

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

伊藤陽介[†] 峰野博史^{††} 石原進^{†††}

[†] 静岡大学大学院理工学研究科 ^{††} 静岡大学情報学部 ^{†††} 静岡大学工学部

Dynamic Management of mobile nodes in a temporary network for SHAKE

Yosuke Ito[†], Hiroshi Mineno^{††} and Susumu Ishihara^{†††}

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

^{††} Faculty of Information, Shizuoka University

^{†††} Faculty of Engineering, Shizuoka University

1 はじめに

近年、携帯可能な情報端末を持つ人口は急増し、移動先であっても時や場所を選ばず快適にインターネットへ接続したいというユーザの要望は多い。現在の無線通信環境では、短距離間通信であれば無線 LAN や Bluetooth により比較的高速な通信が可能であるが、これらの公衆サービスはサービスエリアに限られる。サービスエリア外やオフィス外ではこれらの利用は無線端末間の直接通信に限られてしまう。長距離の通信を行う際、2G/3G の携帯電話や PHS ではサービス提供エリアは広いものの、無線 LAN 等に比べて低速な通信となってしまう。移動により利用可能なネットワーク資源は変化する。例えば、家やオフィス内であったら有線・無線 LAN が利用可能だが、移動先では携帯電話や PHS しか利用できない状況が考えられる。時や場所を選ばず高速なインターネット接続を維持するためには、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。

筆者らは、複数端末の回線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 a cluster network Environment) を提案している。SHAKE では、近隣の端末と無線 LAN 等の短距離高速リンクを用いて一時的なネットワーク (クラスタ) を構築し、外部のホストと通信を行う際、他のクラスタ内端末がもつ公衆サービス範囲の広い携帯電話等のクラスタ外へのリンクにトラフィックを分散させる。

SHAKE による通信を行うためには、移動する先でクラスタを構築する必要がある。また移動に伴い、通信中でのネットワーク環境が変化し、ネットワークから切断され、通信品質に影響を及ぼすことが起こり得る。SHAKE を用いた通信では、クラスタの動的構築とともに、クラスタの構成変化や通信品質の変化に対応する必要がある。

本稿では、SHAKE の利用において、近接端末との一時的協調動作と、移動や通信状況の変化に対して動的に適応可能なクラスタ管理方法に関する検討を行う。以下第 2 章で通信回線共有方式とその応用例である Mobile IP SHAKE の概要を説明し、クラスタ管理の必要性についてを述べる。第 3 章では動的にクラスタを管理する手法を検討し、最後に第 4 章でまとめと今後の課題についてを述べる。

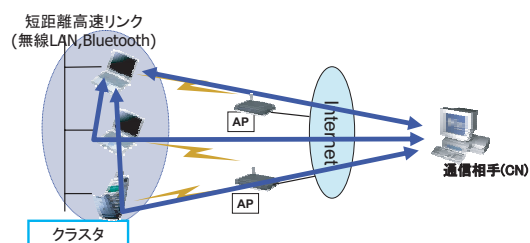


図 1: SHAKE を利用した通信

2 通信回線共有方式 SHAKE

通信回線共有方式 SHAKE[1] では、図 1 のように複数の移動端末が短距離で高速なリンクを用いて接続し、一時的にネットワーク (クラスタ) を構成する。クラスタ内の端末がクラスタ外部の端末と通信を行う際に、各端末の持つ外部ネットワークへのリンクへトラフィックを分散させることで高速な通信が可能となる。またクラスタ内の端末は自分のクラスタ外部リンクが利用不可能な場合でも、他のクラスタ内端末のクラスタ外部リンクを利用することで、外部のホストと通信を行うことが可能である。

SHAKE ではこれまで、アプリケーション層、TCP 層や IP 層において実現が検討されてきたが、本稿では Mobile IP を応用して IP 層における実現 Mobile IP SHAKE[2] に対象を絞って議論する。

IP 層で意図的に複数経路を同時に使用する方式として、SHAKE の他にも DICOS[3] といった研究がなされている。[3] は、IPv6 ネットワーク環境におけるインターネットカーとインターネットカー外部間の通信を想定しており、車内で LAN により接続した複数の端末により、車外のホストと通信をする際にフローごとに複数の GW を選択して利用するものである。また、Flexible Network Support for Mobility[4] は Mobile IP の拡張としてフローの入出力パケットごとに最適なネットワーク I/F を選択可能な機構を導入することで、異なるアプリケーションが同時に複数の無線 I/F を利用することを可能にしている。

これらの研究が、単一のホストが持つ複数のネットワークインタフェース、および比較的静的なホストがもつ複数の外部イン

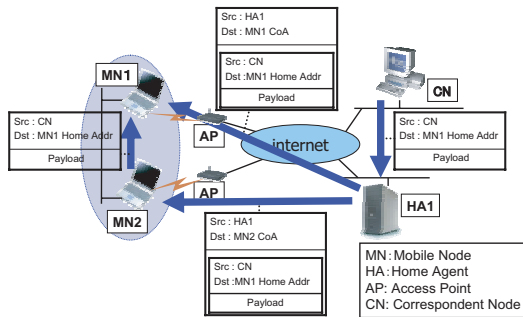


図 2: Mobile IP SHAKE によるデータグラム配送

タフェースへのリンクを使うのに対し、SHAKE では、メンバー構成が変化するホストのグループが持つ外部への複数のネットワークインタフェースを用いる。また、上記の研究はフロー毎に複数経路にトラフィックを分散させるのみであるが、Mobile IP SHAKE では単一のフローでも、複数の経路にトラフィックを分散させる。これにより少数のフローにおいても経路の複数同時による通信速度の向上を得ることが可能となる。

2.1 Mobile IP SHAKE

SHAKE を IP 層で実現するためには、クラスタ外部にいる通信相手 (Correspondent Node: CN) からクラスタへの経路途中にトラフィックを分配するための中継ホストが必要である。このホストがクラスタ内端末への外部リンクの共通の経路上に存在する場合以外には、CN はそのホストの存在を知っている必要がある。Mobile IPv4 では CN が移動ノード (Mobile Node: MN) のホームアドレス (Home Address) にデータを送信すると、ホームエージェント (Home Agent: HA) がそのデータを代理で受信し、データをカプセル化して MN の気付けアドレス (Care-of Address: CoA) に転送する。すなわち Mobile IPv4 では CN から MN へのパケットは経路最適化を考慮しない場合、必ず HA を経由するという特徴をもつ。Mobile IP SHAKE では、その特徴を利用し、HA にトラフィックを分配する機構をもたせることで、CN には特別な機構をもたせる必要なく、複数経路を用いた通信を実現できる。

図 2 に Mobile IP SHAKE の動作概要を示す。あらかじめ移動端末 MN1 のホームエージェントである HA1 に、MN1 とともにクラスタを構成している移動端末 MN2 の CoA を登録しておく。HA1 が CN から届けられた MN1 宛のパケットを転送する際には、MN1 および MN2 にパケットをカプセル化して分配する。MN2 は届けられたパケットのカプセル化を解除し、クラスタ内のリンクを通して、MN1 にパケットを転送する。

2.1.1 クラスタ内部から外部リンクへのトラフィック分配

クラスタ内部から外部リンクへパケットを分配させるため (ここでは、MN1 が CN へデータ配送する場合を想定する)、MN1 でもトラフィックを分散させる機構が必要となる。MN1 からデータを配送する際には、MN1 にてパケットをクラスタ内へカプセル化して分配する。すなわち、クラスタ内の中継端末 MN2 には送信元:MN1、宛先:CN の IP ヘッダの外側に送信元:MN1、宛先:MN2 の IP ヘッダをカプセル化して送信する。このときの MN2 の IP アドレスはクラスタ内部側の IP アドレスである。すると、MN2 ではカプセル化を解除し、宛先アドレスである CN に向けてそのパケットを転送する。クラスタ内部から外部へのデータ配信において HA を経由する必要はない。

2.2 クラスタ管理の必要性

SHAKE を用いた通信を行う前提として、クラスタを構築し管理する必要がある。近隣端末と協調することでクラスタ構築可能となるが、そのためには近隣端末同士でお互いの位置情報やネットワークインタフェースの情報を共有し、それぞれのリンクの貸借を認可しなければならない。その際には、小型の端末の利用も想定し、バッテリーへの無駄な負荷を防ぎ、省電力な動作をさせる必要がある。

クラスタを構成している端末群は移動端末であることが想定される。移動体通信環境では、ネットワークの状況が頻繁に変化し、リンクの品質が不安定になる。また端末の移動により、通信途中におけるネットワークインタフェースの停止やクラスタからの離脱が生じる。SHAKE では、クラスタ内の端末を常に監視し、ネットワーク状況の変動に対応させる必要がある。

クラスタ内では、複数の端末が同時に SHAKE を用いた通信を行うことで、競合が起こりリンクの帯域を圧迫しかねない。SHAKE は通信速度の向上および信頼性を保障しなければならない。SHAKE を利用することで、スループットの低下やネットワークへの無駄な負荷を引き起こしてはならない。

クラスタ内の端末を総合的に管理し、動的に適応可能な機構が必要である。SHAKE におけるクラスタ管理機構として SCCM (SHAKE Cluster Control Manager)[5] が開発されている。[5] では、HTTP で利用に特化した Web SHAKE と連携を図る事で、適切なクラスタ制御を行っている。次章でクラスタ管理の手法について詳細に検討する。

3 クラスタの動的管理

3.1 システムモデル

以降、複数の端末がある特定の場所に集合した環境を想定して議論を進める。各端末は近隣端末のネットワーク資源等の情報を共有し合い、共有情報を元に協調動作を行う。

図 3 に Mobile IP SHAKE のシステムモデルを示す。また図 4 に協調動作による端末間の関係を示す。クラスタ管理機構にて移動端末間の協調動作、端末の資源情報の共有、トラフィック分配の制御管理を行う。近隣端末の情報は常に監視するので、クラスタ管理機構は、ネットワーク状況の変化を検知し、その変化への対応も行う。

協調動作時には、最適な情報配布と消費電力を抑えることで、端末の負担を減らしながらも適切なクラスタ管理を実現する。Mobile IP SHAKE ではクラスタ内端末間での情報管理だけでなく、HA と連携を図った管理を行わなければならない。

次にクラスタ管理の際に用いる用語の定義を示す。

- Cluster (クラスタ)
近隣端末で、SHAKE の利用を前提として集まった一時的ネットワーク。
- Cluster Member (クラスタメンバ)
クラスタ内の端末。
- Cluster Solicitation (CSol)
SHAKE の利用を望む端末が、近隣情報配信を依頼するためのブロードキャストメッセージ。
- Cluster Advertisement (CAAdv)
CSol を受信した端末による CSol に対する応答メッセージ。ブロードキャストによって送信される。

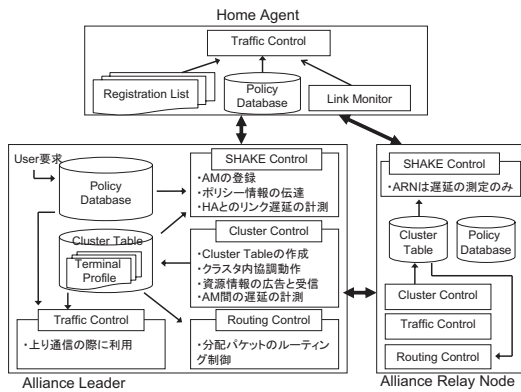


図 3: Mobile IP SHAKE のシステムモデル

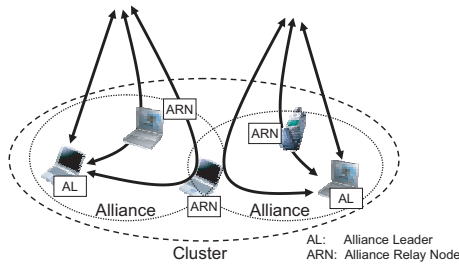


図 4: 協調動作による関係

- Alliance (アライアンス)
クラスタ内のうちで、特定の MN のために SHAKE の利用に携わっている端末群。
- Alliance Request (AReq)
クラスタメンバのうちで、SHAKE の通信に利用したい端末へ行うデータ中継依頼 (アライアンスを組むための要請メッセージ)。
- Alliance Member (AM: アライアンスメンバ)
アライアンス内の端末。
- Alliance Leader (AL)
アライアンス内で SHAKE を利用してデータを送受信している端末。
- Alliance Relay Node (ARN)
アライアンス内で AL のためにデータ中継を行う端末。

3.2 近接端末による協調動作

3.2.1 アライアンスの構築

各端末は SHAKE の利用可能な端末 (クラスタメンバ) を発見し、その中から適当なメンバとアライアンスを構築する。

1. SHAKE を利用したい端末は、CSol を用いてブロードキャストで近隣端末に対して情報提供を依頼する。
2. CSol を受信した端末は、それに了解した場合 CAdv として、ブロードキャストで自身の情報を配信する。
3. CAdv の情報をもとに、クラスタメンバの中で SHAKE の利用に協力してもらいたい端末へ AReq を送信する。
4. AReq を受信した端末は、CAdv を継続し、アライアンス内で情報を共有する。AReq を受信しなかったクラスタメンバは一定時間経過後、CAdv を停止する。
5. AM は、コネクションの状態を監視し、AL の通信が終了したと判断してから、CAdv を停止する。

クラスタ内の端末であっても、AReq を受信しなかった場合、CAdv を一定時間経過後に停止させている。これは、必要最低限の情報の配信のみを行い、無駄な電力消費を抑えるためである。

3.2.2 アライアンス内での情報管理

アライアンス内では、各端末が以下に示すような情報を定期配信する。図 3 の Cluster Control 部分にて、端末の情報を Terminal Profile として格納し、メンバの管理を行っている。AM は、この情報をアライアンスのメンバの変更や、トラフィック分配方法決定のための指標として利用する。

Network Interface の状態

- クラスタリンク (デバイス名, IP アドレス, 帯域幅, 遅延, パケットロス率, 電波状況)
- 外部リンク (デバイス名, CoA, ホームアドレス, 帯域幅, 稼動状況, 遅延, 電波状況)

Network Interface の情報は最も重要な情報である、クラスタ内側のインタフェースと外部ネットワークに接続可能なインタフェースの両方を監視する。クラスタ側ではインタフェースの種類や IP アドレスの情報とともに、プローブパケットを用いることにより、クラスタ内のリンクの遅延やパケットロス率を計測する。クラスタ内側の IP アドレスは、クラスタ内の識別子としても利用する。

外部リンク側においても同様に、デバイス名や IP アドレス、稼動状況に加えてプローブパケットによりリンク遅延の計測を行う。AM の外部リンクアドレスを認知することで、AL は HA に、AM の CoA を登録することが可能になる。またリンク遅延等の情報は、HA・AM 双方がトラフィック分配を行う際の重要な指標となり、ポリシーによるトラフィック制御を行う。

ホームアドレスは、ARN がトラフィックを中継する際に知っておかなければならない。HA からの分配パケットは、AL のホームアドレス宛てのパケットに、AM 宛てのヘッダをカプセル化して送信している。ARN はパケット中継時に、カプセル化を解除し、AL のホームアドレス宛てのパケットを、クラスタリンクを通じて転送するようにルーティングの制御を行う。

それぞれのインタフェースの電波状況は、アライアンスを構築する際の指標および通信の切断を予見するために利用する。端末の CPU、バッテリー残量 SHAKE では、他の端末が持つ CPU、バッテリーを消費する。アライアンスを動的に構築する際に参考となる情報である。

アクセスポイントに関する情報 AM が、同一のアクセスポイントに接続していた場合、帯域を圧迫しあう恐れがある。アライアンス構築時、同一のアクセスポイントへ接続された端末を、できるだけメンバとして使用しないように制御すれば、通信品質が安定化されると予測できる。

コネクション情報 (通信状況) コネクション情報を監視し、リンクの通信状況を把握する。それによりリンクの状況に合わせた競合制御等が可能となる。AM が同時に SHAKE を用いて通信を行おうとした場合、各々の通信が帯域を圧迫しあうことで性能の低下を招くと予想できる。リンクの状況を把握する事で、競合が起こる前に制御をさせることが可能となる。

3.3 トラフィック制御

3.3.1 HA・AM 間のリンク監視

Mobile IP SHAKE では、AM と HA 間でトラフィック分配に関連する端末情報および分配方法に関する制御管理を行う。

Mobile IP では、MN はネットワーク間移動を検知すると、新たな CoA を自身の HA へ登録する。Mobile IP SHAKE では、この機能を拡張し、AL が HA に対して自身の CoA とともにすべての AM の CoA の登録を行う。

HA・AM 間では端末の登録とともに、トラフィック分配制御のための情報を交換する。AL は、AM 間にて決定されたユーザポリシーを HA へ通知し、HA でのトラフィック分配制御に利用させる。また Mobile IP SHAKE を用いた通信中には、HA とすべての AM 間にて、遅延測定用のパケットを交換し、トラフィック分配を動的に制御する。

3.3.2 HA・AL でのトラフィック制御

SHAKE を利用したトラフィックの分配ではネットワーク状況に応じ、フロー毎に分配、もしくは単一フローを複数に分配を行う。複数のフローを同時に受信しなければならない時は、フロー毎に複数経路へ振り分ける。大きなファイルをダウンロードする場合やビデオ等のストリーム通信を行う場合は、単一のフローを複数に分配する。単一フローを複数の分配する際には、AM と HA 間の帯域、遅延等に応じて分配し、スループットの向上を図る。また、トラフィック分配時には、共有情報から使用帯域の競合制御も同時に行う。

クラスタ管理機構では、ポリシーデータベース、リンクモニターをもとにトラフィックの分配を制御する。図 3 の Policy Database 部分にて、ユーザの要求を格納しておく。ポリシーをもとに、フロー毎に分配、単一フローを複数に分配するといったトラフィック制御を行う。トラフィックを制御する機能(図 3 の Traffic Control 部分)は、HA とともに AM も保持している。下り通信(CN から AM への通信)の際には、HA のトラフィック制御機構を使用し、上り通信(AM から CN への通信)の際には、AM 内のトラフィック制御機構を使用する。

上り通信の際には、HA を経由しないので、HA・AM 間で監視していた遅延測定結果をトラフィック制御時の評価基準として用いることは適切ではない。上り通信時のトラフィックの分配は、HA・AM 間の遅延測定結果を使用せず、各 AM の外部リンクの最大帯域幅、端末のコネクション状況等を基に行うこととする。

3.4 アライアンス内での通信切断検知

アライアンス内で、通信が突然切断されると、SHAKE を利用したサービスに支障をきたし、通信品質の低下を招く。また AM の外部リンクが通信不可能になった場合も、AM が AM としての機能を果たさなくなる。このような場合、AL は即座にそのような状況を検知、または予見をすることで対応を行う必要がある。さもなければ、無駄なパケットロスによりスループットの低下を招く原因となる。このため AL は、ある AM の切断が予測されると、HA に対して登録解除を行う。

3.4.1 切断予測の方法

RTT 計測による切断検知 アライアンス内では、各端末が各々の間隔で資源情報を配信している。その資源情報の間隔を端末ごとに常に積算平均を行っておく。AM は、その RTT を基にメンバの有効期限を決定する。情報の間隔の定数倍を有効期限と定め、有効期限を超過しても情報が配信されてこなかった場合、アライアンスから離脱したものとみなす。

電波状況による切断の予見 電波状況を監視することで、端末が移動により通信が切断されることを予見できる。AL は電

波状況をクラスタリンク、外部リンク共に監視する。電波状況は距離が離れるほど低下していき、低下しすぎると通信不可能になってしまう。閾値を設定し、その閾値より低下したら、通信が切断されると判断する。

バッテリー残量低下に伴う切断 SHAKE を利用している途中で、バッテリー残量の低下により、通信の継続が困難となる可能性がある。突然バッテリーが切れてしまうと、他の AM に悪影響を及ぼしてしまう。バッテリー残量がある閾値以下に低下した AM は、アライアンスから離脱させる。

3.5 セキュリティ

SHAKE は、移動端末が他人のパケットを一部ルーティングするため、セキュリティ上において問題を含んでいる。問題点としてはまず、パケット中継による通信内容の盗聴、改ざんが考えられる。Mobile IP SHAKE では、AM にパケットを中継させる。そのため、中継時において CN からの通信内容を盗聴、改ざんが可能となる恐れがある。この問題は、IPsec を用いた通信により防止可能である。

しかし、さらに重大な問題は、AM による意図的なパケットドロップのような通信妨害である。AM 間ではお互いの認証を行うようにし、認証できた端末とできなかった端末とで、管理機能にセキュリティレベルを設け区別を行う。

4 まとめ

SHAKE を利用するための複数端末間の協調動作、クラスタ内端末の動的管理について検討を行った。協調動作では、適切な端末とアライアンスを構成するため、消費電力を意識しつつ的確に情報を交換する手法を提案した。アライアンスのメンバは、各メンバおよびホームエージェントと情報交換を行い、動的なトラフィック制御を行う。トラフィック制御機構では、ポリシーを基にフロー毎に分配、単一フローを複数に分配し、競合制御も同時に行う。協調動作後もネットワーク状況の変化に対応させる必要があり、そのためにはネットワーク状況変化の早期発見と変化時の対応が必要である。ネットワーク状況変化の早期発見方法としては、アライアンス内での RTT 計測、電波状況を考慮した方法等を検討した。

今後は、検討したクラスタの管理機構を Mobile IP SHAKE 上で動作させ、実験により評価を行う予定である。

参考文献

- [1] H. Mineno, S. Ishihara, K. Ohta, M. Aono, T. Ideguchi, and T. Mizuno, "Multiple paths protocol for a cluster type network," *Int. J. Commun. Syst.*, vol. 12, pp. 391-403, 1999.
- [2] 伊藤陽介, 小山健二, 太田賢, 石原進, "Mobile IP を用いた通信回線共有方式の実装," マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2003)シンポジウム論文集, 情報処理学会シンポジウムシリーズ, Vol.2003, No.9, pp.97-100, 2003.
- [3] 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.
- [4] X. Zhao, C. Castelluccia, and M. Baker, "Flexible Network Support for Mobility," *MobiCom 1998*, 1998.
- [5] 小西洋祐, 石原進, 峰野博史, 太田賢, 水野忠則, "通信回線共有方式のためのクラスタ資源発見・管理機構の実装," 情報処理学会研究報告, 2003-MBL-24, Vol.2003, No.21, pp.135-142, 2003.