．このポリシーには、中継に貸し出す帯域幅、AM の端末状態による中継量の制限や、中継を許可するトラフィック、拒否するトラフィックを設定可能である．

2.4 動的トラフィック制御の必要性

ポリシーによるトラフィック制御を実装することでパケット毎、フロー毎の制御を設定することができるようになった．しかし、ユーザがあらかじめポリシーを明示的に記述しておかなければならず、全てのルールを記述するのは困難である．

図5に経路の品質、特に遅延揺らぎが大きくなった時のパケット毎、フロー毎の平均スループット変化を示す．この図より明らかなように、複数経路を使用する場合、経路の品質や状態によってはユーザが設定した静的なトラフィック制御方式では期待したスループットが得られないことが分かる．

現在の Mobile IP SHAKE では、2.2 節の DQ 方式を用いている．しかし、Mobile IP SHAKE では外部リンクに

長距離無線の使用を想定しているため、遅延揺らぎが有線に比べて大きくなると考えられる．そのため図5のように遅延揺らぎが大きくなると、AL へのパケット到着順の逆転が頻発しており、TCP の輻輳制御によりパケット送信量が制限され、スループットが低下している．

一方、フロー毎の分配では、トラフィック分配機構が新たなフローを受信した時点で各経路で流れるフローの数と論理帯域から予想される使用可能帯域を算出し、もっとも帯域が確保できる経路を利用している．フロー毎の分配では、経路の遅延揺らぎが増加しても全てのパケットが同一経路を流れるため到着順序の逆転が生じにくい．そのためパケット到着順序逆転による TCP でのスループット低下はほとんど発生せず、図5のように遅延揺らぎが増加してもスループットはほとんど変化しない．ただし、複数経路を利用しないため経路の持つ論理帯域以上のスループットは提供できない．

以上の結果から、状況に応じて動的にパケット分配、フロー分配を切り替えることができると複数経路を有効に活用した通信が実現できると考える．以降では、遅延揺らぎやパケットロス率を測定し、パケット毎、フロー毎でトラフィックを分配したときにより高いスループットを得られるようにトラフィック制御方式を動的に選択する仕組みについて検討する．

3. 動的トラフィック制御

3.1 経路品質に対する検討

トラフィック分配機構で経路の状況に応じて動的に分配方法を切り替える機能を実現するために、経路の品質を現すパラメータについて検討する．

経路の品質を決定するパラメータとして、論理帯域、遅延、遅延揺らぎ、パケットロス率の4つが挙げられる．このうち論理帯域は Terminal Profile の交換により既知であり、通信中に変化することはないとし、TCP 通信を使用した Mobile IP SHAKE での遅延、遅延揺らぎ、パケットロス率の影響を検討する．TCP がパケット送信を制限する原因として再送制御と輻輳制御がある．TCP の再送制御はパケット到着順逆転の重複 ACK によるものと、タイムアウトによるものがある．これらは遅延、遅延揺らぎ、パケットロスによって引き起こされる．

最初に遅延について検討する．Mobile IP SHAKE では DQ 方式によりパケット到着時間を推測しているため、パケット到着順序逆転の重複 ACK による再送は発生しにくいと考えられる．ただし経路間遅延差が拡大すると、遅延の大きな経路で送信したパケットの ACK が返る前に送信側でのタイムアウトによる再送が発生してしまう可能性がある．そのため経路間遅延差があまりに大きい場合は遅延の大きな経路を使用しないという方法が考えられる．

次に遅延揺らぎについて考える．遅延揺らぎによって、DQ 方式を用いてもパケット到着順序の逆転が生じてし

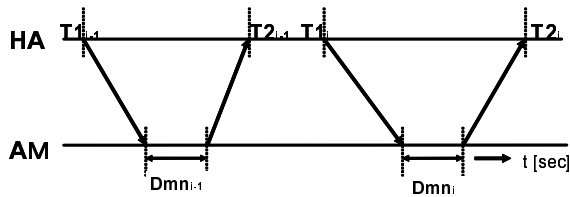


図 6 遅延, 遅延揺らぎ, パケットロス率測定手法

まう、使用可能な経路数が多くなればそれだけ遅延揺らぎの影響が大きくなる。パケット到着順序逆転が頻発することで TCP を用いた通信のスループットは制限されてしまう。DQ 方式では遅延を測定しているため、測定した遅延から経路の揺らぎを算出することが可能である。そのため、算出した遅延揺らぎにより使用する経路の数を切り替えるという方法が考えられる。

最後にパケットロス率について考える。TCP による通信はパケットロスを検出するとロスしたパケットを再送し輻輳制御を行う。DQ 方式による分配では、経路のパケットロスについては考慮していない。そのため、複数経路の中にパケットロス率が高い経路があると全体の送信量が減少し、ロスの多い経路に引きずられてしまう。各経路のパケットロスを計測し、パケットロス率の大きな経路には分配を制限もしくは停止し複数経路全体のパケットロス率を増加させない方法が考えられる。

3.2 経路品質測定

経路品質によって分配手法、送信経路を切り替えるために、HA-AL 間、HA-AM 間の遅延、遅延揺らぎ、パケットロス率を測定しなければならない。これらの測定手法には、送信するトラフィックから求めるパッシブ測定と測定用のパケットを使用するアクティブ測定がある⁶⁾。パッシブ測定は、余計なトラフィックを増やさず測定可能であるが、トラフィックが送信されている経路とその時間のみしか測定することができず、新たな送信経路の通信品質を知ることができない。アクティブ測定では、利用中の送信経路以外の経路についても測定が可能である。しかし、新たにパケットを送信するため、測定用パケット自体が経路に負荷をかけてしまわないよう注意が必要がある。フロー分配からパケット分配に切り替える際には、利用中の経路しか測定できないパッシブ測定より全ての利用可能な経路の状態を把握できる測定用パケットによるアクティブ測定が適すと考える。

3.3 測定用パケット

トラフィック分配機構は測定用パケットを遅延揺らぎによるパケット到着順序逆転が生じない程度の間隔で送信する。図 6 に測定用パケットのシーケンスを示す。HA-AL 間、HA-AM 間で利用する i 番目の測定用パケットにはタイムスタンプ $T1_i$ とシーケンスナンバー N_i が含まれる。AL, AM は測定用パケットを受信すると、受信時間の差 Dmn_i をパケットに記録し HA へ返信する。HA は AL, AM からのパケットを受信すると、シーケンスナン

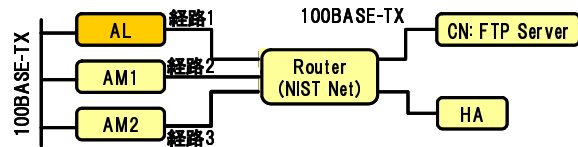


図 7 実験環境

バーが前回受信したものと連続しているかどうか比較しパケットロスを検出し、受信時間 $T2_i$ から片道伝送遅延 d_i を計測する (式 (2))。

$$d_i = \frac{(T2_i - T1_i) - Dmn_i}{2} \quad (2)$$

また、突発的な遅延増大の影響を小さくするため、これまでに測定した遅延 d_{old} を用いて測定結果の平滑化を行う (式 (3))。

$$d_{new} = \alpha d_{old} + (1 - \alpha) d_i \quad (0 < \alpha < 1) \quad (3)$$

DQ 方式で到着時間を予想する際に使用される遅延はこの d_{new} を使用している。さらに、平滑化された遅延 d_{new} と d_i から遅延揺らぎ j_i を測定する (式 (4))。

$$j_i = |d_{new} - d_i| = |\alpha(d_{old} - d_i)| \quad (4)$$

これまでに測定した揺らぎ j_{old} を用いて平滑化した揺らぎ j_{new} を算出する (式 (5))。

$$j_{new} = \beta j_{old} + (1 - \beta) j_i \quad (0 < \beta < 1) \quad (5)$$

最後に、経路に送信した測定用パケットとパケットロス数から各経路のパケットロス率を求める。

4. 予備実験

4.1 実験環境

ヘルシンキ工科大学で実装された Linux 版 Mobile IP の実装である Dynamics⁷⁾ をベースに開発された Mobile IP SHAKE を拡張し、ポリシーベースでのトラフィック制御を実現した⁵⁾。本稿でも本実装を利用し、図 7 に示すような実験環境で前章で検討した経路品質を表すパラメータの変化が、複数経路通信時のスループットにどのような影響を与えるか調べた。本予備実験の環境は、アライアンスを 3 台の端末で構築し、Router 上でネットワークエミュレータ NIST Net を動作させることで HA とアライアンス内端末間の経路の帯域を、下り 384kbps, 上り 64kbps, 片道遅延を 200ms とし第 3 世代携帯電話 FOMA を模擬した。

この実験環境において、CN から AL へ約 2Mbytes のデータを FTP により転送したときのスループットを測定し、複数経路通信において各経路の品質がスループットにどのような影響を与えるかを調べた。

4.2 遅延によるスループット変化

各経路の伝送遅延差による性能変化の確認を行った。図 7 の環境において、各経路の遅延を次のように設定し、平均スループットを測定した。「(A) 経路*1」は経路 1 のみを使用し、遅延を 200~400ms で変化させた。「(B) 経路*2 品質差なし」は経路 1, 2 の二経路を使用し、二経路とも 200~400ms で経路間の品質差が生じないように変化

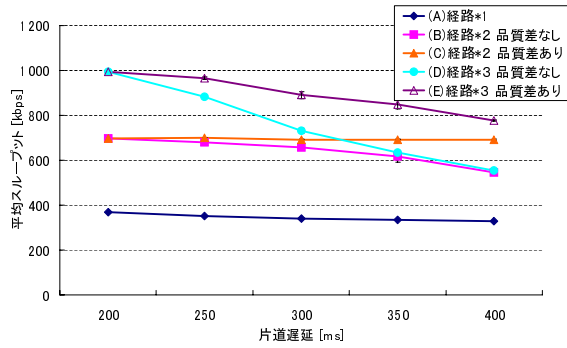


図 8 遅延差によるスループットの変化

させた。「(C) 経路*2 品質差あり」は経路 1, 2 の二経路を使用し, 経路 1 の遅延を 200ms に固定し, 経路 2 の遅延を 200~400ms で変化させた。「(D) 経路*3 品質差なし」は経路 1, 2, 3 の三経路を使用し, 三経路とも 200~400ms で経路間の品質差が生じないように変化させた。「(E) 経路*3 品質差あり」は経路 1, 2, 3 の三経路を使用し, 経路 1, 2 の遅延を 200ms に固定, 経路 3 のみ遅延を 200~400ms で変化させた。

図 8 に結果を示す「(A) 経路*1」では単一の経路のみ使用しているため, 再送タイムアウトが生じない程度の遅延時間であれば論理帯域に近いスループットが得られている。「(C) 経路*2 品質差あり」も遅延時間の増加によるスループット変化が生じていない。これは, DQ 方式により, 遅延時間を考慮した分配を行っているためであると考えられる。「(B) 経路*2 品質差なし」と「(D) 経路*3 品質差なし」は, 遅延時間が増加するとスループットが低下しており, 片道遅延が 350ms, 400ms 付近ではほぼ同じになっている。これは, TCP は遅延時間 (RTT) が増大すると TCP ウィンドウサイズにより使用可能な帯域が制限されてしまうことによるものであると考えられる。「品質差あり」では一本の経路の遅延時間が増加しても残りの経路の遅延は増大しないのに対し, 「品質差なし」では使用する経路の遅延が同じように変化するため復路の遅延も増加してしまう。TCP の通信において論理帯域を十分に使用するためには, TCP のウィンドウサイズがその論理帯域 (kbps) と遅延時間 (秒) の積に対して十分に大きいことが必要である。「(E) 経路*3 品質差あり」も同じ理由で帯域が制限されているため, 遅延が増大するとスループットが低下している。このように, 往復遅延が大きいときは, 受信端末側の TCP ウィンドウ広告の可能な最大値を引き上げるか, その遅延時間での最大スループットを計算し, 使用する経路の数を減らすことで対応できる。

今回の実験では遅延差, 各経路の遅延が増大しても, 単一の経路のみで得られるスループットを上回っている。ただし, 遅延が増大すると得られるスループットの上限が下がってしまうため, アライアンス内に複数のフローが存在する場合は, フロー毎の分配を行って各経路にフローを分配した方が全体としてのスループットが高くなること

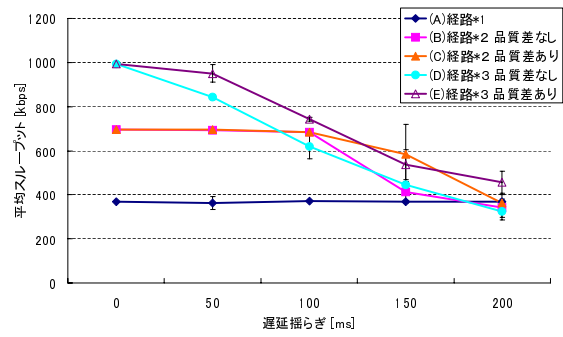


図 9 遅延揺らぎによるスループット変化

考えられる。

4.3 遅延揺らぎによるスループット変化

各経路の遅延揺らぎがスループットに与える影響を調べた。図 7 の環境において, 各経路の遅延揺らぎを以下のように設定し, 平均スループットを測定した。「(A) 経路*1」は経路 1 のみを使用し, 遅延揺らぎを $\pm 0 \sim \pm 200$ ms の一様分布で変化させた。「(B) 経路*2 品質差なし」は経路 1, 2 の二本の経路を使用し, 二経路とも遅延揺らぎ $\pm 0 \sim \pm 200$ ms で経路間に差が生じないように変化させた。「(C) 経路*2 品質差あり」は経路 1, 2 の二経路を使用し, 経路 1 の遅延揺らぎを ± 0 ms に固定し, 経路 2 の遅延揺らぎを $\pm 0 \sim \pm 200$ ms で変化させた。「(D) 経路*3 品質差なし」は経路 1, 2, 3 の三経路を使用し, 三経路とも遅延揺らぎ $\pm 0 \sim \pm 200$ ms で経路間の品質差が生じないように変化させた。「(E) 経路*3 品質差あり」は経路 1, 2, 3 の 3 経路使用し, 経路 1, 2 の遅延揺らぎを ± 0 ms に固定, 経路 3 のみ遅延揺らぎを $\pm 0 \sim \pm 200$ ms で変化させた。

図 9 に結果を示す「(A) 経路*1」の場合は遅延揺らぎが増大してもスループットに変化は見られない。これは, 単一の経路では遅延揺らぎが発生してもパケット到着順序の逆転が発生しにくいためである。「(B) 経路*2 品質差なし」, 「(C) 経路*2 品質差あり」, 「(D) 経路*3 品質差なし」, 「(E) 経路*3 品質差あり」では, 揺らぎが増加する毎にスループットは低下している。このとき「品質差あり」よりも「品質差なし」の方がややスループットが低い。これは遅延揺らぎの発生する経路が多いほどパケット到着順序の逆転が生じやすいことを表している。また, 「経路*2」と「経路*3」で得られるスループットの方が経路の数が多いほど遅延揺らぎの影響を受けやすい。

遅延揺らぎが ± 100 ms 付近では「(B) 経路*2 品質差なし」, 「(C) 経路*2 品質差あり」, 「(D) 経路*3 品質差なし」, 「(E) 経路*3 品質差あり」に大きな差が見られないため, 経路三本のパケット毎分配を行うよりも, 経路二本を使ったパケット毎の分配と, 経路一本のフロー毎に分離したほうが, 全ての経路の帯域を有効に活用した通信が実現できる。

遅延揺らぎ ± 150 ms 付近では「(E) 経路*3 品質差あり」

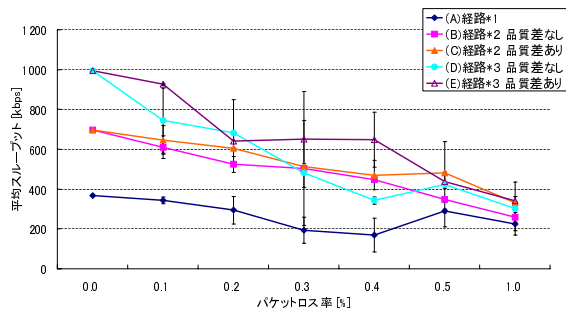


図 10 パケットロスによるスループットの変化

のスループットが「(B) 経路*2 品質差なし」, 「(C) 経路*2 品質差あり」の遅延揺らぎ $\pm 100\text{ms}$ のときまでの場合よりもスループットが低下している。この場合、複数の経路を全て利用してパケット毎の通信を行うよりも、遅延揺らぎの大きな経路のみを外し、遅延揺らぎの大きな経路ではフロー毎の通信を行った方が全体としてのスループットが高くなる。

遅延揺らぎ ± 200 付近になると経路数、品質差の有無に関わらず得られるスループットは「(A) 経路*1」と差は無い。そのため、複数経路を使用するパケット毎の分配よりも単一の経路を使用するフロー毎の分配を使用する方が良いといえる。

4.4 パケットロス率によるスループットの変化

各経路のパケットロス率による性能変化の確認を行った。図 7 の環境において、各経路のパケットロス率を次のように設定し、平均スループットを測定した。「(A) 経路*1」は経路 1 のみを使用し、パケットロス率 0.0 ~ 2.0% で変化させた。「(B) 経路*2 品質差なし」は経路 1, 2 の二経路を使用し、二経路ともパケットロス率 0.0 ~ $\pm 2.0\%$ で経路間の品質差が生じないように変化させた。「(C) 経路*2 品質差あり」は経路 1, 2 の二経路を使用し、経路 1 のパケットロス率 0.0% に固定し、経路 2 のパケットロス率を 0.0 ~ $\pm 2.0\%$ で変化させた。「(D) 経路*3 品質差なし」は経路 1, 2, 3 の三経路を使用し、三経路ともパケットロス率 0.0 ~ 2.0% で経路間の品質差が生じないように変化させた。「(E) 経路*3 品質差あり」は経路 1, 2, 3 の三経路使用し、経路 1, 2 のパケットロス率を 0.0% に固定、経路 3 のみパケットロス率を 0.0 ~ 2.0% で変化させた。

図 10 に結果を示す。パケットロス率が 0.1% 程度なら経路数が多いほど高いスループットが得られている。しかし、0.5% を超えると、経路の数、品質差の有無に関わらず急激にスループットが低下してしまう。「(C) 経路*2 品質差あり」, 「(E) 経路*3 品質差あり」のように、パケットロスのある経路が単一である場合はその経路を外したほうが高いスループットを得ることが出来る。「(B) 経路*2 品質差なし」, 「(D) 経路*3 品質差なし」のようにどの経路も同じパケットロス率ならば、パケット毎の分配で複数経路を同時に利用するよりもフロー毎の分配で各経路別々に使用の方が全体としてのスループットが得られる。

パケットロス率が小さいと、パケットロスによる影響が出る前に通信が終了してしまう場合があるため、同じパケットロス率でも得られるスループットの差が大きい。

5. まとめと今後の課題

本稿では Mobile IP SHAKE でのトラフィック分配手法を動的に切り換える仕組みについて検討した。測定用パケットを用いることで、各経路の遅延、遅延揺らぎ、パケットロス率を測定する方法を検討した。また予備実験により、遅延、遅延揺らぎ、パケットロスが経路の品質に影響を与えることを確認し経路切り替えに利用するための指標に関して検討をした。その結果、スループットに対する影響はパケットロスによる影響が大きく、パケットロス率の高い経路は使用しないか、単独で使用するのが良いことが分かった。また、パケットロスの次に遅延揺らぎの影響が大きく、パケット毎の分配で経路三本の場合遅延揺らぎ $\pm 100\text{ms}$ 程度で経路二本に切り替え、経路二本の場合は遅延揺らぎ $\pm 200\text{ms}$ 程度でフロー毎の分配に切り替えるのがよいといえる。さらに、遅延増大による帯域制限を TCP のウィンドウサイズから算出し、それに見合う経路数で分配するのがよいだろうという結論が得られた。

今後、遅延揺らぎとパケットロスが同時に発生する場合についても検討し、トラフィック分配手法の動的切り替え機能を実装、評価する。

参考文献

- 1) Hiroshi Mineno, Susumu Ishihara, Ken Ohta, Masahiro Aono, Tetsuo Ideguchi and Tadanori Mizuno, "Multiple paths protocol for a cluster type network," International Journal of Communication Systems, Vol.12, pp.391-403, Dec.1999.
- 2) 日野哲志, 湧川隆次, 植原啓介, 村井純: 計算機群における"動的なインターネット接続性"の共有に関する研究, 情報処理学会 第 10 回 マルチメディア通信と分散処理 (DPS) ワークショップ pp.69-74 (2002).
- 3) K. Koyama, Y. Ito, S. Ishihara and H. Mineno: Performance evaluation of TCP on Mobile IP SHAKE, Proc. of 1st International conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2004), pp.8-13 (2004).
- 4) 伊藤陽介, 峰野博史, 石原進: 通信回線共有方式における動的クラスタ管理に関する検討, 情報学ワークショップ 2003 (WiNF2003) 論文集, pp105-108 (2003).
- 5) 川島佑毅, 峰野博史, 石原進, 水野忠則: 複数経路通信におけるポリシーベースの分配手法切替型トラフィック制御の実装, マルチメディア・分散・協調とモバイル (DICOMO2004) シンポジウム論文集, pp571-574 (2004).
- 6) 住本順一, 間瀬憲一, 横井忠寛: インターネットの品質・トラフィック管理 [II] —IP 層の測定項目・測定手法を中心にして—, 電子情報通信学会誌 vol.82 no.12, pp.1256-1263(1999)
- 7) Dynamics HUT Mobile IP, <http://dynamics.sourceforge.net/>