

車載 Mobile Router を用いた通信回線共有方式における Alliance の構築手法の設計および実装

中安 俊行[†] 舩田 知広^{††} 石原 進[‡]

[†] 静岡大学大学院工学研究科 ^{††} 三菱電機情報ネットワーク(株) [‡] 静岡大学創造科学技術大学院

Design and implementation of Alliance construction method for SHAKE (SHARing multipath procedure for a cluster network Environment) with Mobile Router on vehicles

Toshiyuki Nakayasu[†] Tomohiro Masuda^{††} Susumu Ishihara[‡]

[†] Graduate School of Engineering, Shizuoka University

^{††} Mitsubishi Electric Information Network Corporation

[‡] Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

1 はじめに

携帯通信端末の普及とともに、Mobile IP や Network Mobility (NEMO) 等の移動体通信技術が重要視され、特に ITS 分野での利用が期待されている。しかし、モバイル通信に必要な不可欠な無線通信は障害物等によって接続が途切れることがあり、通信の安定性に乏しい。また、有線通信に比べて低速な長距離無線通信しか利用できないといった物理的に通信速度が限られた状況において、高速なインターネット接続を実現するためには、利用可能なネットワーク資源を効率的に使用する必要がある。

そこで筆者らは、モバイル端末が近隣端末と短距離高速リンクを用いて一時的なネットワーク (Alliance) を構築し、Alliance 内の端末が持つ外部リンクを同時に利用することで通信速度および接続の安定性の向上を図る通信回線共有方式 (SHAKE: SHARing multipath procedure for a cluster network Environment) を提案している。これまでに SHAKE を実現する一手法として、NEMO の Mobile Router (MR) を相互接続させ、複数の通信経路を同時に利用することでネットワーク全体の通信速度および接続の安定性の向上を図る NEMO SHAKE が提案されている [1]。

本稿では、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ために、MR の位置情報、Alliance を構成する MR 間の通信状況を考慮した Alliance 構築手法を提案し、その実装と評価について述べる。

2 NEMO SHAKE

2.1 通信回線共有方式 SHAKE

通信回線共有方式 SHAKE では、複数のモバイル端末が無線 LAN 等の短距離高速リンクを用いて、一時的なローカルネットワーク (Alliance) を構築する。そして、Alliance 内の端末が外部ネットワークの端末と通信する際、Alliance 内の他の端末が持つ外部リンクを複数同時に利用し、各リンクにトラフィックを分散させることで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不可能な場合でも、Alliance 内の他の端末が持つ外部リンクを用いることで、外部ネットワークと通信が可能となり、接続の安定性を向上させることができる。

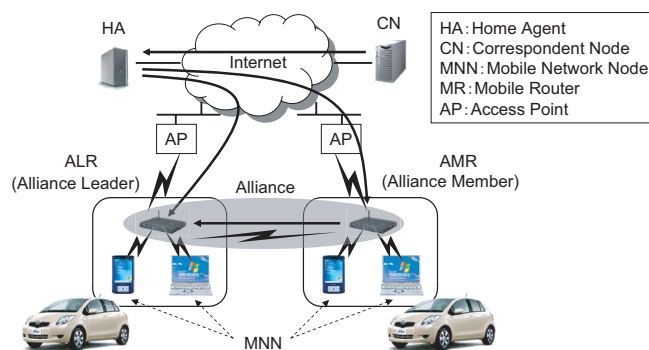


図 1: NEMO SHAKE を用いた通信

2.2 NEMO SHAKE の概要

NEMO SHAKE では、NEMO を用いた通信の安定性の向上、複数経路通信、通信帯域の増大を実現するため、自動車等の移動体に搭載された MR が複数相互接続し、Alliance を構築する。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 (ALR)、ALR 宛のトラフィックを中継する MR を Alliance Member (AMR) と呼ぶ。

SHAKE では、複数の経路にトラフィックを分配させる場所が重要となる。NEMO SHAKE では、MR 配下の端末である Mobile Network Node (MNN) が通信相手 (CN: Correspondent Node) と通信が行う際にやり取りされるパケットが必ず MR の Home Agent (HA) を経由するという NEMO の特徴を利用し、トラフィック分配機構を ALR の HA に設置する。

ALR は、AMR の外部リンクを利用するために、自身の HA に AMR を登録する。ALR の HA は、ALR の Mobile Network Prefix 宛のパケットを登録された MR へそれぞれ分配する。AMR は、ALR の HA から配送されたパケットを MR 間の通信により ALR へ転送する (図 1)。

2.3 NEMO SHAKE のプロトコルの概要

[1] では、NEMO SHAKE におけるパケット配送のための基本的仕様が示されているが、車々間通信を考慮した Alliance の

構築に関する議論がなされていない。本稿で提案する信頼性の高い Alliance を構築する手法を説明するにあたり、まず NEMO SHAKE の基本的仕様について本節で説明する。

2.3.1 Alliance の構築

ALR は、他の MR が持つ外部リンクを用いて通信を行うために、MR 間でパケットを転送してもらうための Alliance を構築する必要がある。Alliance を構築する際、ALR は MR 間インタフェースから Alliance Request (Areq) を定期的にブロードキャストする。Areq には、ALR の HoA および CoA, ALR の HA の IP アドレス, ALR の MR 間のインタフェースのグローバルアドレスが含まれる。Areq を受信した MR は、自身が AMR として Alliance に参加可能ならば、Alliance Reply (Arep) を ALR にユニキャストで返信する。Arep には、MR の CoA および MR 間のインタフェースのグローバルアドレスが含まれる。Arep を返信する際、MR は Areq に含まれる情報をもとに自身のルーティングテーブル上に、ALR および ALR の HA で分配されたパケットを転送するためのエントリを追加する。ALR は、Arep によって得られた AMR の情報を Alliance Member List として保持する (図 3)。

2.3.2 複数の MR の CoA の登録

NEMO SHAKE では、複数経路を使用するために、ALR の HA でトラフィックの分配を行う。ALR は、自身の HoA に対して自身の CoA, および Arep から得られた AMR の CoA を複数対応付けて登録する。NEMO SHAKE では、AMR の Alliance 参加に対する処理の軽減のため、ALR が代表して AMR の CoA の登録を行う。しかし、NEMO の仕様では、一つの HoA に対して一つの CoA しか登録することができない。そこで、登録する複数の CoA を識別するために、各 CoA に対して Binding Unique Identification number (BID) を割り当てる。これにより、登録先である ALR の HA に対して、複数の CoA の登録が可能となる。

また、ALR は登録識別子である BID を通知する BID sub-option, および ALR の HA に SHAKE の使用を通知するために新たに定義した SHAKE (S) フラグを Binding Update に付加する。その際、ALR が自身の CoA を登録する場合には、BID sub-option に ALR の登録であることを示す P フラグをセットする。一方、ALR が AMR の CoA を自身の HA に登録する場合には、P フラグをセットせず、AMR の CoA を Alternate CoA option に格納して ALR の HA へと配送する。ALR の HA では、Binding Cache において各 MR の CoA と BID を ALR の HoA に対応付けて保持する。

2.4 NEMO SHAKE を用いた通信

CN から MNN に送信されるパケットは、MNN のデフォルトルータである ALR の HA を経由して転送される。ALR の HA が ALR が所属する Mobile Network にパケットを転送する場合、ALR の HA は受信したパケットの宛先アドレスのネットワークプレフィックスが自身が保持している Binding Cache の Mobile Network Prefix と一致するか確かめる。一致するならば、対応付けに基づき、その Mobile Network Prefix と対応する MR が ALR となっている Alliance 内の各 MR の CoA 宛にパケットをカプセル化して転送する。AMR では、Areq から得られたアドレス情報から、ALR の HA から転送されたパケットであることを判断し、経路制御ヘッダの次のホップが ALR の CoA であるなら、MR 間のインタフェースを介して ALR に転送する。

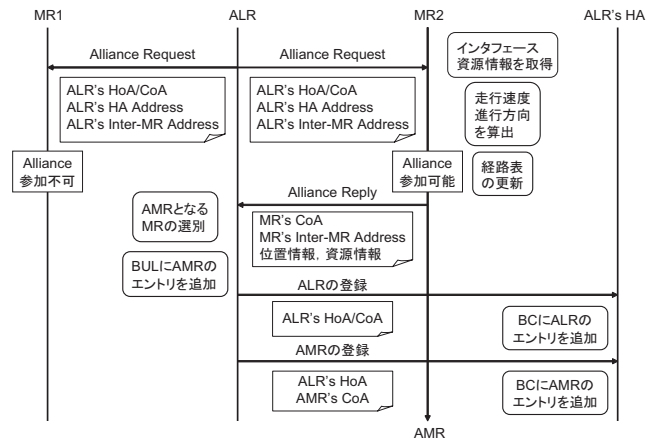


図 2: Alliance の構築手順

一方、MNN が CN にパケットを送信する場合、ALR が自身の HA および AMR にトラフィックを分配する。ALR が自身の HA にパケットを転送する場合、NEMO のプロトコルに従い、ALR と ALR の HA の間で双方向トンネルを用いる。パケットを AMR に転送する場合、ALR は自身の HA に転送するパケットをカプセル化し、MR 間のリンクを介して AMR に転送する。AMR では、受信し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。ALR の HA では、ALR および AMR から送られてきたパケットをカプセル解除し、CN に転送する。

2.5 Alliance 構築手法

2.5.1 NEMO SHAKE の実利用における課題

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と、Alliance を構成する端末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ため、AMR の Alliance への参加、脱退が頻繁に起こり、AMR を経由する通信時にパケットロスが増大することが考えられる。そこで、NEMO SHAKE の実現にあたり、以下の要素を考慮する必要がある。

- 長時間維持可能な MR 間接続の選択および使用
- 動的に変化する資源情報の管理
- AMR の Alliance 脱退に先だつトラフィック分配の停止

本稿では、MR の位置情報およびインタフェース資源情報を Alliance 構築時に考慮することで、信頼性の高い Alliance を構築する手法を提案する。

2.5.2 位置情報を考慮した AMR の選別

実際の走行環境では、MR 間で使用するインタフェースの通信可能距離より車間距離が大きくなると、ALR は AMR との通信を維持することができず、パケットロスが発生する。Alliance を構成する MR 間の接続の安定性を向上させるためには、Alliance を構築する際に、ALR が AMR の候補となる MR の位置情報を考慮し、長時間 Alliance を維持することが可能な MR を AMR として選ぶことが望ましい。そこで、各 MR は定期的に GPS から自身の位置情報を取得し、その履歴を保持する。ALR から Areq を受信し、Alliance に参加可能な MR は、この位置情報の履歴をもとに自身の速度および進行方向を算出する。各 MR が自身の移動情報 (緯度, 経度, 車両の速度, 進行方向) を ARep に付加することで、ALR は Alliance 構築時に各 MR の位置情報を AMR の選別に反映させることができる (図 2)。

ALR は、GPS から取得した自身の位置情報と ARep に含まれる各 MR の位置情報から現在の車間距離 d を求める。ALR-MR 間の通信可能範囲を R とすると、Alliance を構築する MR は $d < R$ を満たす必要がある。また、ALR は自身と ARep を返した MR の Δt 秒後の位置を各端末の現在位置、走行速度、進行方向の値をもとに推定する。さらに、ALR は自身と ARep を返した MR の Δt 秒後の推定位置から車間距離 $D(t + \Delta t)$ をそれぞれ求める。そして、式 (1) を満たす Δt の最大値、つまり Alliance を維持できると考えられる時間が最も長いものを AMR の候補として選出する。

$$D(t + \Delta t) \leq R \quad (1)$$

なお、実際の走行状況において、 R は障害物等の要因により一意に決められないので、NEMO SHAKE の対象となる車両は同じ車載機を搭載し、MR 間の通信状況は良好であると仮定し、MR 間の通信で使用するインタフェースの通信可能距離の平均値を用いることとする。

2.5.3 インタフェース資源情報を考慮した AMR の選別

Alliance を構成する MR は、持っているインタフェース資源やその状態がそれぞれ異なる。ALR が AMR を介して利用可能な帯域を増やすためには、ALR が利用できる広帯域な外部リンクを持つ MR を AMR として選ぶことが望ましい。また、すでに他の ALR の AMR として動作している MR は、ALR が利用できる帯域が少ないと考えられるので AMR としては望ましくない。そこで、MR は動的に変化するインタフェース資源情報を Areq 受信時に OS のカーネルから取得する。OS のカーネルから取得するインタフェース資源情報を以下に示す。

- インタフェース数
- インタフェースの IP アドレス
- インタフェースの帯域
- インタフェースのリンク状態
- Received Signal/Strength Indicator (RSSI)
- Alliance 参加状況

Areq を受信した MR は、AMR として Alliance に参加可能ならば、Areq に含まれる情報をもとにルーティングテーブル上に ALR および ALR の HA で分配されたパケットを転送するためのエントリを追加する。このエントリには Lifetime を設け、Arep を返したが AMR として選ばれなかった MR がいつまでもエントリを保持しないようにする。また、各 MR がインタフェース資源情報を ARep に付加することで、ALR は Alliance 構築時に各 MR が持つインタフェース資源情報を AMR の選別に反映させることができる。

Alliance を構成する MR 数の上限を N とすると、ALR は ARep に含まれる各 MR が持つ外部リンクと Alliance を構成する MR 間のリンクの帯域幅および RSSI の値を比較し、AMR の候補の中から値が大きい上位 N 個の MR を AMR として選出する。ただし、帯域幅および RSSI の値には閾値を設け、その閾値以上であることを前提とする。また、各 MR の他の Alliance への参加状況をもとに、他の Alliance に参加していない MR を優先して AMR とする。このように、ALR は Areq に含まれる各 MR のインタフェース資源情報を参照し、ALR が利用できる広帯域な外部リンクを持ち、Alliance を構成する MR 間のインタフェースの通信品質が良好な MR を AMR として選出する。

AMR の選別後、ALR は Binding Update List (BUL) 上に、AMR を経由する経路を用いてパケットを転送するためのエント

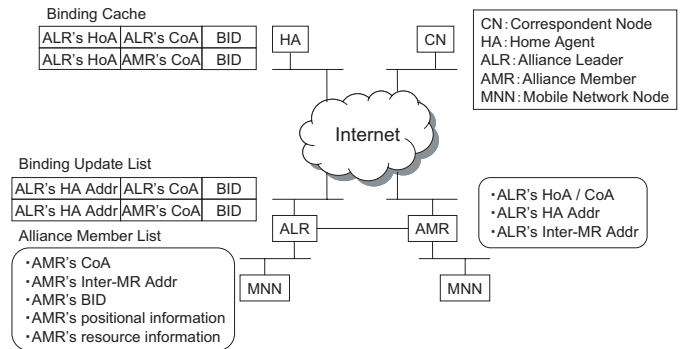


図 3: 各端末が保持する情報

リを追加する。さらに ALR は、Binding Update を用いて自身の HA に対し ALR および AMR を登録する。ALR の HA は、ALR および AMR の登録を Binding Cache (BC) に保持する (図 3)。

2.5.4 AMR の Alliance 脱退に対する対策

ALR は、Alliance を構成する AMR の Alliance からの脱退に先だち複数経路へのトラフィック分配を停止するために、Alliance 構築後も定期的に Areq をブロードキャストし、返信された Areq をもとに AMR の通信状況を監視する。また、ALR が持つ AMR のアドレス情報には Lifetime を設定する。AMR のアドレス情報が有効である間に Areq を受信した場合、ALR は返信された Areq に含まれる AMR の位置情報から、式 (1) を満たす Δt の最大値を求め、MR 間の接続が切れそうな AMR に対してトラフィックを分配するのを停止し、AMR の登録を解除する。また、返信された Areq に含まれる AMR のインタフェース資源情報から AMR が持つ外部リンクと Alliance を構成する MR 間のリンクの帯域幅および RSSI の値が閾値を下回る場合においてもトラフィックを分配するのを停止し、AMR の登録を解除する。

3 評価

3.1 実装

NEMO SHAKE は、[1] において FreeBSD5.4-RELEASE 上で、KAME Project[4] の IPv6 プロトコルスタック (2005 年 9 月 26 日のスナップ) を用いて実装されており、これを拡張することで本稿で提案する各 MR の位置情報を考慮した Alliance 構築機構を実装した。Alliance を構成する MR 間の通信状況を考慮した Alliance 構築機構に関しては未実装である。

Areq および Areq は、ICMPv6 の一機能として追加した。パケット分配機構は、ダウンリンクのみ実装済みである。ALR の HA でのパケットの振り分け方式は、ラウンドロビンである。

3.2 実験

NEMO SHAKE における Alliance 構築の基本動作を確認するため、実装した NEMO SHAKE のプロトタイプを用いて、CN から 1kbytes のパケットを 1ms 間隔で MNN に送信し、Alliance 構築前後のスループットの変化を測定した。

● 実験環境

評価実験は、図 4 に示すネットワークポロジを用い、屋内で行った。ALR-AMR 間、ALR-Router2 間、AMR-Router3 間の通信には IEEE802.11b を用いた。各リンクのチャンネルには 6, 11, 13 を用い、干渉の発生を防いだ。ALR-AMR 間の距離を約 20 [m]、ALR-Router2 間および AMR-Router3

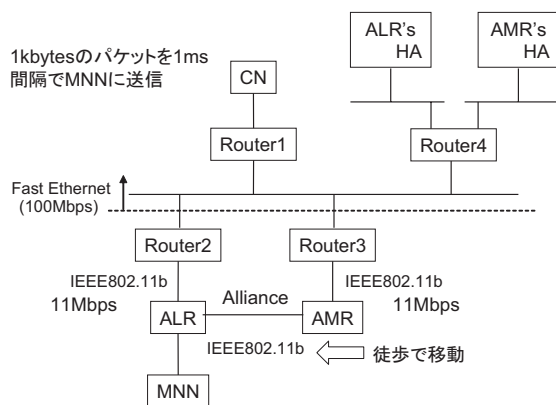


図 4: 実験環境

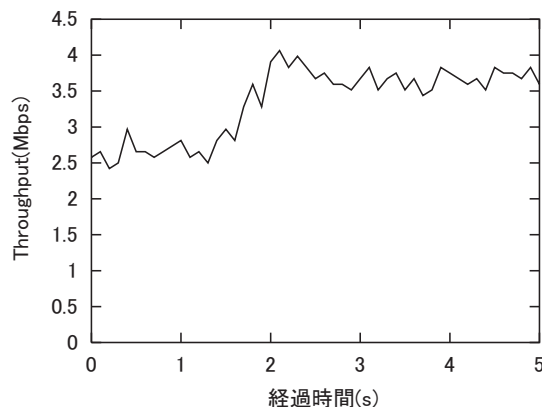


図 5: MNN-CN 間のスループット

間の距離を約 10 [m] とし、実験開始時に ALR は AMR と直接通信できないように端末を配置した。

● パラメータ

ALR が近隣の MR に対して Areq をブロードキャストする間隔を 5 [sec] とした。

● 実験方法

ALR が近隣の端末に向けて Areq をブロードキャストしている状態で、ALR-MR 間の距離を近づけた場合の MNN-CN 間のスループットを測定した。MNN において 0.5 秒間に受信したパケット数を測定することでスループットを求めた。

3.3 結果と考察

実験結果を図 5 に示す。MNN と CN が通信している状況で ALR-MR 間の距離を近づけたところ、AMR が ALR との通信可能範囲まで近づくと Areq を受信し、ALR にユニキャストで Aresp を返信した。ALR は実験開始から 1.703 秒後に Aresp を受信すると、その 0.2 ミリ秒後に自身の HA に対し Binding Update を送信した。これにより Alliance が構築され、実験開始から 1.8 秒後以降においてスループットの向上を確認することができた。

4 関連研究

NEMO SHAKE のように NEMO 環境下で複数経路を同時に使用することで通信の高速化を図る研究がなされている。[2] では、一つの Mobile Network 内に複数の MR が存在する状況において、複数の MR が持つ外部リンクを同時に使用する手法を提案している。[3] は、MR に搭載された複数の通信メディアを同時に使用することでリンクの広帯域化を図るものである。

これらの研究では、単一の Mobile Network または MR が持つ複数の外部リンクを利用するため、Mobile Network の位置によっては Mobile Network 全体が通信できない状況が考えられる。一方、NEMO SHAKE では、異なる Mobile Network の MR が持つ外部リンクを利用するため、例え一つの Mobile Network 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 が複数のインタフェースを搭載している必要がないという利点がある。

5 まとめ

本稿では、NEMO SHAKE を実環境において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ために、MR の位置情報、Alliance を構成する MR 間の通信状況を考慮

した Alliance 構築機構を提案、および実装した。

直接通信できない位置にいる複数の MR を直接通信できる位置まで移動させることにより Alliance の自動構築の動作を確認した結果、Alliance が自動的に構築され、複数経路による通信によってスループットが向上することが確かめられた。

今後の課題として、Alliance からの脱退に対する対策部の実装および自動車を使つての実環境での測定が挙げられる。また現在の実装では、NEMO SHAKE による複数経路を用いた通信時に MNN 宛のパケットの到着順序の逆転が起り、TCP を用いた場合に期待したスループットが得られない。今後は、使用する経路の通信状況に応じて動的にパケット分配を切り替えること、および各経路の遅延の違いによって生じるパケットの再送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。将来的には、より正確なデータを AMR の選別に利用するために、自動車のウィンカーや車載 GPS から得られる位置情報およびユーザの目的地等の情報を利用することを考えている。

参考文献

- [1] 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 MBL, Vol.2006, No.14, pp85-90 (2006).
- [2] 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).
- [3] 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).
- [4] KAME Project: <http://www.kame.net/>.