Vol.2009-MBL-51 No.1
Vol.2009-ITS-39 No.1
2009/11/5

車載 Mobile Router を用いた通信回線共有方式の上り通信の実装と評価

谷本　慧[†1]　石原　進[†2]

筆者らは，近接する車両に搭載された Network Mobility (NEMO) の Mobile Router (MR) 間で一時的なネットワーク (Alliance) を構築し，Alliance 内の各 MR が持つインターネットへのリンク (外部リンク) を同時に利用して通信速度および接続の安定性の向上を実現する NEMO SHAKE (SHAring multipath procedure for a cluster networK Environment) を提案している．これまで，筆者らは，実車両を用いて NEMO SHAKE の性能評価を行い，インターネット側から車載ネットワークへの通信 (下り通信) においてスループットの向上を確認した．本論文では，車載ネットワーク側からインターネットへの通信 (上り通信) の実装を行い，実環境において上り通信の性能評価を行った結果を示す．実環境でのスループットの測定の結果，複数経路通信を行うことにより，スループットの向上を確認した．

Implementation and performance evaluation of uplink communication for NEMO-based path aggregation using mobile routers on multiple vehicles

Kei Tanimoto[†1] and Susumu Ishihara[†2]

We have proposed a link aggregation system, called NEMO SHAKE, constructs a temporal network between multiple mobile routers (MRs) of Network Mobility (NEMO) carried by vehicles and aggregates external links between multiple MRs and the Internet to provide fast and reliable transmission with mobile devices in vehicles carrying MRs. We have ever evaluated the efficiency of NEMO SHAKE in real vehicular networks and confirmed an increase of the throughput on the communication from the Internet to the vehicular network (called downlink). This paper describes the implementation and performance evaluation on the communication from the vehicular network to the Internet (called uplink). As a result of the measurement of the throughput, we confirmed the increase of the throughput by the multiple path communication.

1. はじめに

近年，無線通信技術の発達，携帯移動端末 (携帯電話，ノート PC，PDA など) の普及に伴い，外出先，電車や自動車等，時間や場所に関係なくユーザが利用したいときにインターネットに接続できる環境が整えられてきた．また，移動端末は，複数のネットワークインタフェースを搭載したものが一般化しており，これらの中からユーザは利用状況に応じて通信メディアを使い分けることができる．そこで筆者らは，複数のネットワークインタフェースを有効に活用し，複数の移動端末が持つインターネットへの経路を同時に利用して帯域を増大する手法：通信回線共有方式 SHAKE (SHAring multipath procedure for a cluster networK Environment) を提案している[1)]．SHAKE は，短距離高速リンクで接続された複数の移動端末が一時的な同盟 (Alliance) を構築し，Alliance 内の端末がインターネット上の相手と通信するときに，Alliance 内の複数の移動端末がそれぞれもつインターネットへのリンク (外部リンク) にトラフィックを分散させることにより，通信速度および接続の安定性の向上を実現する．

また，道路交通の安全性，車両内での快適性の向上などを目的とした高度道路交通システム (Intelligent Transport Systems： ITS) の研究開発が進められている． ITS のサービス (渋滞や事故などの交通情報，IP 電話，ビデオストリーミングなど) を利用するには，車両とインターネット間の通信速度および接続の安定性の向上が重要となる．そこで筆者らは，SHAKE を実現する一手法として，車両に搭載された Network Mobility (NEMO)[2)] の Mobile Router (MR) で Alliance を構築し，複数の通信経路を同時に利用することで車載ネットワークとインターネット間の通信速度および接続の安定性の向上を図る NEMO SHAKE を提案している[3)]．さらに筆者らは，実環境において NEMO SHAKE を利用する際に安定したリンクを維持し，高いスループットを実現することを目的とした動的 Alliance 管理機構を提案している[4)]．この機構では，MR の位置情報，Alliance を構成する MR 間の通信状況を考慮して，Alliance の構築，解消を行う．これまで筆者らは，実車両を用いて NEMO SHAKE の性能評価を行ってきた．実車両実験の結果，動的 Alliance 管理機構により単一経路と複数経路の通信の移行が行われ，複数経路通信を行うことによりインターネッ

†1 静岡大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Shizuoka University
†2 静岡大学創造科学技術大学院
Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

© 2009 Information Processing Society of Japan

Vol.2009-MBL-51 No.1
Vol.2009-ITS-39 No.1
2009/11/5

ト側から車載ネットワークへの通信 (下り通信) においてスループットの向上を確認した[5].

本稿では，車載ネットワーク側からインターネットへの通信 (上り通信) の実装を行い，実環境において上り通信の性能評価を行った結果を示す．以下，第 2 章では NEMO SHAKE の概要および動的 Alliance 管理機構について述べる．第 3 章では，上り通信の実装および実環境における性能評価の結果を示す．第 4 章では関連研究を紹介し，第 5 章でまとめとする．

2. NEMO SHAKE

2.1 Network Mobility (NEMO)

NEMO は，車両などの移動ネットワークが移動して MR の IP アドレスが変わる場合においても，移動ネットワーク内の端末（MNN：Mobile Network Node）が同一の IP アドレスを用いてインターネット上の相手 （CN：Correspondent Node）との接続を保証する機構である．MNN にインターネット接続を提供する MR は，上位ルータが広告しているプレフィックス情報の変化から自身の移動を検知するとともに移動先で利用する IP アドレス（CoA：Care of Address）を生成する．MR は，移動を検知すると，CoA と MR が通信時に永続的に利用する IP アドレス（HoA：Home Address）を対応付け，移動ネットワーク内のプレフィックス（MNP：Mobile Network Prefix）とともに Home Agent （HA）に対して通知する．この通知に用いられるメッセージを Binding Update と呼ぶ．HA では，ルーティングテーブルに MNP の転送先アドレスとして HoA を設定し，HoA と CoA の対応付けを Binding Cache で管理する．登録が完了すると，HA は MR に応答メッセージとして Binding Ack を送信する．MR と HA は，双方向トンネルを MR と HA の間に確立し，双方向トンネルは MNN と CN 間の通信に用いられる．それゆえ，MNN は常に同一の IP アドレスを用いて通信を行うことができる．

2.2 通信回線共有方式 SHAKE

通信回線共有方式 SHAKE では，近接する複数の移動端末が無線 LAN などの短距離高速リンクを用いて一時的なネットワークを構築する．このネットワーク内で移動端末は他の移動端末と同盟 (Alliance) を作る．Allinace 内の端末が CN と通信を行う場合，各端末が持つ外部リンクを同時に利用し，トラフィックを分配する．これにより，各端末が利用可能な帯域を増大し，通信の高速化を図る．また，Alliance 内の端末は自身の外部リンクが利用できない場合でも，Alliance 内の他の端末の外部リンクを利用することで通信を継続できる．

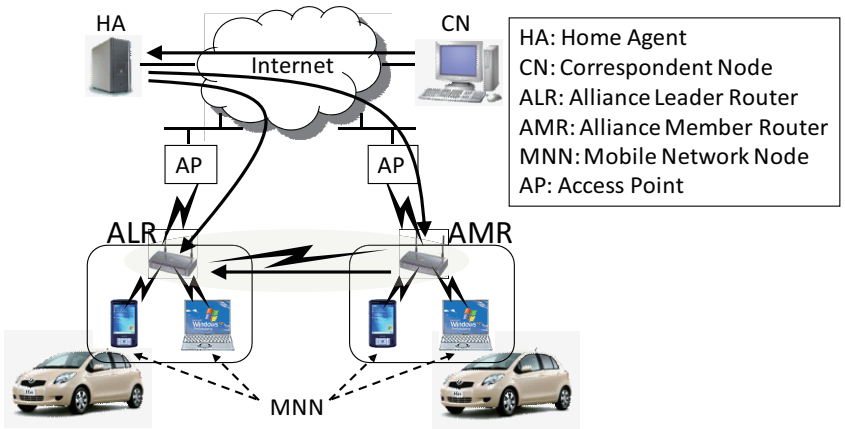

図 1 NEMO SHAKE

2.3 NEMO SHAKE

NEMO SHAKE は，NEMO の MR を搭載した車両での利用を想定し，近接する車載 MR 間で Alliacne を構築する．MR 配下にある MNN と CN 間で通信を行う場合，各 MR が持つ外部リンクを同時に利用することで，通信の高速化および接続の安定性を図る．ここで，Alliance 内の他の MR が持つ外部リンクを用いて通信する MR を Alliance Leader Router (ALR)，ALR 宛のトラフィックを中継する MR を Alliance Member Router (AMR) と呼ぶ．図 1 に NEMO SHAKE を用いた通信の概要を示す．

2.3.1 動的 Alliance 管理機構

実環境において，ユーザが NEMO SHAKE を利用することを想定する場合，一般に，Alliance を構成する MR を搭載した車両の目的地，移動速度，進行方向がそれぞれ異なる．そのため，複数経路を用いた通信中に突然 ALR-AMR 間の通信が途絶え，AMR 経由に分配されたパケットのロスが発生すると予想される．そこで ALR は，ALR-AMR 間のリンク分断に先立ち，AMR へのトラフィック分配を停止し，切断された AMR 経由のパケット分配によるパケットロスを防ぐ必要がある．さらに，安定した通信を維持するために，ALR は移動する先々で近隣の MR の中から良質な通信品質が得られるものを選び，Alliance を構築する必要がある．

図 2 に Alliance の構築手順を示す．ALR は，AMR の候補となる MR を見つけるために，MR 間のインタフェースから定期的に Alliance Request (AReq) をブロードキャスト

© 2009 Information Processing Society of Japan

Vol.2009-MBL-51 No.1
Vol.2009-ITS-39 No.1
2009/11/5

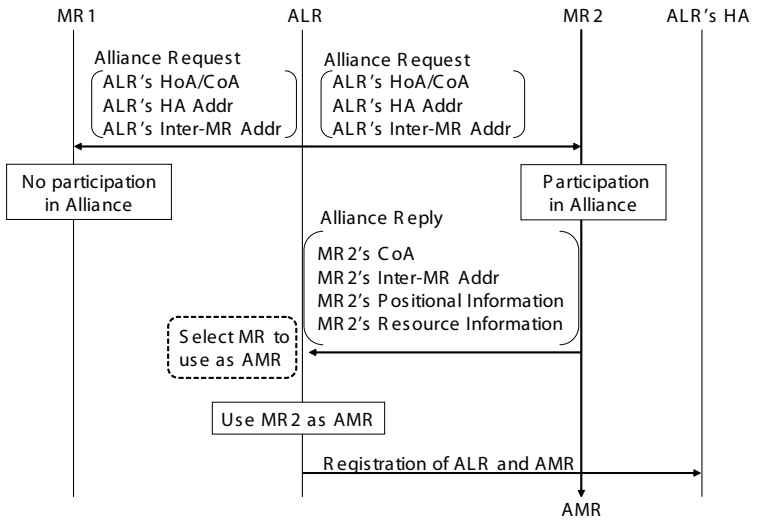

図 2 Alliance の構築手順

する．AReq には，ALR の HoA，外部リンクのアドレス (CoA)，ALR の HA のアドレス，MR 間のインタフェースのローカルアドレスが含まれる．AReq を受信した MR は，AMR として Alliance に参加可能ならば，ALR に Alliance Reply (ARep) を返信する．ARep には，MR の CoA，MR 間のインタフェースのローカルアドレスに加えて，AMR の選別に用いる MR の位置情報および資源情報 (MR の外部リンクの帯域幅，MR 間の Received Signal/Strength Indicator (RSSI)，Alliance 参加数) を付加する．位置情報には，定期的に取得している GPS 情報 (緯度，経度) と GPS 情報から算出した移動速度および進行方向を含める．

ALR は，通信状況が良好な MR と Alliance を組むために，位置情報と MR 間の通信状況を考慮した 2 段階の選別を行う．まず，ALR は自身と ARep に付加されている各 MR の GPS 情報から現在の車間距離を算出する．さらに，ALR は MR を搭載した車両が等速で進むと仮定し，Alliance の最低接続時間 T_{connect} 秒後の車間距離 ($D\,(t+T_{\mathrm{connect}})$) を推定する．$D\,(t+T_{\mathrm{connect}})$ が ALR-MR 間の通信可能範囲であるならば，MR を AMR の候補として選出する．なお，T_{connect} は，無線 LAN の通信距離やアンテナの型に応じて設定する．続いて，ALR は AMR の候補である MR の中から ALR と AMR の外部リンクの帯域幅の差が閾値以下および MR 間の RSSI が閾値以上であり，帯域幅の値が上位 N 個の MR を選出する．N は AMR 数の上限である．帯域幅，RSSI の閾値は NEMO SHAKE を利用する環境に応じて設定する．ALR は，以上の手順で選出された N 個の MR から他の Alliance に参加していない MR を AMR として利用する．また，ALR は，AMR として使用する MR の情報を Alliance Member List (AML) で管理する (図 4)．

ALR は，AMR の Alliance 脱退に先立つトラフィック分配の停止および Alliance 解消を行うために，Alliance 構築後も AReq を定期的にブロードキャストし，AML を更新する．ALR は AML 更新時に $D\,(t+T_{\mathrm{disconnect}})$ を再計算する．$T_{\mathrm{disconnect}}$ は，Alliance を維持するための最低接続時間である．$D\,(t+T_{\mathrm{disconnect}})$ が ALR-AMR 間の通信可能範囲外がである場合には AMR へのトラフィック分配を停止し，AMR への経路情報を消去する．また，ALR と AMR の外部リンクの帯域幅の差が閾値以上および MR 間の RSSI が閾値以下である場合もトラフィック分配を停止し，AMR への経路情報を消去する．

2.3.2 複数経路の登録

NEMO SHAKE では，AMR の外部リンクを利用して通信を行うため，ALR の CoA として ALR の HA に AMR の CoA を登録する必要がある．NEMO SHAKE では，他の MR による不正な経路登録を避けるため，ALR が代表して AMR の CoA の登録を行う．NEMO Basic Support のプロトコル仕様では，1 つの HoA に対して 1 つの CoA しか登録することができない．そこで，ALR の HA に登録する複数の CoA を識別するため，各 CoA に対して Binding Unique Identification number（BID）[6] を割り当てる．

ALR は ALR の CoA および AMR の CoA の登録のため，それぞれの Binding Update にそれぞれの BID を格納した BID sub-option を付加して自身の外部リンクから HA へ送信する．HA では，ALR および AMR それぞれのエントリを BID によって区別し，Binding Cache で保持する (図 3)．HA は，それぞれの登録が完了すると，応答として Binding Ack を ALR に向けて送信する．

2.3.3 NEMO SHAKE を用いた通信

NEMO SHAKE では，トラフィックの分配機構を ALR の HA と ALR に設置する．インターネット側から ALR 配下の移動ネットワークへのトラフィック (下り通信) は，ALR の HA から ALR，AMR への異なる経路に分配され，ALR 配下の移動ネットワーク側からインターネットへのトラフィック (上り通信) は，ALR から ALR の HA と AMR に分配される．

- **下り通信**

© 2009 Information Processing Society of Japan

Vol.2009-MBL-51 No.1
Vol.2009-ITS-39 No.1
2009/11/5

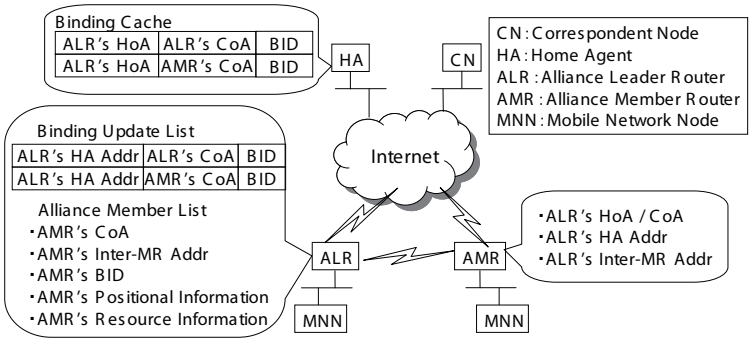

図 3 各端末が保持する情報

ALR の HA は，ALR の MNP 宛のパケットを代理受信すると，ルーティングテーブルからパケットの転送先アドレスが ALR の HoA であることを知る．ALR の HoA から Binding Cache にある ALR のエントリを見つけ，ALR の HoA に対応付けられた各 MR の CoA 宛にパケットをカプセル化する．さらに，ALR の CoA を含んだタイプ 2 経路制御ヘッダを挿入し，転送する．AMR では，ALR の HA から配送されたパケットのタイプ 2 経路制御ヘッダに ALR の CoA が含まれているため，MR 間の直接リンクを介して ALR に転送する．

- **上り通信**

MNN から CN にパケットを送信する場合，MNN のデフォルトルータである ALR が自身の HA および AMR にパケットを分配する．ALR が直接自身の HA にパケットを転送する場合，NEMO Basic Support のプロトコルに従い，ALR と自身の HA 間の双方向トンネルを用いる．AMR 経由で転送されるパケットは，多重カプセル化によって送られる．ALR は，AMR 経由で転送されるパケットのカプセル化を行う際，IPv6 ヘッダの送信元アドレスを AMR の CoA に，宛先アドレスを自身の HA に設定する．さらに，ALR は，IPv6 ヘッダの送信元アドレスに ALR の MR 間のインタフェースのローカルアドレスを，宛先アドレスに AMR のローカルアドレスを設定し，カプセル化する．多重カプセル化が完了すると，そのパケットを MR 間の直接リンクを介して AMR に転送する．AMR では，ALR から配送されたパケットをカプセル解除し，AMR の外部リンクを用いて ALR の HA に転送する．

3. 徒歩による上り通信の性能評価

3.1 実　　装

NEMO SHAKE および動的 Alliance 管理機構を FreeBSD 5.4-RELEASE 上で動作する SHISA[7] を拡張することで実装した．SHISA では，複数 CoA の登録をサポートしており，その一部を拡張して，ALR の HA への複数 CoA の登録を実現した．Areq および Arep は，ICMPv6 プロトコルの一機能として追加した．現行の実装では，ALR は各 MR の位置情報と MR 間の RSSI によって，AMR として利用する MR の選別を行う．

ALR の AMR へのパケット分配は，AMR の登録を示す Binding Update を自身の HA に送信し，HA から送られる Binding Ack の受信が完了すると開始する．AMR への分配停止は，AMR の登録解除を示す Binding Update を送信すると同時に行うものとした．また，ALR は多重カプセル化によって MNN からのパケットの再分割を行わないようにするため，MNN の無線 LAN インタフェースの MTU を調整して実験を行った．パケット振り分け方法に関しては，ALR および ALR の HA ともにラウンドロビンを用いた．

3.2 実 験 環 境

図 4 に実験に用いたネットワーク構成を示す．ALR が近隣の MR と Alliance を構築し，ALR 配下の MNN が外部ネットワーク上の CN と通信する状況を想定した．Router2, Router3 がインターネットへの接続に用いるリンクには WILLCOM の 32kbps PIAFS を用いた．NEMO SHAKE は IPv6 上で動作するように設計されているが，PHS アクセス網が IPv4 しか対応していないため，IPv6 over IPv4 トンネルを用いて Router1-Router2 間および Router1-Router3 間の接続性を確保した．従って，MR は直接インターネットに接続するのではなく，トンネリング処理を行うルータ (Router2, Router3) を介してインターネットに接続する．

ALR-AMR 間，ALR-MNN 間の通信には IEEE802.11b を用いた．各無線 LAN リンクのチャンネルにはそれぞれ 11，6 とし，送信レートは自動で設定した．さらに，ALR-AMR 間で用いる無線 LAN には外部アンテナを使用した．

3.3 実 験 内 容

図 5 に実験シナリオを示す．ALR を固定し，AMR を徒歩によって 1m/s で等速移動させた．

無線 LAN の外部アンテナを使用することにより Alliance 間の通信可能距離は約 200m であったが，単一経路と複数経路の通信の移行が行われるようにするため，Alliance 間の通信

© 2009 Information Processing Society of Japan

Vol.2009-MBL-51 No.1
Vol.2009-ITS-39 No.1
2009/11/5

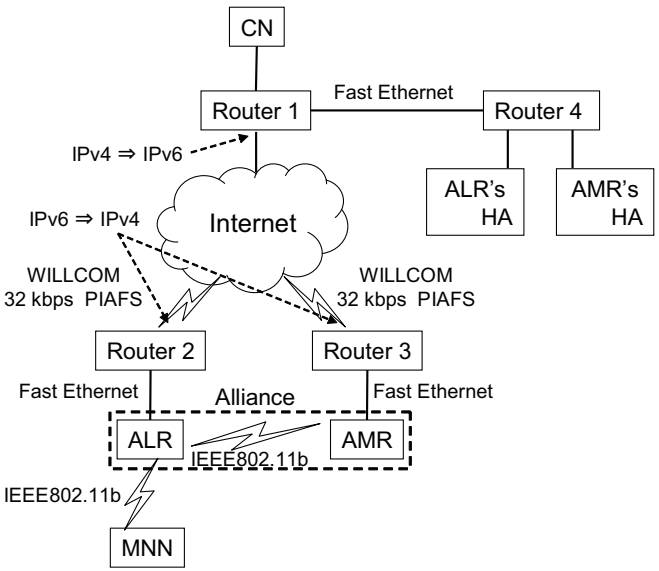

図 4 実験ネットワークトポロジ

可能距離の閾値を 40m とした．また，Alliance 構築時の T_{connect} を 20 秒，Alliance 解除時の $T_{\mathrm{disconnect}}$ を 5 秒とし，AReq 送信間隔を 1 秒，AReq 受信時の RSSI の閾値を-80[dBm] に設定した．

これらの条件で，MNN から CN に，1kbyte の UDP パケットを 200msec 間隔で送信した場合と 200 秒間 TCP フローを送信した場合の 2 種類の実験を行い，それぞれスループットを測定した．なお，TCP フローを用いた実験には iperf を使用した．

3.4 UDP フローを用いた場合

3.4.1 実 験 結 果

図 6 にスループットの測定結果を示す．実験開始から 19 秒後，ALR は受信した ARep に含まれている位置情報，資源情報を基に AMR の選別を行い，Alliance 構築時の Δt 秒後の ALR-AMR 間の距離が通信可能距離の閾値以下および RSSI の値が閾値以上であったため，AMR の登録を示す Binding Update を ALR の HA に送信した．Binding Update を送信してから 9 秒後，ALR は HA から AMR の登録完了を示す Binding Ack を受信し，複数経路通信に移行した．この結果，ALR は自身の HA と AMR にパケット分配を行い，スループットが 25kbps から 39kbps に向上した．複数経路の通信に移行してから 31 秒後，RSSI の取得失敗により RSSI が閾値を下回ったため，AMR の登録解除を示す Binding Update を HA に送信し，AMR へのパケット分配を停止して複数経路から単一経路通信に移行した．さらにその一秒後，再び複数経路通信に移行し，その後も ARep を受信することで AMR の選別を行い，単一経路から複数経路，複数経路から単一経路への通信の移行を行った．

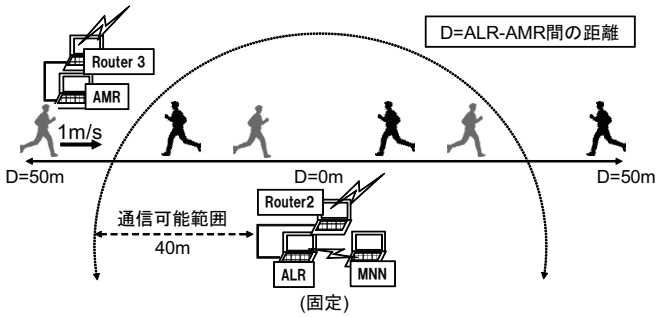

図 5 実験シナリオ

また，230 から 300 秒までの間，AMR が通信可能範囲内を移動しているにもかかわらず，ALR は一度も複数経路通信に移行しなかった．これは，AMR の登録を示す Binding Update のロスおよび PHS で発生する遅延のためである．ALR は，Binding Update が失われると，再送タイアウトにより Binding Update を再送する．このため，Binding Update のＨＡへの到着は遅くなる．また，再送した Binding Update が失われなくても，PHS の送信インタフェースで発生している遅延により，Binding Update が HA に到着するまで時間がかかってしまう．ALR は，HA から送られる Binding Ack を受信するまで複数経路通信に移行できない．さらに，ALR は Binding Ack の受信待ちの間，通信可能距離や RSSI の閾値により短い間隔で単一経路と複数経路を切り替えると，AMR の登録および登録解除を示す Binding Update を頻繁に送信してしまい，Binding Ack を受信するまで余計に時間がかかってしまう．これらの理由から，ALR は AMR が通信可能範囲内を移動している間に Binding Ack を受信できず，複数経路通信に移行しなかった．

3.4.2 考　　察

今回の実験のように上り通信で複数経路通信を行う場合，外部リンクの送信インタフェースで発生する遅延により HA への Binding Update の到着が遅れ，ALR は単一経路から複数経路通信に移行するまでに時間がかかってしまい，再送タイムアウトにより Binding

© 2009 Information Processing Society of Japan

Vol.2009-MBL-51 No.1
Vol.2009-ITS-39 No.1
2009/11/5

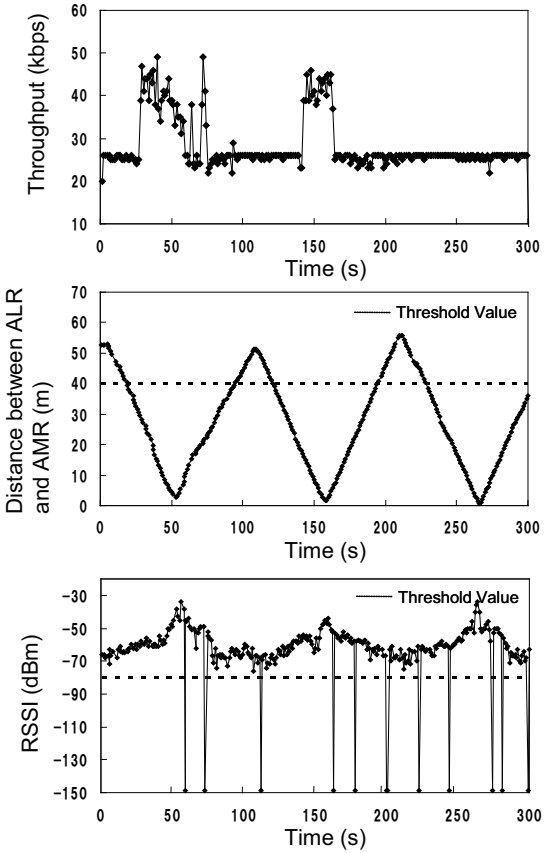

図 6 UDP フローを流した場合のスループット，ALR-AMR 間の距離，RSSI)

Update の再送が行われる．最悪の場合，AMR として利用できる MR が存在するにもかかわらず複数経路通信に移行できない．今回の実験では再送タイマの時間を長くすることで Binding Update の再送の頻発を抑制したが，Binding Update を頻繁に再送してしまうと，ALR は HA との接続が失われたと判断し，複数経路通信どころか単一経路通信が行われなくなり，通信自体が途絶してしまうことがあった．複数経路から単一経路通信に移行する場合は，ALR は AMR の登録解除を示す Binding Update の送信と同時に AMR への分配を停止するため，移行への時間は小さくてすむが，単一経路から複数経路通信への移行時と同様，無駄な Binding Update の再送が発生してしまうことがある．

一方，下り通信において複数経路通信を行う場合，外部リンクの受信インタフェースで発生する遅延のため，HA から ALR に送られる Binding Ack の到着が遅れる．HA は，ALR から AMR の登録を示す Binding Update を受信すると，ALR と AMR にパケットの分配を行い，AMR の登録解除を示す Binding Update を受信するとパケットの分配を停止するため，単一経路と複数経路の通信の切り替え時間は小さくてすむ．しかし，これは外部リンクに下りのトラフィックだけが流れている場合である．上りと下り両方ともトラフィックが流れている場合，外部リンクの送信インタフェースで発生する遅延により，HA への Binding Update の到着が遅れ，下り通信においても単一経路から複数経路通信に移行するまでに時間がかかってしまう．さらに，AMR の登録解除を行う際，外部リンクの送信インタフェースで発生する遅延によりＡＭＲの登録解除を示す Binding Update の到着が遅れ，ALR-AMR 間の接続が失われてから HA に到着してしまうと，すでに HA から AMR に分配されたパケットのロスが発生してしまうことが予想される．

これらを防ぐ方法として，Binding Update や Binding Ack などの制御パケットの優先制御を行うことが挙げられる．例えば，ALR は制御パケットを送るための帯域を確保することで，外部リンクの遅延の影響を減らし，単一経路と複数経路の通信の移行の高速化を図る．また，Binding Update および Binding Ack の到着遅延の影響を小さくする別の方法として，ALR は AMR を経由して制御パケットの送受信を行うことが考えられる．文献 8) では，各経路の遅延と遅延揺らぎを考慮した分配方式を提案しており，ALR は，遅延がもっとも小さい外部リンクを持つ AMR を経由して制御パケットの送受信を行う．また，AMR を経由した制御パケットの送受信は，文献 9) で提案されている手法により実現できる．

3.5 TCP フローを用いた場合

3.5.1 実 験 結 果

図 7 にスループットの測定結果を示す．実験開始から 11 秒後，AMR としての条件を満たし，単一経路から複数経路に移行するため，ALR は AMR の登録を示す Binding Update を HA に送信した．その後，すぐに RSSI の取得失敗により RSSI が閾値を下回ったため，ALR は AMR の登録解除を示す Binding Update を HA に送信し，短時間で単一経路と複数経路の切り替えを行った．HA は，ALR から AMR の登録を示す Binding Update を受信すると，Binding Ack を ALR に送信し，AMR へのパケット分配を開始する．そのため，CN から MNN への Ack が ALR および AMR の外部リンクを利用して送られた．

© 2009 Information Processing Society of Japan

Vol.2009-MBL-51 No.1
Vol.2009-ITS-39 No.1
2009/11/5

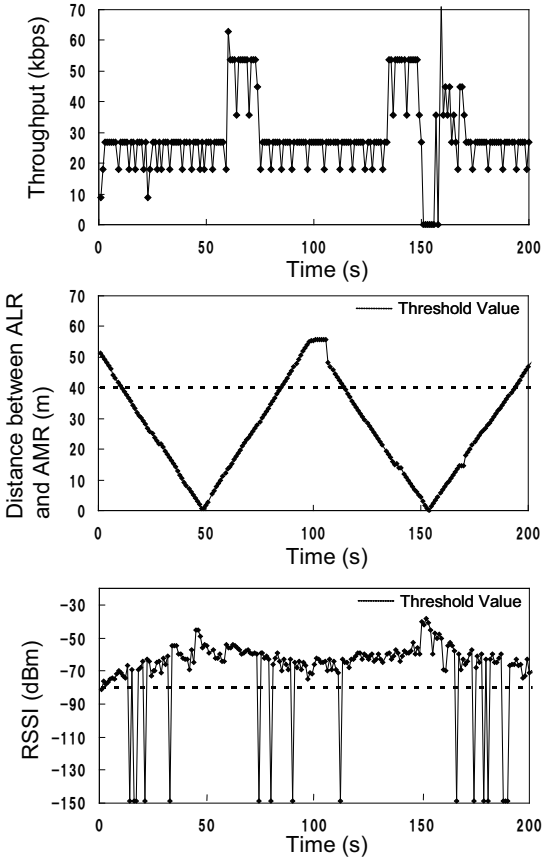

図 7 TCP フローを用いた場合のスループット，ALR-AMR 間の距離，RSSI)

実験開始から 51 秒後，ALR は HA から Binding Ack を受信し，AMR へのパケット分配を開始した．しかし，AMR にパケットを分配すると，ALR と AMR の外部リンクの送信インタフェースの遅延差によってパケットの順序逆転が発生する．そのため，CN は AMR 経由で送られたセグメントをバッファに格納する．AMR にパケット分配を開始してから 9 秒後，CN は MNN から ALR の外部リンクを利用して送られたセグメントを受信し，そのセグメントの次のセグメントをすでにバッファで保持していたため，スループットが向上した．

実験開始から 74 秒後，RSSI の取得失敗により RSSI が閾値を下回ったため，複数経路から単一経路に移行し，スループットが低下した．また，実験開始から 126 秒後，ALR は AMR へのパケット分配を開始し，9 秒後スループットが向上した．ところがパケットの分配を開始してから 24 秒後，スループットが 0kbps となっている．これは，AMR に分配されたパケットが ALR-AMR 間のリンクでロスしたためである．MNN は 3 つの重複 Ack を受信してパケットロスを検知し，ロスしたパケットの再送を行う．しかし，このとき再送されたパケットが ALR に届いておらず，MNN-ALR 間で再送されたパケットがロスしたことが予想される．再送されたパケットがロスすると，MNN は再送タイムアウトにより再び再送を行う．そのため，再送タイムアウトが発生するまでの 6 秒間スループットが 0kbps のままとなったと考えられる．

3.5.2 考　　察

今回の実験では，使用している PHS のウィンドウサイズが非常に小さく，スループットの変動があまり見られなかった．しかし，ウィンドウサイズが大きい外部リンクを使用して複数経路通信を行うと，重複 Ack による再送が頻発し，スループットが低下すると考えられる．これを防ぐ手法として，文献 10) の方法などが考えられる．また，フローごとに使用する経路を分けることにより，スループットの低下を防ぐことができると考えられる．

4. 関 連 研 究

車載ネットワークとインターネット間で通信を行う場合，MR は，外部リンクの帯域不足や不安定な接続に悩まされる．もし MR が複数のインタフェースを利用し，複数の通信経路を同時に利用すると，これらの問題点を解消できる[11]．本章では，MR が複数の通信経路を同時に利用し，通信の高速化および接続の安定性向上を図る手法を紹介する[12)13)14)]．

Imai らは，MR に搭載された複数の通信メディアを同時に使用し，リンクの広帯域化を実現する機構を提案している[12]．Tsukada らは，単一の移動ネットワーク内に複数の MR が存在する状況下で，複数の MR が持つ外部との接続性を有効に利用する手法として，Multiple Mobile Router Management (MMRM) を提案している[13]．MMRM を各 MR に導入することにより，移動ネットワーク側のインタフェース間で MR-MR 間トンネルを確立し，各 MR が持つ外部リンクを共有することで，通信の高速化を図る．これらの手法は，単一の移動ネットワークまたは MR が持つ複数の外部リンクを利用するため，移動ネットワークの位置によっては移動ネットワーク全体が通信できない状況が考えられる．

© 2009 Information Processing Society of Japan

Vol.2009-MBL-51 No.1
Vol.2009-ITS-39 No.1
2009/11/5

また，Tsukada らは，複数のネットワークインタフェースを持つ MR を搭載した車両間での通信において，NEMO と動的なネットワークを構成する Mobile Ad-hoc Network (MANET) を併用した手法 MANEMO を提案している[14]．MANEMO では，固定インフラを介する NEMO の通信経路と固定インフラを介さず，他端末を経由する MANET の通信経路を同時に利用することで広帯域化を実現する．しかし，MANEMO は車両間での通信を想定しているため，通信相手がインターネット上のホストである場合，MANET の通信経路を使用することができない．

筆者らが提案している NEMO SHAKE では，車両に搭載された端末とインターネット上のホストとの通信を想定しており，異なる移動ネットワーク間で外部リンクを共有する．したがって，現行の実装からの拡張を一部必要とするが，例え 1 つの移動ネットワークの外部リンクが利用不可能な状況でも，Alliance 内の他の MR が持つ外部リンクを利用することで外部との通信を維持することが可能である．また，各 MR が複数の外部リンクを持つ必要がないという利点がある．

5. ま と め

本稿では，NEMO SHAKE の上り通信の実装および実環境での性能評価を行った．NEMO SHAKE を利用した際のスループットを測定した結果，ALR は自身の HA と AMR へのパケット分配を行い，複数経路通信を行うことによりスループットが向上した．

今後の課題として，使用する経路の通信状況に応じて動的にパケットの分配方法の切り替えや各経路の遅延差に伴うパケットの到着順序の逆転および不必要な再送処理を避けるためにバッファリングを行い，パケットの順番を補正することが必要である．

参 考 文 献

1) 舛田知広，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”，情報処理学会論文誌，Vol.46, No.9, pp.2214–2225 (2005-9).
2) V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu and P. Thubert: Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol, RFC 3963 (2005).
3) 舛田知広, 石原進: “複数 Mobile Network による経路アグリゲーションの提案と実装”, 情報処理学会研究報告, モバイルコンピューティングとユビキタス通信，Vol.2006, No.14, pp.85–90 (2006-2).
4) 中安俊行, 藤野信次, 石原進, 水野忠則: “車載 Mobile Router を用いた通信回線共有方式における動的 Alliance 管理機構の実環境での性能評価”，情報処理学会研究会報告，モバイルコンピューティングとユビキタス通信，Vol.2007，No.98，pp.1–8 (2007-9).
5) 谷本慧, 石原進, ”車載 Mobile Router を用いた通信回線共有方式の実車両走行実験,” 電子情報通信学会技術研究報告，情報ネットワーク研究会，Vol.108, No.458, pp.73-78 (2009-3).
6) R. Wakikawa, T. Ernst，K. Nagami and V. Devarapalli: Multiple Care-of Address Registration, Internet Draft (draft-ietf-monami6-multiplecoa-03) (2007).
7) SHISA: http://www.mobileip.jp/.
8) 川島佑毅, 峰野博史, 石原進, 水野忠則: “利用経路を動的に制御する複数経路集約通信方式の評価”, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.2, pp.880–891 (2007-2).
9) 谷本慧, 石原進: “Mobile IPv6 を用いた通信回線共有方式における中心端末の外部リンク切断に伴う通信途絶回避方法”, マルチメディア，分散，協調とモバイル（DICOMO2008）シンポジウム論文集, Vol.2008, No.1, pp.1580-1587 (2008-7).
10) 荻野秀岳, 石原進, ”複数経路環境における非対称な TCP 通信での不要な再送抑制手法,” 情報処理学会論文誌, Vol.50, No.1, pp.121-132 (2009-01)
11) T. Ernst, N. Montavont, R. Wakikawa, C. Ng and K. Kuladinithi: Motivations and Scenarios for Using Multiple Interfaces and Global Addresses, Internet Draft (draft-ietf-monami6-multihoming-motivation-scenario-03) (2008).
12) N. Imai, M. Isomura and H. Horiuchi: Inverse-Multiplexing for Mobile Routers with Multiple Wireless Network Interfaces, The First International Workshop on Network Mobility (WONEMO) (2006).
13) M. Tsukada, T. Ernst, R. Wakikawa and K. Mitsuya: Dynamic Management of Multiple Mobile Routers, IEEE Malaysia International Conference on Communications and IEEE International Conference on Networks (MICC & ICOIN 2005), Vol.2, pp.1108–1113 (2005).
14) M. Tsukada, O. Mehani and T. Ernst: Simultaneous Usage of NEMO and MANET for Vehicular Communication, 1st Workshop on Experimental Evaluation and Deployment Experiences on Vehicular networks (WEEDEV) (2008).

© 2009 Information Processing Society of Japan