

# 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

川島佑毅<sup>†</sup> 峰野博史<sup>††</sup> 石原進<sup>†††</sup> 水野忠則<sup>††</sup>

<sup>†</sup> 静岡大学大学院情報学研究科 <sup>††</sup> 静岡大学情報学部 <sup>†††</sup> 静岡大学工学部

## Implementation of Policy Based Traffic Control for Mobile IP SHAKE

Yuki Kawashima<sup>†</sup> Hiroshi Mineno<sup>††</sup> Susumu Ishihara<sup>†††</sup> Tadanori Mizuno<sup>††</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Information, Shizuoka University <sup>††</sup> Faculty of Information, Shizuoka University

<sup>†††</sup> Faculty of Engineering, Shizuoka University

### 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による通信が検討されている [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 では近隣の携帯端末を複数使用し、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おこなう。

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。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。Mobile IP SHAKE を用いた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。また、SHAKE による通信は複数の端末が持つ外部リンクを使用するため、他端末のリソースを消費することになる。そこで、他端末の状況を考慮したトラフィック分配を行う必要がある。

本研究では、Mobile IP SHAKE において、アライアンス参加メンバーがポリシーを設定することでユーザの嗜好を反映させた経路選択と共有資源の協調利用が可能な仕組みを検討し、その実装と評価を行う。

## 2 Mobile IP SHAKE

### 2.1 Mobile IP SHAKE 概要

Mobile IP SHAKE の概要を以下に示す。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 宛で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 間の通信において必ず HA を通過す

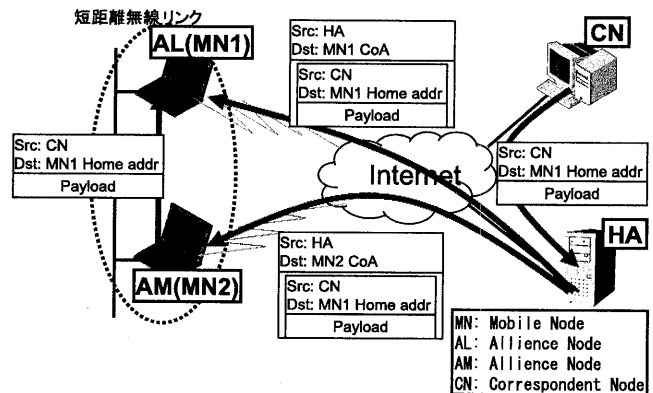


図 1: Mobile IP SHAKE 動作概要

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 を実現させる。この手法を Mobile IP SHAKE と呼ぶ。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組み込む必要がなく、また分配ホストの存在を知ることもなく、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 (CoA1) 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 CoA2 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ー (Alliance Member: AM) と呼ぶ。また、HA と AL は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。各端末は CPU 処理能力、論理帯域、パケットコストと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 と AL→HA→CN という経路でトラフィックを分散させる。

### 2.2 ポリシーによるトラフィック制御の必要性

これまで開発された Mobile IP SHAKE では、単一のフローも、複数のフローも全てのトラフィックをパケット毎に複数の経路へ分散させている。この方式では、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、帯域幅、遅延、ロス率、遅延揺らぎと

いった経路間の品質差が大きくなるとアウトオブオーダーで到着するパケットが頻発し、TCPの輻輳制御によりスループットが向上しなくなる。また、複数のフローを同時に扱う場合は、パケット毎よりもフロー毎にトラフィック分配させるほうが、それぞれのフローで経路を占有できるため効率がよいと考えられる。このため、どのような時に、パケットベースとフローベースのどちらの分配手法を選択するかを設定できるとよい。加えて、実際の通信では、トラフィックの種類やユーザによって求める通信品質、通信コストが異なるため、ALとなるユーザの嗜好をトラフィック分配に反映させる仕組みが望まれる。

また、ライアンスに参加し中継通信を行うAMは中継通信を承諾したとはいえ、中継のために通信帯域を圧迫され転送処理にリソースを消費する。AMは中継する通信量が多くなると自分自身のスループットが低下するだけでなく、負荷が増加しAM自身の処理に影響が出てしまう。そのためAMが中継に貸し出す帯域の割合、現在の通信状況、端末負荷状況をトラフィック分配機構に通知し、送信経路の選択指標として利用してもらう協調制御も望まれる。

### 3 ポリシーによるトラフィック制御

#### 3.1 ALポリシーとAMポリシー

2章で述べたポリシーによるトラフィック制御を実現するために、ライアンスを構成する各端末は、SHAKE利用に関するポリシーを設定する。ポリシーにはALポリシーとAMポリシーの2つを設定する。ALポリシーは、ALとしてSHAKEを使用した通信を行う際のトラフィック分配に関して設定し、AMポリシーは、AMとして中継のための帯域貸し出しに関して設定する。設定したALポリシーをAL自身とHAに登録することで、上り下り両方向のトラフィックに対してALポリシーに応じたトラフィック制御が可能になる。AMは通信状況、端末負荷状況からAMポリシーによって端末状態を決定し、トラフィック分配機構に伝達する。HAは各AMの端末状態とTerminal Profileを参照し、ALポリシーで設定されたユーザの嗜好を満たす経路を選択する。これら2つのポリシーを設定することで、ユーザの嗜好を反映させた経路選択と共有資源の協調利用が可能になる。以下にALポリシーとAMポリシーの詳細を述べる。

#### 3.2 ALポリシー

**ポリシーの記述方法** ALポリシーは、ユーザの通信に対する嗜好をトラフィック分配機構へ反映させるために、通信の相手、内容、経過時間に応じた分配方法を記述したものである。ここで、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ルールと呼ぶこととする。

各端末はALポリシーをSHAKEでの通信を開始する前に設定ファイルに記述しておく。通信の途中でもポリシーの記述を変えれば一定周期で実行される監視処理によって動的にトラフィック分配機構へ反映される。

図2に示す様に、ALポリシーは、CNからALへの下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についてルールの記述が可能である。ルールを記述する際の形式は、CNのIPアドレス、使用プロトコル、ポートにより適応条件を指定し、Methodという項目で条件に一致したときの分配方法を指定する。これらの分配方法として記述可能な方法については次節で述べる。また、そのフローの分配を開始してからの指定経過時間後に繁栄させる分配方法も指定できる。ポリシーは上から順に読み込んでいくため、適応条件に重複するものがあつた場合は、記述順の早い方が適応される。トラフィック分配機構はフローを一定期間受信しなければ、そのフローは終了したと判断する。

ALで設定したポリシーはトラフィック分配時に参照される。Uplinkポリシーについては上りトラフィックの分配を行うAL自身が参照する。Downlinkポリシーについては、HAが参照するため、ALがHAにCoAを登録した後にDownlinkポリシーを登録する。

**トラフィック分配方法** トラフィック分配方法(Method)として設定可能なものには、パケット毎に分配する方法とフロー毎に分配する方法の2種類ある。

#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2: ポリシーの設定例

パケット毎に分配する方法では、ルールのMethod項目にPacketを指定する。これは、フローの数、種類に関わらず受信したパケット毎に経路を分散させるため、単一フローでも複数経路による通信が可能である。HAからAL、AMまでの各経路を待ち行列とみなし、各経路の仮想的な待ち行列の長さ、論理帯域幅、現在送信中のパケットが送信された時刻、現在時刻、パケットサイズから各経路の送信キュー待ち時間を算出する。その待ち時間と各経路の伝送遅延時間の合計時間が最短となる経路へ送信する[3]。

フロー毎に経路を分散させる方法では、「Bandwidth」、「Cost」、「Own」、「All」のどれかを指定する。以下にフロー毎の分配における各分配方法の特徴をまとめる。

- Bandwidth(帯域重視)
  - 使用可能な帯域の大きな経路を選択する。経路の遅延揺らぎが大きく、複数のフローを同時に転送する場合に設定すべき。
- Cost(コスト重視)
  - 使用可能な経路の中でパケットコストの一番小さな経路を選択する。通信速度よりも通信コストを抑えたい場合に設定すべき。
- Own(自経路のみ)
  - AL自身の外部リンクのみを使用する。セキュリティを考慮し他の端末を経由させたくない場合に設定すべき。
- All(全経路使用)
  - Mobile IPのオプション同時バインディングのように全ての使用可能な経路にフローで送信する。データグラムに冗長性を持たせる。通信に対する信頼性を向上させたい場合に設定すべき。

図2のポリシー設定例における、Downlinkポリシーの一行目のルールは、「ホスト192.168.25.110からのPOP通信(TCP, S-Port:110)の受信は、最初は自分の外部リンクだけを使用するが、10秒経過してもフローが終了しないならパケットベースの分配を行う」というポリシーを表している。

#### 3.3 AMポリシー

**中継通信のポリシー設定** AMポリシーは、共有資源を協調利用するため、AMが中継可能帯域幅、同時中継最大数、中継中断の閾値などを設定したものである。各端末はAMポリシーをSHAKEでの通信を開始する前に、「中継帯域幅」、「トラフィック優先順位」、「中継許可トラフィック」、「同時中継最大数」、「負荷状況の閾値」について設定しておく。以下でその概要を記す。このポリシーは通信の途中でもポリシーの記述を変え再度、読み込みをさせれば設定は更新される。

- 中継帯域幅
  - 中継通信に割当てる帯域幅をkbps単位で指定する。中継通信に対する帯域幅を制限し、AM自身の通信を優先的に行う。
- トラフィック優先順位
  - トラフィックの処理に優先順位をつける。同時に複数のパケットの処理が発生した場合は優先度の高いトラフィックの処理が優先される。優先順位は1~8の8段階で設定し、数字が高いほど優先される。

表 1: 端末状態決定

通信状況 \ 負荷状況	小	中	大	大 (バッテリー残量)
無通信状態	Free	Mix	Busy	Down
中継通信状態	Relay	Mix	Busy	Down
自・中継通信混合	Mix	Mix	Busy	Down

表 2: 状態

状態	中継の可否	経路選択優先度
Free	○	高
Relay	○	中
Mix	○	低
Busy	×	—
Down	×	—

■中継許可トラフィック

中継端末は HA からどのようなトラフィックが送られてくるかわからないため、あらかじめ中継可能なトラフィックと中継を禁止するトラフィックを指定する。トラフィックの種類はプロトコルとソースポートの組によって指定する。

■同時中継最大数

多数の中継通信に協力すると AM 通信帯域が狭くなるため、同時に中継可能なフローの数を指定する。

■負荷状況の閾値

中継処理による AM 自身の処理低下を防ぐため、負荷状況で観測している CPU 使用率、メモリ使用率、バッテリー残量の項目について中継不可能状態 (Busy) に移行する閾値をパーセンテージで設定する。観測結果の値が閾値以上ならば負荷「大」、閾値の 5 分の 1 未満の値を負荷「小」、それ以外の値を負荷「中」とする。

**端末状態の観測と通知** AM は自分自身の通信状況と負荷状況を一定間隔 (5 秒) で観測をすることで自分の端末状態を決定する。通信状況とは、無通信状態、中継通信状態、自通信・中継通信混合であるかである。負荷状況とは、CPU 使用率、メモリ使用率、バッテリー残量に関して前述した閾値によって「大」、「中」、「小」になる。

これら通信状況、負荷状況を利用し表 1 に示される、「Free」、「Relay」、「Mix」、「Busy」、「Down」の端末状態を 5 段階に分類する。

AM は観測結果から自分の端末状態を決定し、トラフィック分配を行う HA と AL に対して状態を通知する。この時 HA と直接コネクションを張ると、HA と AM 間の帯域を消費してしまう。また、HA と AL の両方に送信するのは効率が悪い。そこで、AM は端末状態を AL のみに通知し、AL が HA に全ての AM の状態を通知する。また、AL と HA 間のトラフィック削減のため、AL が HA に状態を通知するのは AM の状態に変化があったときのみとする。なお、この AM の状態通知は AM がアライアンス内に存在していることの確認にも用いられ、状態通知が一定期間 AL で受信されないと AM がアライアンスから脱退したとみなし HA に登録解除要求を出す。

### 3.4 ポリシーによる経路選択

トラフィック分配機構は SHAKE による通信のトラフィックを受信すると、登録されたポリシーの中から一致するルールを検索する。一致するルールが見つければ Method に従い、各 AM の基本情報である Terminal Profile と伝達された端末状態を参照し送信経路を決定する。ポリシーの中に一致するルールが存在しなければ、デフォルトの分配方法としてパケットベースでの分配を行う。トラフィック分配機構が送信経路として選択できる経路は表 2 で示すように、AM の端末状態が「Free」、「Relay」、「Mix」の経路である。

Method に Packet を指定した場合は、中継可能な端末の経路を全て利用しパケットベースでトラフィックを分配する。Own、All を指定した場合は、指定された経路にフローを送信する。Bandwidth を指定した場合は、中継帯域幅の大きな経路に送信する。しかし、中継帯域幅が大きくても、送信するフローが多くなるとフローあたりの帯域は狭くなる。そこで、中継帯域幅を経路を流れるフロー数で割ったものを中継可能帯域として算出する。算出された帯域が一番大きな経路を選択する。Cost を選択した場合は、Terminal Profile でパケットコストの小さな

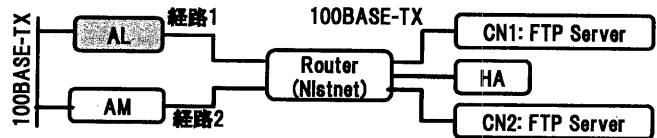


図 3: 実験環境

表 3: 設定した AL ポリシー

	通信相手	Proto:Port	Method	Time:Method
実験 1	CN1	TCP:20	Own	30:Packet
実験 3	CN1	TCP:any	Bandwidth	—
	CN2	TCP:any	Bandwidth	—

表 4: 設定した AM ポリシー

項目	設定値
中継帯域幅	128kbps
中継許可トラフィック	TCP:21, 20(FTP)
負荷状況の閾値 (CPU)	80%

経路に送信する。また、同じコストの経路が複数あった場合には、送信可能帯域幅の大きな経路に送信する。

## 4 実装と評価

### 4.1 実験環境

ヘルシンキ工科大学の Dynamics[5] をベースに開発された Mobile IP SHAKE を拡張することで、ポリシーベースでのトラフィック制御を行うトラフィック分配機構を実装した。また、SCCM を拡張し、AM 自身の状態を観測し定期的に AL へ報告する機構も実装した。なお、本実装では、基本動作を確認するために下りトラフィックへの適用のみ実装している。

実験環境として、図 3 に示すように端末 2 台によるアライアンスを含む実験用の有線ネットワークを構築し、AL と AM において拡張した SCCM を動作させ、HA において拡張したトラフィック分配機構を動作させている。また、Router でネットワークエミュレータ NISTNet を動作させることで HA と各アライアンス内端末間の経路の帯域を下り 384kbps、上り 64kbps、遅延片道 200ms として無線環境に近い状態に制御した。この実験環境において、本稿で提唱するポリシーを記述することでユーザの設定通りにトラフィック制御が行われていることを確認する。また、複数フローを扱う場合にパケットベースでの分配とフローベースでの分配の性能比較を行い、フローベースの分配の有効性を示す。

### 4.2 AL ポリシーの反映確認 (実験 1)

AL ポリシー反映の確認を行った。表 3 に示すポリシー「CN1 からの FTP データは自分の経路のみ使用し、30 秒たってもフローが終了しなければパケットベースに切替える」を設定し、CN1 から AL に 5Mbytes のデータを FTP (Active モード) で転送したときの AL で受信する FTP データのスループットの変化を測定した。

図 4 に結果を示す。最初は Method が Own に設定されているため、AL は自分の外部リンクのみを使用し、スループットは回線 1 本分しか出ていない。通信経過時間が 30 秒以上になると Method が Packet に変わるためパケットベースで分配し、2 回線分のスループットが得られている。このことより、設定した AL ポリシーが反映されていることが確認できる。この結果から、AL ポリシーを設定することで、ユーザの設定を反映させられたことが示された。

### 4.3 AM ポリシーの動作確認 (実験 2)

AM ポリシー反映の確認と AM の状態変化における経路切替の動作確認を行った。表 4 に示す AM ポリシーを設定し、CN1 から AL に 10Mbytes のデータを FTP (Active モード) で転送した。中継通信の途中で AM の CPU 使用率を増加させ端末状態を「Busy」に変化させたと

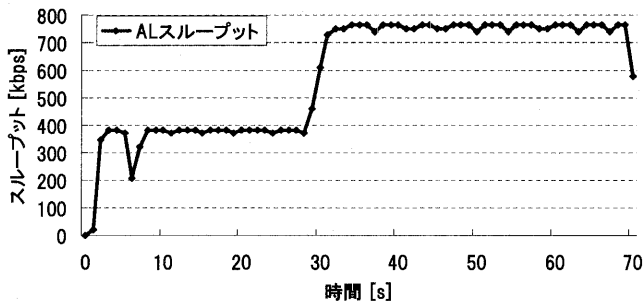


図 4: AL ポリシーによる経路選択

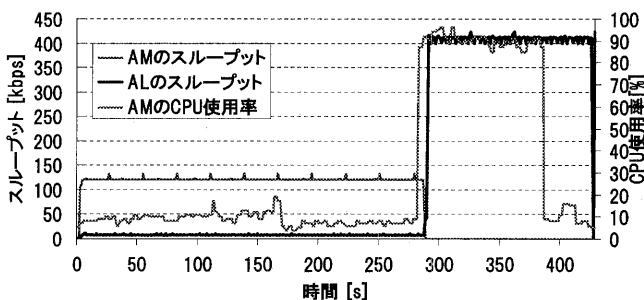


図 5: AM 状態の変化による経路変化

きの, AL と AM の外部リンクのスループットを計測することで, AM ポリシーの動作確認を行った.

図 5 に結果を示す. 最初, AM は CN から送られてきた FTP データを中継通信している. このとき, AM は AM ポリシーの設定通り 128kbps に中継用の帯域を制限していることがわかる. このことから, HA が中継ポリシーを反映して中継用の帯域を制御していることが確認できる. また, CPU 使用率が 80% を超えたとき, AM へのトラフィックがなくなり, AL へのトラフィックが増加している. このことから, AM ポリシーで設定した閾値を超え”Busy”状態となったことで, HA は AM への中継トラフィックの送信をやめ, 新たに AL の経路に切り替えたことが確認できる. AM ポリシーを設定することで, AM がアライアンスに参加することによる一方的なりソース消費を防ぐことが示された. ここで, 端末状態が「Busy」になってから経路が切り替わるまでにタイムラグが生じているが, これは状態観測の周期が 5 秒であることと HA に伝達される時間のためである.

#### 4.4 分配方式によるスループット比較 (実験 3)

パケットベースとフローベースの分配の性能比較を行った. 図 3 の環境において Router と AL, AM 間の経路 1, 経路 2 の遅延揺らぎを  $\pm 0\text{ms}$  から  $\pm 200\text{ms}$  の一様分布で変化させ, CN1 と CN2 から AL へほぼ同時に同じ 3Mbytes のデータを FTP で転送したときの合計平均スループットをパケットベースでの分配, フローベースでの分配について測定した.

図 6 に結果を示す. 遅延揺らぎが増加すると, パケットベースでもフローベースでも合計平均スループットは低下するが, フローベースの方が若干スループットが高い. その理由は, フローベースでの分配では順序通りにパケットが到着しているのに対し, パケットベースでの分配は到着順にばらつきが生じるからである. 図 7 に遅延揺らぎ  $\pm 200\text{ms}$  の時のある期間に AL へ到着したパケットのシーケンスナンバーを示す. このように, パケット毎に経路を変えて送信するパケットベースでは, 揺らぎによる到着順のばらつきが生じ易い.

パケットベースでの分配では, アウトオブオーダー到着パケットの頻発により TCP の輻輳制御が働き, パケットの送信量が制限され各フローの最大スループットは頭打ちになって帯域を活用しきれないが [3], 図 6 では, 2 つのフローの合計で表現しているため, 全帯域を使用できている. 遅延揺らぎが大きくフロー数が少ない場合, パケットベースの分配では帯域を有効利用できないが, フロー数が増えたとほぼ全帯域を使用した通信が可能になる. 一方フローベースでの分配は, 多少遅延揺ら

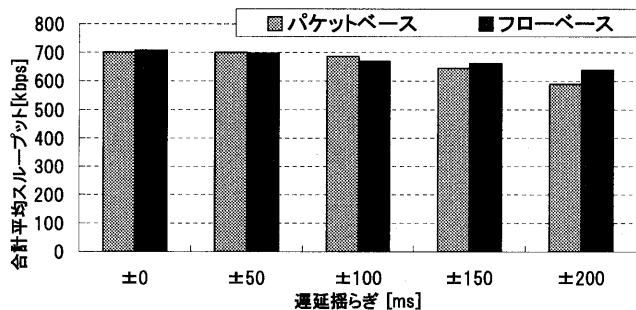


図 6: フローベースとパケットベースのスループット

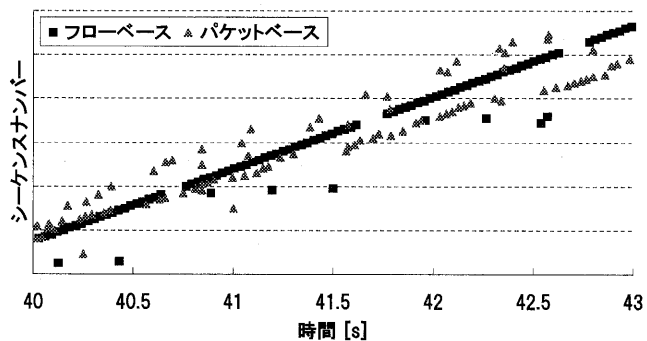


図 7: 遅延揺らぎ  $\pm 200\text{ms}$  のときのパケット到着順

ぎがあっても, アウトオブオーダー到着パケットが起こりにくいため, 全帯域を使用した通信が可能である. ただし, 1 つのフローに対しては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. そこで, 遅延揺らぎを測定し, パケットベースで複数経路を使用したときに得られるスループットとフローベースで単一経路を使用したときに得られるスループットを解析的に求め, より大きなスループットを得られる方式を動的に選択する仕組みを組み込むことも考えられる.

## 5 まとめと今後の課題

Mobile IP SHAKE での通信をポリシーにより制御する仕組みを検討し実験によって評価を行った. AL ポリシー, AM ポリシーによりトラフィック制御が可能なることを確認した. また, パケットベースとフローベースの分配のスループットを比較し, フローベースの分配のほうが遅延揺らぎに対して安定した通信が可能であることを確認した.

今後, 上りトラフィックへ対応するために今回実装したトラフィック分配機構を AM に実装し性能を評価する. また, 複数経路の品質変化に対応しフローベースからパケットベース, パケットベースからフローベースへ動的にトラフィック制御を行う仕組みについて検討を進め実装評価を行う.

## 参考文献

- [1] H. Mineno, L. Junshu, K. Ohta, M. Aono, T. Ideguchi and T. Mizuno, "Multiple Paths Protocol for a Cluster Type Network," 18th IEEE International Performance, Computing, and Communications Conference (IPCCC'99), pp.150-156 (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, pp.105-108 (2003).
- [5] Dynamics HUT Mobile IP, <http://dynamics.sourceforge.net/>

## マルコフモデルを用いた Mobile Ethernet の性能解析について

青山哲也<sup>†</sup> 萬代雅希<sup>†</sup> 黒田正博<sup>‡</sup> 渡辺尚<sup>†</sup>  
<sup>†</sup>静岡大学大学院情報学研究科 <sup>‡</sup>情報通信研究機構

### Performance Evaluation of Mobile Ethernet using Markovian Model

Tetsuya AOYAMA<sup>†</sup> Masaki BANDAI<sup>†</sup> Masahiro KURODA<sup>‡</sup> Takashi WATANABE<sup>†</sup>  
<sup>†</sup> Graduate School of Information, Shizuoka University  
<sup>‡</sup> National Institute of Information and Communications Technology

#### 1 はじめに

近年、IMT-2000 や IEEE 802.11 などの多種多様な無線システムが浸透し始めている [1]。これに伴い、これらの異種無線システムを IP の技術によって統合する All IP ネットワークの検討が盛んに行われ、ネットワーク構成や共通なインタフェースの構築に注目が集まっている。端末を MAC アドレスで識別し、異種無線システムを MAC レイヤの技術で統合することによって、IP アドレスの変化に依存しないモビリティネットワークを提供する Mobile Ethernet もその一つである [2]。従来、端末の移動を制御するために、IP アドレスで端末を識別する Mobile IPv6 (MIPv6) [3]、MPLS ラベルを端末の移動に応じて設定する方式 (以降、MPLS 方式と呼ぶ) [4] や、VLAN タグによって L2 トンネルを構築する方式 (以降、VLAN タグ方式と呼ぶ) [5] が提案されている。これらのモビリティ管理機構では、(1) ハンドオーバー時の位置登録シグナリング、(2) IPv6 近隣探索やルータ探索、(3) カプセル化のためのオーバーヘッドが通信の途切れや遅延を引き起こす。

本稿では、ハンドオーバー時の位置登録シグナリングについてマルコフモデルを用いて、MIPv6、MPLS 方式、VLAN タグ方式、および Mobile Ethernet の各方式の性能を解析する。解析結果より、Mobile Ethernet は他の三つの従来方式と比較して、低遅延かつスケーラビリティがあることを示す。

#### 2 関連研究

本章では、MIPv6、MPLS 方式、VLAN タグ方式、および Mobile Ethernet の特徴と課題について述べる。

##### 2.1 Mobile IPv6

MIPv6 では、移動端末 (MN) は、移動先のネットワークから CoA (Care of Address) を取得し、HA (Home Agent) に自端末の位置を登録する。HA は、MN まで IP トンネルを構築することによって MN の移動を管理する。また、ルート最適化やハンドオーバーの高速化、階層化による制御信号量の削減などの各種改良が提案されている。ルート最適化を行うためには、通信相手がこの機能を有していなければならない。また MN の位置が変わるたびに相手端末との間でバインディング情報の更新や、バインディング情報交換時の正当性保証のための往復経路確認が発生するため、シグナリング負荷が増大する。MN は Home Address で識別されるが、実際に通信するために使用する IP アドレスは移動先のネットワークから取得する CoA である。そのため、CoA を取得し、設定する第三層の処理が MN に対して発生する。

##### 2.2 MPLS ラベルを用いた方式

MIPv6 において端末に要求される各処理を解消するために、MPLS 方式では Label Edge Router (LER) が MPLS ラベルを端末の移動にあわせて設定し、アクセス網内の経路制御を行う。MPLS 方式では LEMA (Label Edge Mobility Agent) と呼ばれる拡張 LER を導入し、アクセスネットワーク内を階層化する。MN がハンドオーバー要求を移動先の Access Router (AR) に対して行くと、その AR は移動前の AR と上位の LEMA に対してパス変更を要求し、移動前の AR に流れたパケットを LEMA を経由して移動先の AR および MN へ転送する。また、MPLS の QoS 制御機構が利用可能であるという利点を有する。しかし、カプセル化によるオーバーヘッドが発生し、LEMA の配置方法によっては冗長なパスが生成されたりボトルネックとなるルータが発生する。

##### 2.3 VLAN タグを用いた方式

VLAN タグ方式では、アクセスネットワークは、転送プレーンと制御プレーンで構成される。転送プレーンは、ユーザデータの転送に用いられる。また、制御プレーンは、網の管理や設定を行い、転送プレーンのラベルパスを制御するために用いられる。制御プレーンには Path Manager (PM) を設置し、PM はアクセス網を一元的に管理、制御する。MN がハンドオーバー時に移動先の Access Point (AP) に位置登録要求を行うと、その AP は PM へラベル割り当ての要求と、移動前の AP へ不要ラベルの削除を行う。また、IEEE802.1q 優先制御が利用可能であるという利点を有する。しかし、PM はアクセスネットワークに対して一つのため、MN の移動が激しくなると、PM の負荷が急激に増大する。また、PM に障害が発生すると、網内すべての通信に影響を及ぼす可能性がある。

##### 2.4 Mobile Ethernet

Mobile Ethernet は、広域 Ethernet をベースとしてモビリティ機能を付与し、スケーラブルかつ異種無線システム間的高速なハンドオーバーを提供する。Mobile Ethernet の構成を図 1 に示す。Mobile Ethernet は IP レイヤの観点から見ると全体が単一の IP サブネットに見えるが、モビリティ管理における制御トラフィックを局所化するために、セグメントと呼ぶ移動管理エリアを定義する。各セグメントはそれぞれ独立に管理され、セグメント内はツリー型やリング型などの様々な形態で構成される。セグメント間は MAC in MAC を用いた MAC キャッシュ更新プロトコルにより、階層的なレイヤ 2 移動管理機構を実現する。また、ネットワーク主導のハ