

Mobile IPv6 を用いた通信回線共有方式における経路最適化の評価

舩 田 知 広[†] 大 木 一 将[†]
峰 野 博 史^{††} 石 原 進^{†††}

筆者らは、無線通信における移動端末の低速な通信を解決する手法として通信回線共有方式 SHAKE (SHARing multipath procedure for a cluster network Environment) を提案している。これは、近隣にある複数の移動端末を短距離高速リンクで一時的に接続し、各端末がもつ外部へのリンクを同時に利用することで通信速度向上を実現する方式である。SHAKE では一時的に接続された移動端末群による複数の通信経路へトラフィックを分散させる。効率よく分散させるには、それを行う場所が重要となる。本論文では、Mobile IPv6 を用いて SHAKE を実現し、トラフィック分配を Home Agent と通信相手 Correspondent Node に設置した場合の性能比較を行った結果、Mobile IPv6 SHAKE における経路最適化の有効性が確認できた。

Evaluation about route optimization of Mobile IPv6 SHAKE

TOMOHIRO MASUDA,[†] KAZUMASA OGI,[†] HIROSHI MINENO^{††}
and SUSUMU ISHIHARA^{†††}

We have proposed a system that aggregates links between multiple mobile hosts and the internet, and improves transmission speed (SHAKE: SHARing multipath procedure for a cluster network Environment). Because SHAKE is designed to disperse packets destined for one of mobile hosts in an ad hoc network to multiple links between the network and the ad hoc network, it is important to place the traffic dispersing mechanism. In this paper, evaluated the performance of SHAKE with Mobile IPv6 (Mobile IPv6 SHAKE) that disperses traffic at Correspondent node with route optimization of Mobile IPv6, comparing it with a case that the Home Agent of a mobile node disperse the traffic.

1. はじめに

現在の無線通信環境では、短距離の通信であれば無線 LAN, Bluetooth により高速な通信が可能であるが、外出先でインターネットに接続しようとする携帯電話や PHS 等の比較的低速な広域無線サービスを使用せざるを得ない状況が考えられる。いつでも、どこでも、だれにでも高速で快適なインターネット接続を維持するには遍在するネットワーク資源の効率的な利用が必要である。そこで筆者らは、無線通信における低速で信頼性の低い通信を解決する手法として通信回線共有方式 SHAKE (SHARing multipath procedure for a cluster network Environment) を提案している。SHAKE は、移動端末が近隣の端末と協調して、短距離高速リンクを用い、一時的なネットワークを構築し、ネットワーク外部のホストと通信を行う際、そのネットワーク内の移動端末がもつ外部リンクを同時に複数利用して、各リンクにトラフィックを分散させることにより通信速度、信頼性の向上を実現させる方式である。

SHAKE では、一時的に複数の移動端末で構築されたネットワークへ複数の通信経路を用いてトラフィックを分散しているため、そのトラフィックを分散させる場所が重要である。筆者らは、Mobile IP を用いた IP 層での SHAKE の実現である Mobile IPv4 SHAKE において、移動ノード (MN: Mobile Node) が通信相手 (CN: Correspondent Node) と通信を行う際、必ずホームエージェント (HA: Home Agent) を経由することを利用して、トラフィックの分散を HA で行っている。そのため、たとえ CN と MN が近くに位置していたとしても HA を経由しなければならないのでその経路は冗長となり、また HA の負荷集中といった問題を抱えている。一方、Mobile IPv6¹⁾ を用いて SHAKE を実現させた Mobile IPv6 SHAKE では、Mobile IPv6 の経路最適化機能を拡張し、CN でトラフィックの分散を行っている。これにより、HA でトラフィックの分散を行った場合の冗長な経路と HA の負荷集中の問題は解決されるが、新たに CN に対して負荷がかかるといった問題が生じる。

本稿では、Mobile IPv6 SHAKE における経路最適化の効果を検証するために行った定量的評価について述べる。

以下、第 2 章では通信回線共有方式について述べ、第 3 章では Mobile IPv6 SHAKE の通信等の基本動作について説明する。第 4 章では性能比較の評価を行い、第 5 章でまとめとする。

[†] 静岡大学大学院
Graduate School of Science and Technology, 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

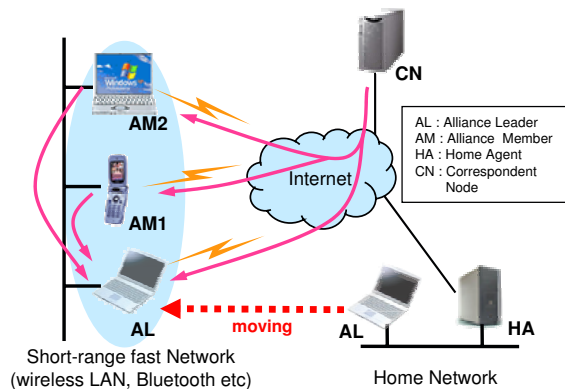


図 1 Mobile IPv6 SHAKE

2. 通信回線共有方式 SHAKE

通信回線共有方式 SHAKE では、図 1 のように、ある移動端末に近隣する複数の移動端末が無線 LAN、Bluetooth 等の短距離高速リンクを用いて一時的にネットワーク（クラスタ）を構築する。クラスタ内に存在するある端末がクラスタ外部と通信を行う際、他のクラスタ内端末の外部リンクを複数同時に用いて、各経路にトラフィックを分散させる。これにより、単一ホストのみを用いた場合よりも高速な通信が可能になる。また、クラスタ内の端末の外部リンクが使用不可能な場合でも他の端末の外部リンクを用いることにより、クラスタ外部のホストと通信を行うことが可能となる。以下、クラスタを構成する端末のうち、ある特定の通信に関わる端末群を Alliance とし、SHAKE を利用して通信を行う端末を Alliance Leader (AL)、AL のトラフィックを中継する端末を Alliance Member (AM) と呼ぶ。

SHAKE のように、エンド・エンド間の通信において、複数の通信経路を同時に利用し、スループットの向上を図る手法がいくつか提案されている。例えば、parallel TCP²⁾ では、Striped connection Manager (SM) と呼ばれる管理プロトコルが、エンド・エンド間毎に確立される経路の TCP コネクションをまとめる役割を果たしており、複数の TCP への送信量を制御し、アプリケーションデータを振り分けている。また、文献 3) では、複数のインタフェースをもつ Mobile IPv6 ノードに対し、ポリシーベースで各インタフェースにフローごとにデータを分配している。これらの手法では、単一のホスト上にあるインタフェースを同時に使用するものであり、複数のホストの協調は考慮されていない。一方、SHAKE では、近隣に存在する複数のノードと協調してネットワークを構築しており、それらのノードがもつ外部インタフェースにトラフィックを分配している。

3. Mobile IPv6 SHAKE

筆者らは、IP 層で SHAKE を実現させる手法として、先の研究で Mobile IP を用いた Mobile IPv4 SHAKE を提案し、実装、評価している⁴⁾。SHAKE を実現するにあたり、トラフィックの分散を行う場所が重要であることは前述のとおりである。Mobile IPv4 SHAKE では、複数のリンクへのパケットの分配機構を Mobile IPv4 の Home Agent (HA) に設置している。これは、Mobile Node (MN) が通信相手である Correspondent Node (CN) と通信する際、パケットは必ず HA を経由するので、CN に対して透過に SHAKE の機能を提供できるためである。しかし、MN と CN の通信パケットが必ず HA を経由するため、MN と CN 間の通信経路は最適経路にならず、HA にトラフィック分配に関する負荷がかかるといった問題が生じる。

Mobile IPv6 SHAKE⁵⁾ では、Mobile IPv6 を用いて SHAKE を実現させる。Mobile IPv6 では、CN が Mobile IPv6 対応ノードであれば、MN と CN が直接通信できる機構が用意されており、その経路は HA を介さない MN-CN 間の最適な経路となる。そこで、Mobile IPv6 SHAKE では、Mobile IPv6 を拡張してトラフィックの分配機構を CN に持たせることにより、SHAKE において経路最適化を実現し、MN と CN 間の通信経路の冗長性、および HA の負荷集中という問題を解決する。ただし、Mobile IPv6 SHAKE ではトラフィックの分配機構を CN に持たせることにより、CN に SHAKE の機能を透過的に提供することができない。さらに CN に SHAKE の機能が搭載されていない場合、SHAKE を利用することができない。また、SHAKE によるパケット分配の負荷が HA から CN に代わるだけで、SHAKE そのものの負荷の軽減には繋がらない。

本稿では、Mobile IPv6 SHAKE の特徴である経路最適化機能の有効性を定量的に評価するため、トラフィック分配機構を CN に設置した場合と、HA に設置した場合について実測に基づき、比較を行う。

3.1 Mobile IPv6 SHAKE の動作概要

以下、Mobile IPv6 SHAKE の動作概要を説明する。

CN にトラフィック分配機構を設置した場合の Mobile IPv6 SHAKE の動作概要は文献 5) で紹介しているため、その動作については概略のみ示す。トラフィック分配機構を HA に設置した場合について詳細を示す。

MN が SHAKE を利用する場合、無線 LAN 等の短距離高速リンクを用いて近隣の端末とクラスタを構築する。SHAKE を利用して通信を行う MN は AL として Alliance を構築する必要があるため、クラスタ内で共有する情報（CPU、帯域、バッテリー残量等）をもとに、通信に協力してくれる AM となる端末を探す。AL はそれらの端末に対してパケットの転送を依頼（Alliance Request を送信）し、

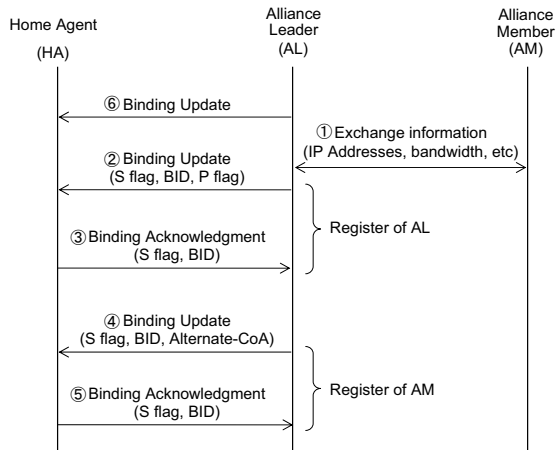


図 2 トラフィック分配機構を HA に設置した場合における，Alliance 内端末の登録手順

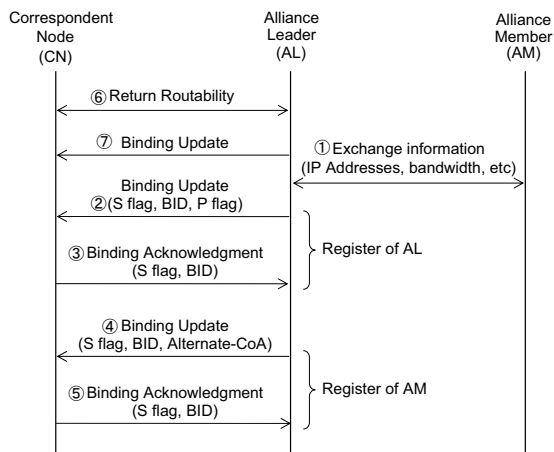


図 3 トラフィック分配機構を CN に設置した場合における，Alliance 内端末の登録手順

それに応答 (Alliance Reply を送信) した MN と Alliance を構築する。

Alliance を構築した後，AL はまず移動先で取得した Care-of Address (CoA) を自身の Home Address (HoA) に対応付けて HA あるいは CN で動作するトラフィック分配機構に登録する。この際，Mobile IPv6 における Binding Update メッセージに，SHAKE の登録であることを示す SHAKE (S) フラグをセットしたものをを用いる (図 2, 3: ②)。さらに，この Binding Update メッセージに SHAKE の登録識別子である Binding Unique Identification number (BID)⁶⁾ を示した BID sub-option を追加する。次に AL は，AM との情報交換によって得られた AM の CoA も AL の HoA に対応付けてトラフィック分配機構に登録する (図

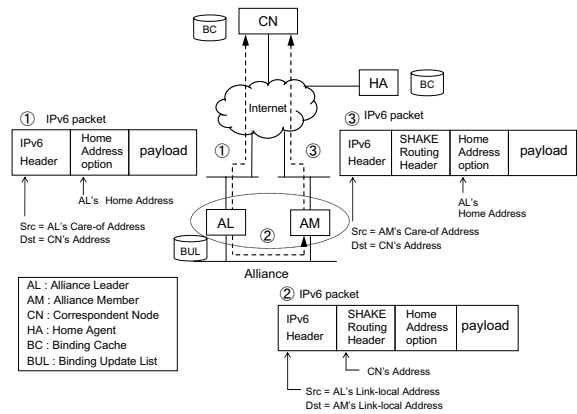


図 4 トラフィック分配機構を CN に設置した場合の Mobile IPv6 SHAKE の通信 (上り)

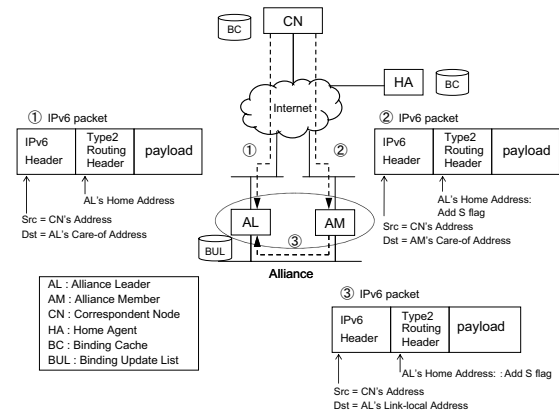


図 5 トラフィック分配機構を CN に設置した場合の Mobile IPv6 SHAKE の通信 (下り)

2, 3: ①, ④)。トラフィック分配機構では，SHAKE の登録である Binding Update に対して，S フラグをセットした Binding Acknowledgment に BID sub-option を付加して AL へ送信する (図 2, 3: ③, ⑤)。さらに，トラフィック分配機構では，AL の HoA に対応付けられた複数の CoA を拡張した Binding Cache によって保持する。そして，AL 宛にパケットを送信するときに，Binding Cache を参照し，登録されている各 CoA 宛にパケットを送る。

HA にトラフィック分配機構を設置した場合，AL は上に示した SHAKE で利用する複数の CoA の登録を行う Binding Update を HA へ送信する前に，通常の Binding Update を HA へ送信し，HA へ登録する必要がある (図 2: ⑥)。また，CN にトラフィック分配機構を設置した場合も同様にして，AL は Alliance 内の複数の CoA の登録を行う前に，CN-AL 間で Return Routability を行い，CN に対して Binding Update を送信して，CoA を登録しておく必要がある (図 3: ⑥, ⑦)。

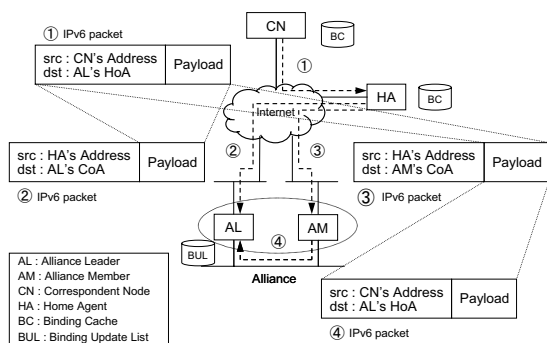


図 6 トラフィック分配機構を HA に設置した場合の Mobile IPv6 SHAKE の通信 (下り)

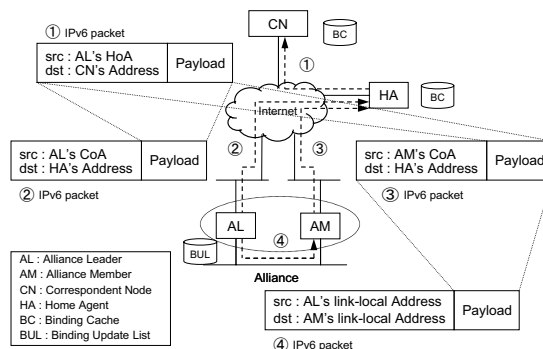


図 7 トラフィック分配機構を HA に設置した場合の Mobile IPv6 SHAKEHA の通信 (上り)

CN にトラフィック分配機構を設置する場合の通信

Mobile IPv6 SHAKE では、Mobile IPv6 の特徴である経路最適化を SHAKE に適応させるために、トラフィック分配機構を CN に搭載することを基本としている。

トラフィック分配機構である CN に Alliance 内端末の登録が済んだ後、SHAKE を利用して Alliance と CN が通信を行う場合、CN-AL 間の通信は Mobile IPv6 に従って行われる (図 5, 4: ①)。CN-AM 間通信では、CN から SHAKE を利用して配送されたパケットであることを AM が認識して AL に転送させるために、Mobile IPv6 で CN-MN 間の直接通信に用いられるタイプ 2 経路制御ヘッダに SHAKE (S) フラグを追加している (図 5: ②)。

また、AL から CN へ AM を経由して配送されるパケットには、新たに定義した SHAKE 経路制御ヘッダを付加している (図 5: ③)。詳細は文献 5) を参照されたい。

HA にトラフィック分配機構を設置する場合の通信

HA では、Mobile IPv6 と同様にして AL が通信相手 CN と通信を行う場合、AL の HoA 宛に送信されてきたパケットを監視する (図 6: ①)。トラフィック分配機構である HA では、そのパケットの送信元アドレスである AL の HoA に対して、保持している Binding Cache を参照して複数の CoA 宛にパケットをカプセル化して各経路へパケットを振り分ける (図 6: ②, ③)。AM は、HA から送られてきたパケットを SHAKE のパケットであることを確認すると、カプセル解除してクラスタリンクを介して AL へ転送する (図 6: ④)。

上り通信の場合、AL から HA 宛と AM 宛のパケットが分配される (図 7: ②, ④)。AM 宛のパケットはカプセル化されており、AM はそのパケットを受信した後、カプセル解除して HA へ転送する (図 7: ③)。

AM は Alliance を構築するとき得られた AL の情報をもとに、HA、AL から配送されるパケットをカプセル解除している。

CN にトラフィック分配機構を設置した場合、その通信

には IPv6 の拡張ヘッダが用いられ、AM の処理は簡素であるのに対し、HA にトラフィック分配機構を設置した場合、SHAKE の通信パケットはカプセル化され、AL の通信に協力してくれる AM はカプセル解除を行わなければならない、前者と比べ AM の負荷は大きいといえる。

4. 評価

4.1 実験

Mobile IPv6 SHAKE の経路最適化の効果を検証するため、トラフィック分配機構を CN と HA に設置した場合のスループットの測定を行った。トラフィック分配機構を CN に設置した場合と HA に設置した場合の両者について、FreeBSD 4.8-RELEASE⁷⁾ 上で KAME project⁸⁾ の IPv6 スタックを用いて実装を行った。

実験環境を図 8 に示す。AL と AM は同一の HA を使用しているものとする。各ノードがホームリンクを離れ、それぞれネットワーク 1, 2 へ移動した後、AL が SHAKE を用いて通信を行うため、AM と Alliance を構築した状況を想定した。ルータ 1, 2, 3, 4 で dummynet を用いてホームリンク、ネットワーク 1, 2 の帯域、遅延、パケットロス率を制御した。dummynet は IPv6 に非対応であるため、各ルータ間で IPv4 ネットワークを構築し、CN と Alliance 間通信には 6 to 4 トンネルを用いた。

CN には、Mobile IPv6 SHAKE 対応のホストと非対応のホストを用意した。AL が Mobile IPv6 SHAKE に対応した CN と通信を行う場合、トラフィック分配機構は CN となるので、その通信経路は最適化される。Mobile IPv6 SHAKE に非対応の CN と通信する場合、トラフィック分配機構は HA となり、その通信経路は HA を経由する冗長な経路となる。

以下、実験内容を示す。FTP サーバ (CN) から 5Mbytes のファイルをダウンロードしたときのスループットを 3

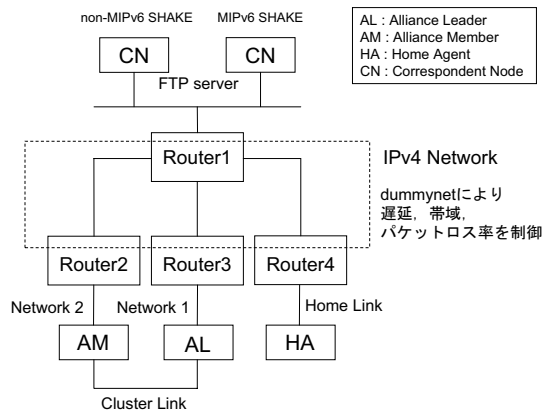


図 8 実験環境

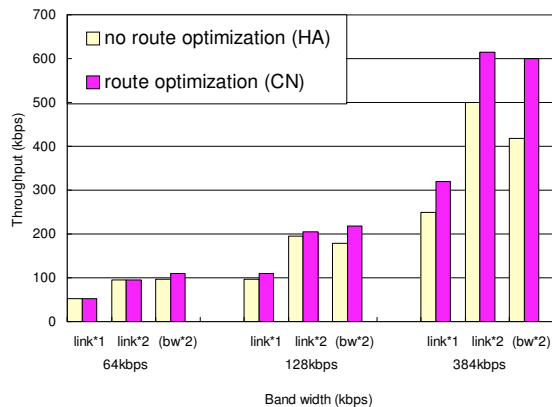


図 9 各リンクの遅延が 50ms の場合のスループット

回計測し、その平均を求めた。FTP サーバから Alliance 内端末へは 1 : 1 でトラフィック分配を行った。AL, AM の各リンクにおいて遅延, 帯域, パケットロス率は同じ設定で行う。以下の項目について測定を行った。

(1) 各帯域における遅延の影響

パケットロス率 0% において AL, AM それぞれのリンクの帯域 64kbps, 128kbps, 384kbps の場合の、遅延 50ms, 100ms, 300ms でのスループットを測定した。

(2) パケットロス率の影響によるスループット

パケットロス率 0.5%, 遅延を 100ms とし、帯域 64kbps, 128kbps, 384kbps でのスループットを計測した。

4.2 結果と考察

以下、実験結果について述べる。以下の図中で link*1 は経路 1 本のみを使用した通常の通信, link*2 は経路 2 本, すなわち SHAKE を利用した場合を示す。また (bw*2) は、

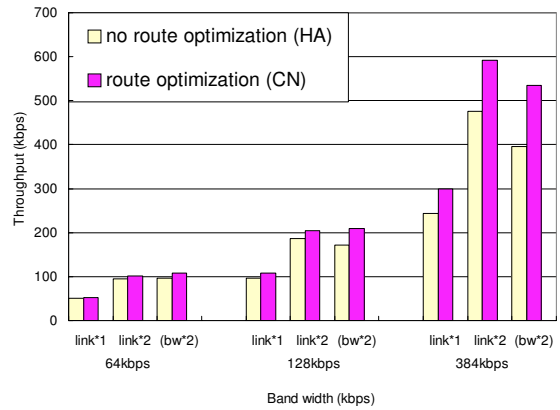


図 10 各リンクの遅延が 100ms の場合のスループット

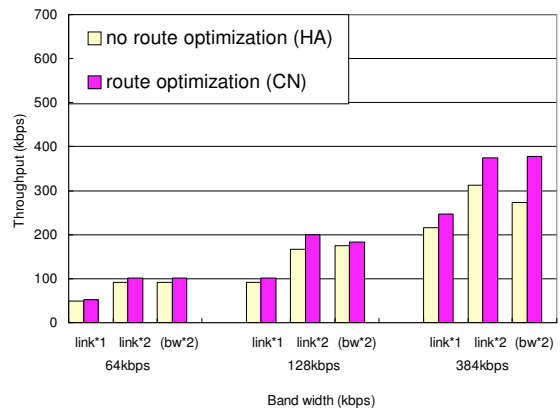


図 11 各リンクの遅延が 300ms の場合のスループット

SHAKE を使用したときの複数経路の帯域の和と同じ値の帯域を持つ経路を 1 本のみを使用し, SHAKE を利用していない場合の結果である。

(1) 遅延の影響

実験環境 (図 8) において、ルータ 1 とルータ 2, 3, 4 の間の遅延を 50ms, 100ms, 300ms に設定した場合のスループット測定結果を図 9, 10, 11 に示す。今回行った実験の内容全てにおいて、経路最適化されていない SHAKE による通信よりも、経路最適化が行われている SHAKE の通信の方が高いスループットが得られている。最適化されていない経路は HA を介した経路であり、その分の遅延が加算されるため、高いスループットがでなかったと推測できる。

HA でのトラフィック分配による通信において、SHAKE による通信のスループットは、常に SHAKE による複数経路の帯域の和と同等の帯域を持つ経路 1 本の場合のスループット以上を示し

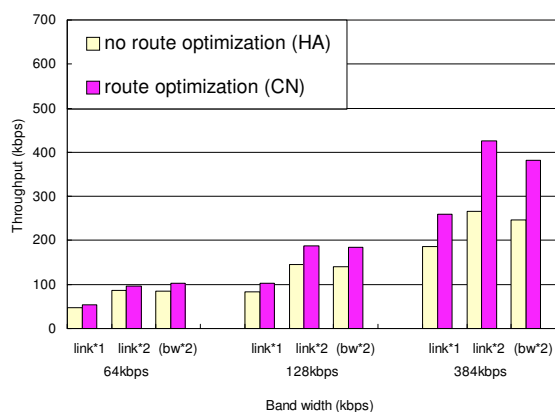


図 12 遅延 100ms, パケットロス率 0.5% の場合の各帯域でのスループット

ている。これは、合計帯域が同じ経路であっても、SHAKE による通信は、パケットを分散しているため、各リンクにかかる負荷が集中してないためであると思われる。

(2) パケットロス率の影響

図 8 の実験環境において、各リンクの遅延を 100ms、パケットロス率を 0.5% に設定した場合の各帯域におけるスループットの計測結果を図 12 に示す。リンクの遅延が 100ms、パケットロス率 0% に設定された場合の各帯域におけるスループットの測定結果 (図 10) と比較すると、帯域 384kbps で SHAKE による通信を行った結果を見ると、パケットロスがなく、HA でトラフィックを分散した場合のスループットは 476kbps であったのに対し、パケットロスが生じた場合、スループットは 265kbps となり、44% 減少している。SHAKE による通信が経路最適化された場合、パケットロスがない場合のスループットは 592kbps、パケットロスがあった場合のスループットは 426kbps であり、パケットロスによりスループットが 28% 減少した。しかしながら、HA でトラフィック分配した場合の減少率より小さい値となっている。

以上の結果より、SHAKE による通信において経路最適化を行った場合のスループットと、経路最適化を行わない、HA を介した経路でのスループットを比較すると前者のスループットの方がよく、SHAKE の経路最適化における効果が示された。

5. ま と め

本稿では、近隣にある複数の移動端末と協調してネットワークを構築し、それらの外部インタフェースを同時に用いることにより、通信速度の向上を図る通信回線共有

方式 (SHAKE) を Mobile IPv6 を用いて実現させた Mobile IPv6 SHAKE の経路最適化について評価を行った。SHAKE では、複数の通信経路にトラフィックを効率よく分散させるため、トラフィックを分散させる位置が重要となっている。Mobile IPv6 SHAKE では、そのトラフィック分散機構を通信相手である CN に搭載することにより、経路最適化を実現している。経路最適化の効果を比較するため、Mobile IPv6 SHAKE において、本来の CN でトラフィック分配を行うもの、HA でトラフィックを行うものの両者を実装し、FTP のファイル転送時のスループットを実測して比較した。実験を行った全ての内容において、SHAKE で経路最適化を実現している場合のスループットが、経路最適化を行っていない場合のスループットと比べて高く、Mobile IPv6 SHAKE の経路最適化の効果が見られた。

今回は、複数経路への帯域は同一とし、トラフィックの分配手法を 1:1 とした。しかし、実際には端末によって使用できる帯域が異なることが考えられるため、現在の分配方法は適当ではない。今後、より効率的なトラフィックの分配方式についても考慮する必要がある。

参 考 文 献

- 1) D. Johnson, C. Perkins and J. Arkko: Mobility Support in IPv6, *Request for comments 3775* (2004).
- 2) H.-Y. Hsieh, K.-H. Kim and R. Sivakumar: An End-to-End Approach for Transparent Mobility across Heterogeneous Wireless Networks, *Mobile Networks and Applications*, Vol. 9, pp. 363-378 (2004).
- 3) R. Wakikawa, K. Uehara and J. Murai: Multiple Network Interfaces Support by Policy-Based Routing on Mobile IPv6, *ICWM 2002*, pp. 391-403 (2002).
- 4) K. Koyama, Y. Ito, S. Ishihara and H. Mineno: Performance evaluation of TCP on Mobile IP SHAKE, *IPSS Journal*, Vol. 45, No. 10, pp. 2270-2278 (2004).
- 5) 舩田知広, 大木一将, 峰野博史, 石原進: Mobile IPv6 を用いた通信回線共有方式の実装, *DICOMO2004 シンポジウム論文集*, Vol.2004, No.7, pp.333-336 (2004).
- 6) R. Wakikawa, K. Uehara, T. Ernst and K. Nagami: Multiple Care-of Addresses Registration, *Internet-Drafts (draft-wakikawa-mobileip-multiplecoa-03)* (2004).
- 7) FreeBSD: <http://www.freebsd.org/>.
- 8) KAME Project: <http://www.kame.net/>.