

自律分散的マイクロモビリティサポートのための 基地局間マルチホップ網

小森田賢史[†] 金子 晋丈[†] 森川 博之^{††} 青山 友紀[†]

[†] 東京大学大学院情報理工学系研究科

〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

^{††} 東京大学大学院新領域創成科学研究科

〒 277-8582 千葉県柏市柏の葉 5-1-5

E-mail: †{komo,kaneko,mori,aoyama}@mlab.t.u-tokyo.ac.jp

あらまし 近年、増加している無線 LAN インタフェース搭載端末に対して、基地局のハンドオフを意識せずシームレスに無線 LAN を使用するモビリティサポートの必要性が増している。頻繁にハンドオフを行う無線 LAN では、異なるドメイン間でも近接した基地局間のハンドオフにマイクロモビリティサポートを用いることが有効である。筆者らは、地理的に近い基地局で無線マルチホップ網を構築し、基地局間で自律分散的にフレームを転送することで、異なるドメインの基地局間のハンドオフであっても、マイクロモビリティサポートを実現する機構について検討を行った。この機構は、移動端末と同じドメインの基地局が端末の近隣に存在する事に着目し、移動端末からのフレームを常に当該基地局に無線マルチホップ網を介して転送することで、仮想的に同じ特定の基地局に接続しているように振る舞う。以上の機構を実装し動作を検証するとともに、無線マルチホップ網を介した際の遅延、スループットに関し評価を行った。

キーワード マイクロモビリティ 自律分散 無線 LAN マルチホップ

Satoshi KOMORITA[†], Kunitake KANEKO[†], Hiroyuki MORIKAWA^{††}, and Tomonori AOYAMA[†]

[†] Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo

Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656 Japan

^{††} Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

Kashiwanoha 5-1-5, Kashiwa-shi, Chiba, 277-8582 Japan

E-mail: †{komo,kaneko,mori,aoyama}@mlab.t.u-tokyo.ac.jp

Abstract Recently, mobility supports are required for using Wireless LAN without regard to handoff between base stations. It is effective to use micro mobility support when a mobile host moves to the adjacent base stations even in different domains. We proposed an autonomous micro mobility support system which still works between different domains by multihop wireless network. On this system, frames which are sent from a mobile host are forwarded to a specific base station attached to the same domain as the mobile host through the multihop wireless network. This will enable mobile hosts to act as if it is attached to the same base station. We implemented the system above to verify its behavior and also evaluated the latency and throughput when the multihop wireless network is used.

Key words Micro-Mobility Autonomous Wireless-LAN Multihop

1. はじめに

近年、ネットワークは広く普及し、生活・ビジネスにおいて欠かせないものとなってきた。それに伴い、固定端末だけでなく、より小型化した移動端末の需要も増え、容易にネットワークを利用できるよう無線 LAN インターフェースを備えた移動端末が増加している。一台の無線 LAN 基地局がカバーする範

囲は半径数十メートル程度であるため、移動端末は移動しながらいくつもの基地局を切り替えて、無線 LAN を利用することが想定される。これらの基地局が同じレイヤ 3 サブネットの場合、切り替えを行っても IP アドレスを維持しサービスを継続して利用できるが、切り替え後の基地局のレイヤ 3 サブネットが前のものと異なり IP アドレスの変化や、ルーティングの変化により利用していたサービスが中断されてしまう。

そこで、レイヤ3サブネットの異なるネットワークに移動端末が移動した際にも、通信を継続できるように様々なモビリティサポートが検討されている。モビリティサポートはマクロモビリティサポートとマイクロモビリティサポートに大別される。マクロモビリティサポートは、主にIPアドレスの変化に対応し、インターネット上で広域な範囲の移動をサポートする。マイクロモビリティサポートは、地理的に狭い範囲の移動しかサポートしないが、移動後も同じIPアドレスを用いることで、異なるネットワークへ移動した場合も、マクロモビリティサポートと比較して、短時間で通信を再開することができる。カバー範囲の狭い無線LAN基地局の場合、頻繁に地理的に近い基地局を切り替えることが多い。そのため、広域の移動にはマクロモビリティサポートを用いつつ、地理的に近い基地局に切り替える際には、できる限りマイクロモビリティサポートを用いることが有効である。

基地局の切り替えの際にマイクロモビリティサポートを行うことで、高速かつシームレスな切り替えが可能となり、ユーザは移動端末が基地局を切り替えることを考慮することなく、移動しながら自由に無線LANを利用することができる。さらに、基地局を管理するネットワーク事業者が異なる場合でも、その基地局間でマイクロモビリティサポートが可能であれば、複数あるネットワーク事業者を意識せず、より広範囲でシームレスに無線LANを利用することができる。かつ、事業者も互いに協力して無線LANのカバー範囲を広げることが可能である。また、事業者だけでなくより小規模な店舗、個人等のネットワークと連携することで、カバー範囲をより広く、より容易にシームレスなネットワークの構築を可能にする。

しかしながら、HAWAII [1], Cellular IP [2] などマイクロモビリティサポートを行う既存の手法は、マイクロモビリティサポートに必要な移動端末の位置情報の共有や、高速な切り替えのためのルーティングを、管理者が異なるネットワーク（以下、ドメイン）間で行っていないため、ドメイン間のマイクロモビリティサポートを行うことができない。

本稿ではドメイン間の移動にも対応できるマイクロモビリティサポートについて検討する。具体的には、自律分散的な端末位置情報の共有と高速なルーティングをドメイン間で行う。これらをドメイン間で行うために、マイクロモビリティサポートを行う範囲は狭く、基地局は地理的に近いことを利用して、ドメイン間通信を基地局同士で直接行う。なお基地局同士の通信は設置の容易さとケーブル敷設コストの低減を考慮して無線を使用し、転送距離を伸ばすため無線マルチホップ網を構築する。

以下、既存のマイクロモビリティサポートと自律分散的マイクロモビリティサポートについて述べ、ドメイン間で自律分散的にマイクロモビリティサポートを行う機構 CommoNet の概要とその実装、動作結果を述べる。

2. 既存のマイクロモビリティサポート

2.1 ドメイン内マイクロモビリティ

HAWAII は、ドメイン内において移動端末が移動した場合に、パケットロスを低減し、素早く通信を再開する手法である。HAWAII を行うネットワークは、無線基地局を兼ねたルータによって階層化構造を成している。移動端末は基地局に接続し

ている間、接続状態を確認するために接続している基地局へ、定期的にパケットを送信する。移動端末が基地局を切り替える場合、基地局から移動端末を切断すると切断された基地局はこれを検知し、移動端末に未だ送信されるパケットをバッファする。移動端末が別の基地局に接続すると、その基地局は移動端末の接続を検知し、移動端末へのパスの更新を促す。これにより、元の基地局から新しい基地局に接続された移動端末へ、バッファしていたパケットを送信する。これ以降のパケットは新しい基地局に接続した移動端末へ直接転送される。

Cellular IP は、Mobile IP [3] と相互動作し高速に基地局の切り替えを行う。Cellular IP ネットワークは、ルータ機能を持つ Cellular IP Node が相互接続し、IP ネットワークへのインターフェースを持つ Cellular IP Gateway を根として階層化した構造を持つ。Cellular IP Node は基地局を兼ねることができ、移動端末は Cellular IP Node に接続して通信を行う。この Cellular IP Node は移動端末が送信するパケットを監視することで、移動端末の位置を把握し、移動端末へパケットのルーティングを行う。移動端末が基地局を切り替えると、切り替え後の基地局は移動端末から送信されるパケットを検出し、移動端末の位置情報と移動端末へのルーティングを更新する。また、切り替え後も元の基地局へ一定時間パケットを送信し、ソフトハンドオーバーを行う。

このように HAWAII, Cellular IP は、ルータ機能を有した機器が移動端末の位置を管理し、ルーティングを更新することでマイクロモビリティサポートを行う。しかしながら、この手法がターゲットとしている移動範囲は、この手法の機能を有するルータを配置したドメイン内のみであり、他のドメインへ移動端末が移動した場合、マクロモビリティである Mobile IP [3] を使用する。そのため、例え移動先のドメインが HAWAII, Cellular IP に対応している場合でも、ドメイン間のマイクロモビリティサポートを行うことは出来ない。

2.2 ネットワークエッジの有線接続によるマイクロモビリティ

Link Layer Assisted Mobile IP Fast Handoff Method over Wireless LAN Networks [4] は Mobile IP において、異なる Foreign Network (FN) 間で移動端末が移動した際に、素早く通信を再開する手法である。この手法は異なる FN 間を有線ブリッジで接続する。ブリッジで接続されている FN_a から FN_b へ移動端末が移動する場合、FN_b に接続した移動端末は、ブリッジに Home Agent (HA) から FN_a に転送される移動端末へのパケットを、FN_b へ転送するよう通知する。また、移動端末が送信するパケットを、ブリッジを経由して FN_a へ転送し、FN_a から通信相手へパケットを送信する。なお、移動端末が受信するパケットは、フレーム中の移動端末の MAC アドレスにより識別される。この動作と並行して、FN_b で端末の登録を行い、HA から FN_b へパケットを転送する。HA から FN_b へパケットを転送開始した後、ブリッジは FN_a, FN_b 間のパケット転送を停止する。このようにして、FN_a から FN_b へ移動する際に、HA が FN_b へパケットを転送するまでの間、ブリッジを経由して FN_a から FN_b へパケットを転送する。

この手法では、切り替えが遅い Mobile IP を、ドメイン間で高速に切り替え可能にする。しかしながら、この手法では移動

端末が送受信するパケットの識別に MAC アドレスを用いているため、有線ブリッジを基地局と同じセグメントに接続しなければならない。n 個のセグメントがある場合、いずれのセグメント間でもマイクロモビリティサポートを可能にするには最大で $n(n-1)/2$ 本の有線接続が必要である。そのため、小規模で多数のドメインや階層化によりセグメントが細分化されている場合、敷設コストがかかる。またこの手法は、Mobile IP を必要とする機構であるため、全てのドメインにインターネットへの回線と、Foreign Agent(FA)、HA が必要であり、店舗、個人規模の小規模なドメインには導入しにくい。

3. 自律分散的マイクロモビリティサポート

3.1 目 的

既存の手法では、マイクロモビリティを行うために必要な移動端末の細かな位置情報をドメイン間で共有せず、ドメイン間で高速なルーティングの切り替えを行うことが出来ない。また、高速なルーティング切り替えのために各ドメイン間のネットワークエッジを有線接続することは、多大な有線敷設コストを要し効率的ではない。

そこで、ドメイン間においても移動端末の位置情報を共有し、高速なルーティングの切り替えを、低コストで効率的に行う手法を既存の手法を基に検討する。なお、マイクロモビリティサポートを行う環境は地理的に狭い範囲であり、ドメインはネットワーク事業者のような大規模なドメインから店舗、個人規模の小さなドメインまでを想定する。

3.2 アプローチ

2. で述べたドメイン内で動作する既存の手法の拡張と、ドメイン間を有線接続する手法の効率化を図り、ドメイン間でマイクロモビリティサポートを行うことを検討する。

HAWAII, Cellular IP は階層化されたドメインで自律分散的に動作する。そこで、マイクロモビリティサポートを行う複数のドメインを、一つの大きなドメイン内の階層化したドメインと見なすことで、HAWAII, Cellular IP をドメイン間で動作させることを検討する。このためには、各ドメインのルータから、共通の基幹ルータまでを HAWAII, Cellular IP に対応させる必要がある。しかしながら、地理的に近いドメインもネットワーク上では遠く、インターネットのバックボーンは階層化されていない。そのため、ドメインを一つと見立て HAWAII, Cellular IP を適用するのは困難である。また、インターネット回線の使用契約によっては、他ユーザの回線使用を禁じている場合もある。従って、インターネットへの上流回線を用いず、地理的に近い特徴を利用しドメイン間を直接接続する。

ドメイン間を直接接続しネットワークを構築する場合、2.2 で述べた手法では、端末が移動する 2 つのセグメント間を直接有線接続しなければならない。多大な敷設コストを要する。そこで、セグメント間を直接接続せずとも、複数のセグメントを経由して、目的のセグメントまでパケットを転送することで、有線接続数を減らすことができる。しかし、ドメインの規模が小さく数が多い場合は、やはり敷設コストがかかる。そこで、有線ではなく無線でドメイン間を接続することを検討する。無線接続では敷設コストがかからず、ドメインが多数ある場合でも有効である。なお、無線では通信可能な距離が有線と比較して

短いため、基地局をマルチホップすることで広範囲にわたっての転送を可能にする無線マルチホップ網を構築する。

2.2 で述べた手法では、Mobile IP が必須であるため、全ドメインにインターネット回線、HA、FA を必要とする。しかしながら、マイクロモビリティサポートのみであれば、設備コストがかかる Mobile IP と連携する必要はない。Mobile IP においてルーティングが更新されるまで、一時的にパケットをドメイン間で転送するのではなく、常にパケットをドメイン間で転送することで、Mobile IP と切り離し、マイクロモビリティサポートのみを行うことが可能である。

以上から基地局により構築された無線マルチホップ網によってドメイン間を接続し、このネットワーク上で移動端末が送受信するパケットを移動端末が使用するドメインまで転送することで、ドメイン間のマイクロモビリティサポートを行うことを検討する。この手法により、移動端末はどの基地局へ接続しても常時仮想的に同じドメインに接続しているように振る舞い、どのドメインの基地局へ切り替えても通信を継続することができる。また、この機構は移動端末に新たな機能が必要としないため導入が容易である。そして、基地局をマルチホップすることで、インターネットに接続されていない基地局でも、ネットワークを構成することが可能であり、無線 LAN のカバー範囲を容易に拡大することができる [7]。

3.3 課 題

3.2 で述べた手法を実現するためには、まず基地局間で無線マルチホップ網を構築しなければならない。各基地局は周囲の基地局への接続状態及び、目的の基地局までの転送経路を探索し、マルチホップ転送を行う。そして基地局間で構築するマルチホップ網と基地局に有線で接続された既存のネットワークが混同しないようパケットを転送する必要がある。

また、複数のドメイン間で動作するため、それぞれのドメインは全体のレイヤ 3 トポロジを知ることが出来ない。そのため、移動端末や基地局の IP アドレスが重複する可能性がある。固有のグローバル IP アドレスを用いることも考えられるが、多数存在する基地局や移動端末に固有のグローバル IP アドレスを割り当てることは現在の IPv4 では困難であり、プライベートアドレスが用いられる場面も多々あると考えられる。

さらに、どの移動端末がどのドメインを利用するか、その対応付けを行わなければならない。以下に課題をまとめる。

- 効率的な転送を行うマルチホップ網の構築
- 重複する IP アドレスの対策
- ドメインと移動端末の対応付け

上記に述べた課題を解決し、自律分散的マイクロモビリティサポートを行う機構を次の章で述べる。

4. 基地局間マルチホップ網 - CommoNet

4.1 概 要

本機構の目的は、移動端末が異なるドメインの基地局へ接続した場合でも IP アドレスを維持したまま、通信を継続することにある。加え、マイクロモビリティを行う際に基地局の上流回線を使用せず、移動端末の IP アドレスが重複して使用される可能性のあるプライベート IP アドレスでも動作する。なお、個々に独立した基地局が地理的に近い基地局と連携し、自律分

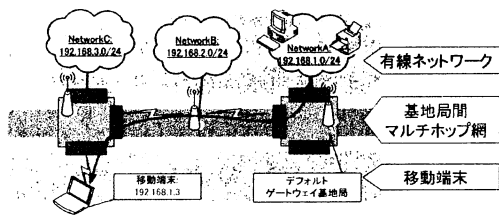


図 1 転送イメージ

散的にマイクロモビリティを実現するこの機構を CommoNet と呼ぶ。

ドメインごとに異なるレイヤ 3 トポロジに依存せず IP アドレスを維持するために、基地局が互いに情報を共有し、移動端末がどの基地局に接続しても移動端末が送受信するパケットを、移動端末と同じドメインの特定の基地局 (デフォルトゲートウェイ基地局) へ転送する。図 1 に、その転送イメージを示す。この手法は移動端末が送受信するパケットを全て本来のドメインまで転送することで、接続している基地局のドメインのネットワークトポロジに影響されることなく IP アドレスを維持し続けることを可能にする。これにより、移動端末はどの基地局に接続しても、仮想的に常にデフォルトゲートウェイ基地局に接続していることになる。各基地局は、移動端末の識別、移動端末に対応したデフォルトゲートウェイ基地局の検索、およびデフォルトゲートウェイ基地局へのパケット転送を行わなければならないが、本機構では端末識別を MAC アドレスに基づき、レイヤ 2 で処理を行う。レイヤ 2 で処理を行うことにより、不明であるレイヤ 3 トポロジの構成に依存しない。

また、基地局間でのフレーム転送には、基地局間で構築した無線マルチホップ網を使用するが無線では帯域資源が乏しいため、フレームの転送処理にはブロードキャストを用いず、効率的に基地局間の転送経路を自律分散的に発見更新し、その範囲にも制限を設ける。無線マルチホップ網における自律分散的な経路発見・更新の手法は、既存のアドホックネットワークルーティングプロトコルを応用する。

以下、4.2 節でフレーム転送経路を自律分散的发现・更新する機構を 4.3 節で無線マルチホップ網において目的の基地局、端末までフレーム転送する手法を、4.4 節でデフォルトゲートウェイ基地局について述べる。

4.2 経路発見・更新

基地局間でフレームを目的の端末、基地局まで転送する場合、効率的に帯域を使用するため、必要最小限の基地局のみを経由して目的の基地局、端末へ到達させる。このような複数の基地局、端末間で目的の基地局、端末までの経路発見・更新を行う手法は、既存のアドホックルーティングと類似している。そこで、既存の手法から CommoNet に適した手法を選別し改良を加えることで経路発見・更新を行う。基地局、端末をノードと見立て、CommoNet をアドホックネットワークとしてとらえると特徴として、基地局ノードの移動はほとんど無く、電力は無制限であること、端末ノードは、基地局ノードのみと接続すること、端末ノードは隣接基地局ノードに切り替えることが多いことが挙げられる。これらの特徴をふまえ、Distance-Vector [5] を用いた Fisheye State Routing [6] を適用する。

Distance-Vector は、目標ノードへ到達する経路上のノードの内、フレームを送信するノードが次のノードのみを保持する方法である。フレームを受信したノードは、同様に次のノードのみを把握し、そのノードへフレームを転送する。これを繰り返すことで最終的に、目標ノードに到達する方法である。

Fisheye State Routing は、ノードの接続状態を、そのノードに近いノードほど詳しく頻繁に更新し、遠くのノードほど長間隔で更新する手法である。この手法では、接続状態の更新に用いるコントロールフレームによるオーバーヘッドを小さくすることができる。欠点として遠くノードへフレームを送信すると、経路情報が古く正しく転送されにくい。しかし、Distance-Vector と併用すると、送信したノードが古い経路情報を持っていた場合でも、目標ノード近くのノードほど新しい経路情報を持っているため、正しいノードへ転送を行うことができる。この手法はノードが大きく移動すると上手く機能しないが、CommoNet では基地局ノードは殆ど移動せず、端末ノードは隣接する基地局ノードに切り替えることが多いため有効な手法である。

以上より CommoNet は経路を発見・更新する。基地局は隣接基地局との接続状態を定期的に調べ、その情報を周囲の基地局に送信範囲と送信間隔は近いほど頻繁に、遠いほど長間隔で通知する。そして基地局間の接続状態を基に、ダイクストラアルゴリズムを用いて目標ノードへの最短経路を調べ、経路上の次のノードを保持する。データフレーム送信時には、この経路情報を用いる。

4.3 レイヤ 2 転送処理

CommoNet 基地局は端末識別を MAC アドレスに基づき、レイヤ 2 において処理を行う。この CommoNet 基地局は、基地局が属する有線ネットワークへの有線インタフェース、移動端末が接続する無線インタフェース、基地局間で構築されるマルチホップ網への無線インタフェースの 3 つのインタフェースを持つ。有線インタフェース、端末接続インタフェースでは既存のネットワークに組み込めるようそれぞれ IEEE802.3 もしくは Ethernet II, IEEE802.11 規格に基づいてフレームを扱う。基地局間無線インタフェースでは IEEE802.11 に基づくが、既存の IEEE802.11 の規格ではフレームヘッダの情報収容量が足りず、マルチホップを行うことができないため、フレームヘッダを拡張してマルチホップ転送を行う。

これら 3 つのインタフェースの関係を図 2 に図示する。CommoNet 基地局はそれぞれのインタフェースから入力されるフレームをレイヤ 3 ネットワークを混合しないよう該当するインタフェースへ出力する。また、CommoNet に対応しない通常の無線 LAN 搭載移動端末も CommoNet 基地局を通常の基地局として利用できるようにする。そのためのフレーム振り分け処理を、ユニキャスト、ブロードキャストごとに述べる

a) ユニキャスト

移動端末からのユニキャストフレームは、基本的に送信先端末に転送するか、送信先の情報がない場合はデフォルトゲートウェイ基地局を介して有線ネットワークへ転送する。有線ネットワークからのユニキャストフレームは、送信先がその基地局をデフォルトゲートウェイ基地局としている移動端末 (子端末) が基地局に接続している CommoNet 非対応の移動端末 (通常

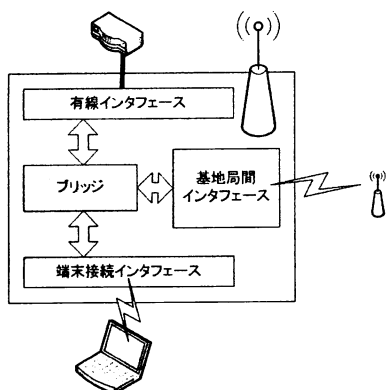


図2 3 インタフェース間ブリッジ

端末)であればその端末へ転送される。その他の場合はフレームを破棄する。

b) ブロードキャスト

移動端末が属するレイヤ3サブネット内にブロードキャストを行う場合、レイヤ3サブネット内の端末だけにブロードキャストフレームを送信しなければならないが、レイヤ2で処理を行っているため、移動端末からフレームを受信した基地局はフレームを送信すべき同じレイヤ3サブネット内の端末を識別できない。そこで、ブロードキャストフレームを一度デフォルトゲートウェイ基地局に転送し、デフォルトゲートウェイ基地局が有線ネットワークへフレームをブロードキャスト、子端末へフレームをユニキャストすることで、レイヤ3サブネット内の端末へブロードキャストフレームを送信する。

4.4 デフォルトゲートウェイ基地局

デフォルトゲートウェイ基地局は移動端末ごとに1つ定まり、移動端末が送受信するフレームをデフォルトゲートウェイ基地局に転送することで、移動端末が常に仮想的にデフォルトゲートウェイ基地局に接続しているかのように振る舞う。このような動作を行うには、移動端末とデフォルトゲートウェイ基地局の対応付けを行わなければならない。また、デフォルトゲートウェイ基地局は有線ネットワークからのフレーム、またブロードキャストフレームを子端末に送信するために自身の子端末を把握しておく必要がある。

4.4.1 移動端末と基地局の対応付け

移動端末とデフォルトゲートウェイ基地局の対応付けのために、デフォルトゲートウェイ基地局のMACアドレスを識別子として使用する。移動端末はこの識別子を基地局に接続する際のSSIDとして指定し、基地局は移動端末が接続した際のSSIDによって、デフォルトゲートウェイ基地局を対応づける。また、この対応をデフォルトゲートウェイ基地局が認識するために、デフォルトゲートウェイ基地局は転送されるフレームを監視し、自身をデフォルトゲートウェイ基地局に指定するフレームの送信元移動端末を子端末として登録する。対応付け情報をデフォルトゲートウェイ基地局に送信する手法も考えられるが、4.3で述べたマルチホップ転送を行うために、フレームヘッダにはデフォルトゲートウェイMACアドレスを指定するフィールドとフレームの送信元MACアドレスを指定するフィールドがあ

るため、これを利用することでオーバーヘッドを減らす。

4.4.2 対応の管理

デフォルトゲートウェイ基地局は、子端末へフレームを送信可能かを調べ、子端末がフレーム到達可能な範囲外の場合、子端末登録を消去する。これにより、転送不可能な位置にある移動端末へフレームを送信せず、無駄なフレーム送信を減らす。そのため、子端末登録に一定の生存期間を設け、生存期間中に子端末からのフレームを受信しなかった場合、登録を消去する。移動端末が接続している基地局は、移動端末がフレームの送受信を行わない場合にも、子端末へ送信可能であることをデフォルトゲートウェイ基地局に通知するため、一定間隔でデフォルトゲートウェイ基地局へフレームを送信する。

5. 基地局間マルチホップ網 実装・評価

5.1 実装

CommoNetの動作確認・性能評価を行うために、Pentium III 450MHzマシンにWaveLAN IEEE802.11b無線LANカードを基地局間の無線マルチホップ網用インタフェースとして使用し、FreeBSD4.9RELEASEカーネルにCommoNet基地局機能を実装した。測定用に任意の転送経路を作成するため、基地局間の接続情報と移動端末とゲートウェイ基地局の対応は外部コントローラから指定する方法をとった。また、測定用移動端末には、標準のFreeBSD4.9 RELEASEを使用した。

5.2 実験・結果

マイクロモビリティサポートの動作確認のため、基地局をマルチホップしてユニキャスト(TCP,UDP)、ブロードキャスト(ARP,DHCP)が使用可能なことを確認し、さらにIPアドレスを維持したまま、異なるドメインと見なした別のレイヤ3サブネットの基地局に、切り替え可能なことを確認した。また、複数の移動端末が同時に通信を行った場合にも同様に動作することを確認した。

無線マルチホップ網の性能測定として、基地局を障害物の無い半径2mの円内に設置し、転送経路のホップ数を1~6ホップまで変化させ、ping, iperfを用いて、遅延とTCP,UDPスループット変化の測定を行った。図3に遅延の最小値、平均及び標準偏差を平均に付け加えたものを示す。ホップ数が増えるにつれ、遅延は大きくなり、そのばらつきも大きいことが分かる。図4にホップ数、ウィンドウサイズの変化によるTCPスループット、図5にホップ数、データグラムサイズによるUDPスループットを示す。理論上スループットはnホップで1/nの速度低下となることを確認するため、図4のグラフから実測値と最も一致するM/(hop count)の理論曲線を求めると、M≒4Mbpsとなる。Mは1ホップの通信速度であり、IEEE802.11bでの実効速度は4~5Mbpsであることから妥当な値である。

次に、2台の移動端末が同時に通信する場合のTCP,UDPのスループットの変化を測定した。3ホップで同じ経路を反対方向に同時にフレームを送信する。このTCPスループットを図6に示す。ウィンドウサイズが20,000Bytes以上では、通信を行うHostAとHostBの速度差が大きくなっている。図7に示すUDPスループットでは、データグラムサイズに依らず速度差が大きい。これは、基地局間転送に使用したIEEE802.11にフレーム転送の優先度があるためである[8]。

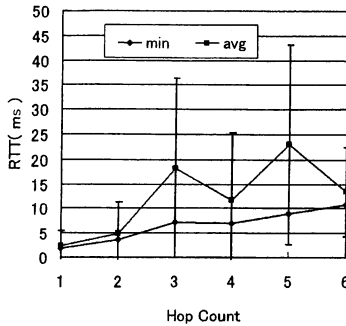


図 3 1 端末通信 - 遅延

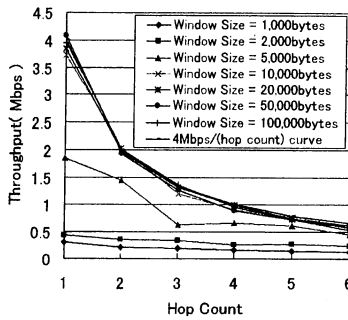


図 4 1 端末通信 - TCP スループット

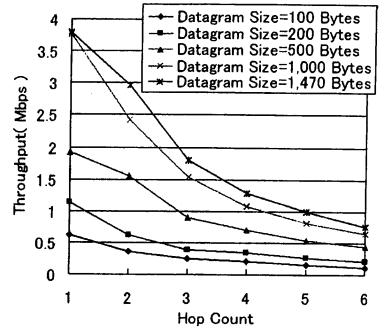


図 5 1 端末通信 - UDP スループット

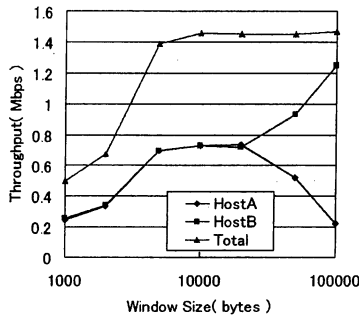


図 6 2 端末通信 - TCP スループット

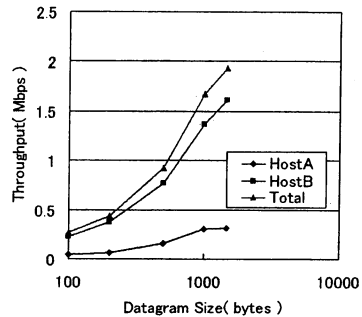


図 7 2 端末通信 - UDP スループット

6. おわりに

ドメインの異なる基地局間で自律分散的に無線マルチホップ網を構築し、移動端末が送受信するフレームをデフォルトゲートウェイ基地局へ転送することで、自律分散的にドメイン間のマイクロモビリティサポートが可能なることを CommoNet の実装・評価により確認した。課題として述べた、IP アドレスの重複に関しては、レイヤ 2 で処理を行うことで解決し、移動端末とデフォルトゲートウェイ基地局の対応付けは MAC アドレスを SSID を用いて指定することにより行っており、移動端末に新たな機能は必要ない。

一方で、IEEE802.11 を用いて無線マルチホップを行ったため、遅延やジッタが大きく、端末ごとに速度差が生じている。これを解決するには、低遅延、高スループットで、端末ごとの速度差を小さくするアドホックネットワークに適した MAC プロトコル [9] が必須である。また、现阶段では CommoNet 基地局を設置するだけで自律分散的にマイクロモビリティサポートを行い、ネットワークを拡張している。しかし、ドメインのセキュリティ管理のためモビリティサポートを許可する基地局、端末を制御するシステムが必要である。加え、他人の基地局を経由することで MAC アドレス詐称によりネットワークに侵入されたり、盗聴される可能性がある。そのため、認証や暗号化といったセキュリティシステムも必要である。

文 献

[1] R. Ramjee, T. La Porta, S. Thuel, K. Varadhan, and S.

Wang, "HAWAII: A Domain-based Approach for Supporting Mobility in Wide-Area Wireless Networks", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.10, No.3, June 2002.

- [2] A. Valko, "Cellular IP: A New Approach to Internet Host Mobility", ACM SIGCOMM Computer and Communication Review, v. 29, n. 1, January 1999.
- [3] C. Perkins, "IP Mobility Support", RFC2002, IETF, October 1996.
- [4] H. Yokota, A. Idoue, T. Hasegawa, and T. Kato, "Link Layer Assisted Mobile IP Fast Handoff Method over Wireless LAN Networks", in Proc. of ACM Mobicom 2002, September 2002.
- [5] C. Perkins and P. Bhagwat, "Highly Dynamic Destination Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers", in Proc. of the ACM SIGCOMM, October 1994.
- [6] G. Pei, M. Gerla, and T. Chen, "Fisheye State Routing: A Routing Scheme for Ad Hoc Wireless Networks", in Proc. of IEEE ICC 2000, vol. 1, pp. 70-74, January 2000.
- [7] J. Hassan and S. Jha, "Cell hopping: a lightweight architecture for wireless communications", IEEE Wireless Communications, Vol. 10, No. 5, pp. 16-21, October 2003.
- [8] S. Xu and T. Saadawi, "Does the IEEE 802.11 MAC Protocol Work Well in Multihop Wireless ad hoc networks", IEEE Communications Magazine, Vol. 39, No. 6, pp. 130-137, June 2001.
- [9] A. Acharya and A. Misra, and S. Bansal, "High-performance architectures for IP-based multihop 802.11 networks", IEEE Wireless Communications, Vol. 10, No. 5, pp.22-28, October 2003.