

## アドホックネットワークによる ユビキタスインターネットアクセス

太田 賢 吉川 貴 中川 智尋 磯田 佳徳 杉村 利明

NTT ドコモ マルチメディア研究所  
239-8536 神奈川県横須賀市光の丘 3-5 NTT DoCoMo R&D センタ

E-mail: {ken, takashi, nakagawa}@mml.yrp.nttdocomo.co.jp

あらまし 端末同士で構成されるアドホックネットワークにより、セルラやホットスポット等のカバレッジを広げると共に、異種無線システムをマルチホップで接続できる。本稿は、多様な無線システムとアドホックネットワークが結合されたユビキタスネットワーク環境に対し、無線と端末のリソースに基づくリソース志向ルーチング方式を提案する。無線インタフェース種別やスループット等の無線リソースの広告により、端末が異種無線システム環境でも適切なアクセスポイントにマルチホップで接続可能にする。また、ゲートウェイとして中継処理を行う端末の負荷や残存バッテリー等の端末リソースの広告により、負荷集中を防ぎ、端末のリソースを保護する。実装により、提案方式の有効性を確認した。

キーワード アドホックネットワーク、第4世代移動通信システム、異種無線システム、リソース志向ルーチング

## Ubiquitous Internet Access via Ad hoc Network

Ken Ohta, Takashi Yoshikawa, Tomohiro Nakagawa,  
Yoshinori Isoda, and Toshiaki Sugimura

Multimedia Laboratories, NTT DoCoMo, Inc  
3-5, Hikarinooka, Yokosuka, Kanagawa, 239-8536, Japan

E-mail: {ken, takashi, nakagawa}@mml.yrp.nttdocomo.co.jp

**Abstract** Integration of ad hoc networks and terrestrial networks such as cellular and hot spot services can extend coverage area and connect heterogeneous networks by multihop capability. To realize ubiquitous network environments, we propose resource-oriented routing for heterogeneous network environments with ad hoc network. By advertising wireless resources like types of wireless interfaces and throughput, the resource-oriented routing allows mobile hosts to connect appropriate access point in heterogeneous network environments via an ad hoc network. It advertises gateway host resources like a load and a battery to avoid concentration of loads. We implemented this method and confirmed its feasibility.

**Key words** Ad-hoc network, Mobile communication system, Heterogeneous networks, Resource-oriented routing

## 1. はじめに

近年、無線 LAN や Bluetooth によるホットスポットサービスが注目を集めている。無線 LAN はオフィス、家庭への普及が進み、Bluetooth 搭載の携帯電話も登場した。第 3 世代移動通信システムの IMT-2000 の導入も始まったが、第 4 世代システムは IP をベースとして、セルラや無線 LAN、Bluetooth、さらにはデジタル放送までを含めた多様な無線通信システムの統合と見られている[1][2][3]。端末が複数の無線インタフェースを備えれば、高速かつ安価な無線 LAN と広域なセルラのシームレスな使い分けも可能になる。しかし、これらインフラ型の通信サービスでユビキタスなアクセスを提供するには、多数の基地局やアクセスポイントの配備が必要とされる。

これに対し、端末同士で構成されるアドホックネットワーク[4][5]を利用して、インフラネットワークのカバレッジを広げる提案がなされている[8-11]。中継処理はリソース制約のある携帯端末にとって負担であるが、セルラやホットスポットのエリア内の端末がエリア外の端末に対し、ネットワークアクセスを提供できる。また、マルチホップにより異種の無線システムを接続でき、より柔軟な常時接続環境が構築できる可能性がある。

本稿は、多様な無線システムとアドホックネットワークによるユビキタスインターネット環境の実現を目指し、無線と端末のリソースに基づくリソース志向ルーティング方式を提案する。無線インタフェース種別やスループット等の無線リソースの広告により、端末が異種無線システム環境でも適切なアクセスポイントにマルチホップで接続可能にする。また、中継処理を行う端末のスループットや収容端末数、バッテリー等の端末リソースの広告により、一部の中継端末への負荷集中を防ぎ、端末のリソースを保護する。

以下、2 章でアドホックネットワーク技術とインフラネットワークとの連携に関する課題と関連研究を述べる。3 章で端末がアドホックネットワークを介してインフラネットワークに参加するための手順を示し、無線と端末リソースの広告に基づくルーティング方式を提案する。4 章でリソース志向ルーティング方式の実装と評価について述べ、5 章でまとめとする。

## 2. 課題と関連研究

本稿では、アドホックネットワークと多様な無線システムが結合したネットワークを、無線アドホックマルチホップアクセスネットワーク (WALK: Wireless Adhoc Multihop Access Network) と呼ぶ。

### 2.1 検討モデル

図 1 に WALK の検討モデルを示す。携帯端末や PDA、ノート PC 等の移動ホスト MH は、1 つ以上の無線インタフェースを備え、セルラの基地局や無線 LAN のアクセスポイント等を収容するアクセスルータ AR に接続する。AR のサービスエリア内に存在する MH は直接、AR に接続し、サービスエリア外の MH はエリア内の MH を経由して AR に接続する。特に AR に直接接続している MH のことを、ゲートウェイホスト GH と呼ぶ。MH はサービスエリア内外の複数の MH や GH を経由して AR に接続することもできる。このように、MH や GH 同士で構成されるネットワーク部分をアドホックネットワークと呼ぶ。一方、インターネット及び AR をインフラネットワークと呼ぶ。

AR は通信キャリア網、ISP 網、イントラネット等のエッジに配置され、インターネットに接続している。MH はインターネット上の相手ホスト CH とは AR を経由して通信する。同一アドホックネットワーク内の他の MH とは AR を経由せずに通信する。

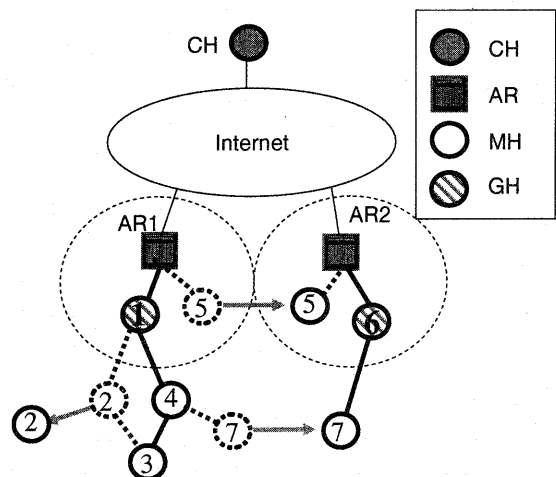


図 1. 無線アドホックマルチホップアクセスネットワーク

### 2.2 課題

WALK 環境を実現するには、アドホックネットワークを構築し、維持するためのルーティング技術と、

アドホックネットワークとインフラネットワークとの連携技術を必要とする。

### 2.2.1 アドホックルーチング技術

アドホックネットワークは、自由に移動する MH によって構成されるため、MH 間や MH-AR 間のリンクが切れ、ある MH から AR までのパスが失われる可能性がある。そこで、パスを動的に構築し、かつ維持する仕組みが必要であり、AODV[4] や DSR[15]、DSDV[14]等の数多くのアドホックルーチングプロトコル(以下アドホックプロトコルと略す)が提案されている。アドホックプロトコルは、定期的なメッセージ交換により経路を維持するプロアクティブ型と、オンデマンドに経路を構築するリアクティブ型に分類できるが、本稿ではリアクティブ型の DSR をベースに検討を進める。提案方式のプロアクティブ型プロトコルへの適用と、どちらの型が WALK 環境に適するかの評価は今後の課題である。

また、バッテリーや処理能力、帯域幅等のリソースに制約がある MH にとって、リソース保護も大きな課題である。各 MH は、ネットワークの構築と維持に加え、ルータとしてパケットの中継に協力する。そのため、バッテリーを考慮したルーチング方式も提案されている[17]。本稿では、ゲートウェイホスト GH のリソース保護を目的として、その負荷やバッテリーの広告に基づくルーチング方式を提案する。

### 2.2.2 インフラネットワークとの連携技術

アドホックネットワークとインフラネットワークの結合に関する先行研究[8-11]では、DSR や DSDV 等のアドホックプロトコルと、Mobile IP[12]、Cellular IP[13]等のモビリティプロトコルやセルラプロトコル GSM 等の結合法や、ルーチング方式、ハンドオーバー制御[6][7]、アドレッシングなどが検討されている。文献[10]では、DSR と Cellular IP、Mobile IP という 3 つの階層における移動を扱っている。我々も、インフラネットワークにおける AR-GH 間の電波状態と、アドホックネットワークにおける MH-GH 間のホップ数の両方のメトリックに基づくルーチング方式を提案している[16]。

本稿では、端末が異種無線環境でも適切なアクセスポイントにマルチホップで接続可能にするため、無線リソースの広告に基づくルーチング方式を提案する。従来方式では、電波状態やホップ数など限られた情報しか提供されていないため、MH が適切なパスを選択できない可能性がある。

## 3. 無線アドホックマルチホップアクセスネットワーク

本章は、MH が WALK 環境に参加してインフラネットワークへアクセスするための手順を述べた後、無線と端末のリソース志向のルーチング方式を提案する。

### 3.1 WALK 環境への参加手順

MH は WALK 環境に参加するために、モビリティプロトコルと、アドホックプロトコルの両方を備える。以下、モビリティプロトコルとして Mobile IP、アドホックプロトコルとして DSR を利用した場合の、WALK 環境への参加手順を示す。MH のネットワーク接続状態は、直接アクセス(Direct Access)、マルチホップアクセス(Multihop Access)、切断(Disconnection)のいずれかに該当する。Mobile IP によりインターネットに接続されている MH は、直接アクセス状態にあり、GH として設定される。

切断状態にある MH は以下の 4 つのステップにより、WALK 環境に他の MH (GH)を介して接続してマルチホップアクセス状態に移行する(図 2)。

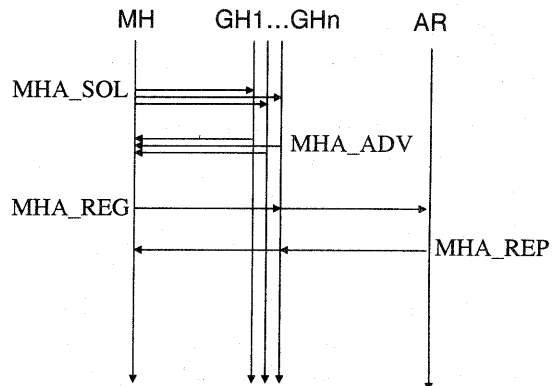


図 2. マルチホップアクセス手順

1. マルチホップアクセス要請(MHA\_SOL)  
MH は、DSR のルート構築要求 (RREQ) メッセージに MHA\_SOL メッセージを含め、フラッディングする。MHA\_SOL を受け取った他の MH はそれが重複パケットでなければローカルブロードキャストにより再転送する。
2. マルチホップアクセス広告(MHA\_ADV)  
MHA\_SOL を受信した GH は、AR との電波状態や AR の IP アドレスからなる MHA\_ADV メッセージを作成し、DSR の

ート構築応答 (RREP) メッセージに含めて MH へ送り返す。

3. マルチホップアクセス登録(MHA\_REG)  
複数の GH が MHA\_ADV を返す可能性があるため、MH はある一定数の MHA\_ADV を受信するか、一定時間経過するまで待機する。その後、MHA\_ADV に含まれる電波状態と、RREP から得られる GH までのホップ数に基づき、どの GH を介して AR に接続するかを決定し、その GH 宛にカプセル化した MHA\_REQ を発行する。GH は MHA\_REQ を受け取ったら、デカプセル化して AR に転送する。
4. マルチホップアクセス応答(MHA\_REP)  
MHA\_REQ を受信した AR は、それを送信した GH に対してカプセル化された MHA\_REP を返す。GH は MHA\_REP を受け取ったら、デカプセル化した後、MH に転送する。

### 3.2 無線リソースの広告

3.1 の参加手順 2 で述べたように、GH から受け取るマルチホップアクセス広告(MHA\_ADV)により、MH は電波状態の良い GH を選択して、インターネットにアクセス可能である。しかし、AR に接続している無線リンク種別や速度などの情報は与えられていないため、適切でない GH や AR を選択してしまう可能性がある。GH ごとに、接続している無線インタフェースはホットスポットの場合もあれば、セルラ網の場合もある。また、その混雑状況や実効速度も異なる。

異種無線システムの混在環境における MH の経路選択支援のため、本研究は MHA\_ADV メッセージへの無線リソース情報の導入を提案する。無線リソースには、無線インタフェースの種別、スループット、遅延、そして AR の位置情報が含まれる。MH は、無線インタフェース種別に基づく単純なアルゴリズムや、各種情報を組み合わせた複雑なアルゴリズムにより、接続する GH と AR を選択できる。AR の位置情報を無線リソースに含めているのは、ユーザ自身が移動して無線品質や利用可能性を向上させることを可能にするためである。例えば、広告された Bluetooth アクセスポイントの位置情報をたよりに、ユーザがその近くに移動することで、より少ないホップ数でより高品質な接続ができる。

### 3.3 端末リソースの広告

リソース制約のある携帯端末にとって、複数 MH の中継を担当したり、複数の無線インタフェースを扱う GH の役割は負荷が大きい。リソース保護の仕組みがなければ、一部の GH に負荷が集中したり、ユーザ自身が GH としての役割を拒否することになり、結果として WALK 環境が成立しない。

本研究では、3.2 と同様に、マルチホップアクセス広告(MHA\_ADV)への GH のリソース情報の導入を提案する。GH のリソース情報としては、中継処理のスループット、GH にマルチホップアクセス登録を依頼した MH の数、GH の残存バッテリーなどが考えられる。各 MH が、GH のリソース情報に基づいて接続する GH を選択することで、負荷の分散をはかることができる。

また、GH は自身のリソースが枯渇している場合、マルチホップアクセス要請(MHA\_SOL)を無視することにより、その端末のユーザが利用可能なリソースを確保する。中継処理の負荷がある閾値を超えたり、バッテリー残量がある設定値を下回った場合などに、このような自衛措置をとることが考えられる。

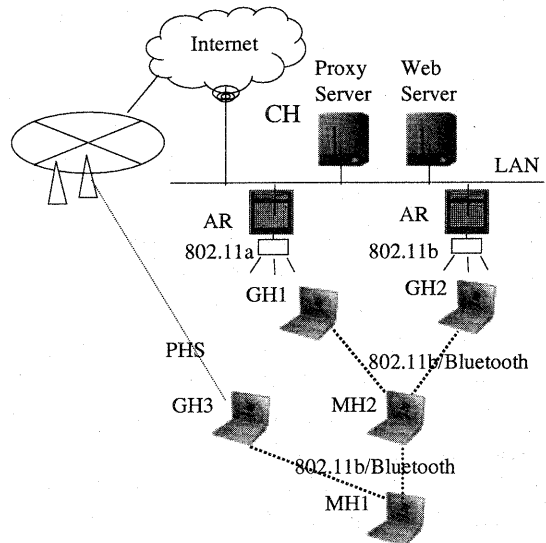


図3. 異種無線システムテストベッド

## 4. 実装と評価

異種無線システムから構成されるテストベッド上に、提案したリソース志向のルーティング方式を実装し、動作確認と性能評価を行った。図3にテストベッドの構成を示す。

#### 4.1 テストベッド

テストベッドは、ホットスポットとして IEEE 802.11a, 802.11b の無線 LAN アクセスポイントとそれを収容する PC (AR) を設置し、MH (GH) として 802.11a, b, Bluetooth などの無線インタフェースを備える PC を用意している。セルラへのアクセスとして一部の PC は PHS のインタフェースを持ち、インターネットに接続可能である。また、AR の接続している LAN 上に、プロキシサーバと Web サーバを配置している。

#### 4.2 実装

各 MH (GH) には DSR のルーチング機能と、3.1 で述べたマルチホップアクセスネットワーク参加手順を実装したリソース志向ルーチングプログラム walk を動作させている。walk は Windows 上のアプリケーションとして実装され、ポートフォワードの機能により、MH 上の TCP/IP アプリケーションが他の MH や GH を介して、CH と接続することを可能にしている。ただし、利用には walk とアプリケーションの両方にあらかじめ設定が必要なこと、ポートフォワード機能の仕組み上、FTP のように動的にポート番号が設定されるアプリケーションは動作しないという問題がある。利用頻度の多い Web ブラウザやメーラは利用可能である。

カーネルレベルでなく、アプリケーションとして実装した理由の 1 つは、プロトコルの動的配備を可能にするためである。テストベッドにおいて、walk は LAN 上と一部の MH 上の Web サーバに配置され、各 MH は動的にダウンロードして実行可能である。WALK 環境をその場で構築するためには、動的配備機能が有効だと考えられる。

また、AR には、マルチホップアクセス登録 (MHA\_REG) を受信して応答 (MHA\_REP) を返すという単純なサーバ機能のみを実装している。今後、MH と AR へ Mobile IP を実装していく。

#### 4.3 動作確認

Web アクセスを例として、本実装の無線リソースと端末リソースの広告機能に関する動作確認を行った。図 4 に実験環境を示す。前準備として、MH1 上の walk に対して、待ち受けのためのローカルポート p を社内 LAN や ISP のプロキシサーバ a.b.c.d:8080 に転送するよう設定し、Web ブラウザのプロキシサーバ設定をローカルホストのポート p に設定した。

その後、Web ブラウザから LAN 上の Web サーバ

のページを要求すると、その要求はローカルの walk に受信され、マルチホップ要請 MHA\_SOL が MH1 から発行された。MHA\_SOL は MH2 によって GH1 と GH2 に転送され、GH3 には直接受信される。GH1, GH2 はそれぞれ、リンク種別 “802.11a”、“802.11b” という無線リソース情報、現在の収容ホスト数として 1 ホスト、0 ホストという端末リソース情報をマルチホップ広告 MHA\_ADV に含めて MH1 に返した。GH1 の収容ホスト数 1 は、MH2 がすでに登録しているためである。一方、GH3 は MH1 に対してリンク種別 “PHS” を含めた MHA\_ADV を返した。

3 つの MHA\_ADV に含まれる無線と端末リソース情報、各 GH までのホップ数に基づき、MH1 はどの GH に接続するかを決定する。本実装では GH 選択のアルゴリズムとして、収容ホスト数に重み付けをしたため、GH 2 が選択された。単純なホップ数の比較では、低速な PHS アクセスを持つ GH3 が選択され、無線インタフェースの速度で選ぶ場合、GH1 が選択される。このように、無線と端末リソース情報の広告により、MH1 が柔軟に GH を選択できることを確認した。AR への登録後は、MH1・MH2・GH2・CH の経路に沿って動的に TCP コネクションが確立され、MH1 上の Web ブラウザに要求されたページが表示された。

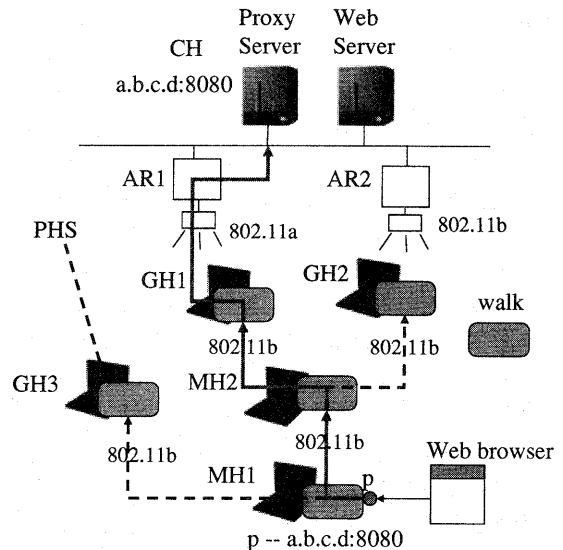


図 4. 実験環境

#### 4.4 性能評価

walk の基本的な性能評価として、4.3 の Web アクセス時のコネクション開始までの時間とスループット

トを測定した。MH1上のwalkがWebブラウザから接続要求を受けてから、GHまでのルートを構築した後、コネクション確立までの時間は、400msから800msの範囲で変動した。この時間には、MHA\_ADVの収集のための待機時間200msが含まれている。

一方、MH1, MH2それぞれについて、4MBのファイルをHTTPでダウンロードする際のスループットを測定した。MH1の場合、1つのコネクションで平均570kbps、2本のコネクションで平均1100kbpsのスループットであった。一方、MH2の場合、コネクション数1,2の場合、それぞれ平均730Kbps, 1440Kbpsのスループットであった。以上より、アプリケーションレベルの転送でも十分に実用的な遅延とスループットの性能が出ることが確認された。今後、よりホップ数を増やした場合、802.11bの代わりにBluetoothを利用した場合の遅延とスループット、ノードの移動による経路障害時の回復時間などについても測定を行う。

## 5. まとめ

WALK環境はカバレジの拡大と多様な無線システムの収容を可能にする。セルラ網でカバーできていない地下やビルの奥など局所的デッドスポットのカバーやホットスポットサービスのエリア外からの利用が可能になる。

本稿では、多様な無線システム環境への適応と中継端末のリソース保護のため、無線と端末のリソースに基づくリソース志向ルーチング方式を提案した。また、無線インタフェース種別やスループット等の無線リソースの広告により、端末が異種無線システム環境でも適切なアクセスポイントにマルチホップで接続可能にする。また、中継処理を行う端末のスループットや収容端末数、バッテリー等の端末リソースの広告により、一部の中継端末への負荷集中を防ぎ、端末のリソースを保護する。

今後の課題として、シミュレーションによる提案方式の評価や、Mobile IPまで含めたテストベッドの構築と実用可能性の評価がある。また、認証・課金、セキュリティ等の課題についても検討する。

## 文 献

- [1] Hideaki Yumiba et al., IP-Based IMT Network Platform, IEEE Personal Communications, vol.8, no.5, pp.24-30, October 2001.
- [2] Toru Otsu et al., "Network Architecture for Mobile Communication Systems Beyond IMT-2000," IEEE Personal

Communications, vol.8, no.5, pp.31-37, October 2001.

- [3] Magnus Frodigh et al., "Future-Generation Wireless Networks," IEEE Personal Communications, vol.8, no.5, pp.10-17, October 2001.
- [4] Elizabeth M. Royer et al., "A Review of Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks," IEEE Personal Communications, vol.6, no.2, pp.46-55, April 1999.
- [5] Theodoros Salonidis et al., "Distributed Topology Construction of Bluetooth Personal Area Networks," IEEE Infocom 2001, April 2001.
- [6] Gregory P. Pollini, "Trends in Handover Design," IEEE Communications Magazine, vol.34, no.3, pp.82-90, March 1996.
- [7] Kaveh Pahlavan et al., "Handoff in Hybrid Mobile Data Networks," IEEE Personal Communications, vol.7, no.2, pp.34-47, April 2000.
- [8] Hui Lei and Charles E. Perkins, "Ad Hoc Networking with Mobile IP," Proc. of EPCC '97, Bonn, Germany, 1997.
- [9] Josh Broch et al., "Supporting Hierarchy and Heterogeneous Interfaces in Multi-Hop Wireless Ad Hoc Networks," Proc. of the Workshop on Mobile Computing, I-SPAN, Perth, Australia, June 1999.
- [10] Rahul Bhan et al., "Adding Ad Hoc Network Capabilities to Cellular IP," <http://www.columbia.edu/~ap714/CIPDSR/ProjectFinalPaper.htm>.
- [11] George Neonakis Aggelou and Rahim Tafazolli, "On the Relaying Capability of Next-Generation GSM Cellular Networks," IEEE Personal Communications, vol.8, no.1, pp.40-47, February 2001.
- [12] C.Perkins, "IP Mobility Support," RFC2002, IETF Working Group for IP Routing for Wireless/Mobile Hosts, October 1996.
- [13] Andrew T. Campbell et al., "Design, Implementation, and Evaluation of Cellular IP," IEEE Personal Communications, vol.7, no.4, pp.42-49, August 2000.
- [14] C.E.Perkins and P.Bhagwat, "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing(DSDV) for Mobile Computers," Comp. Commun. Rev., pp.234-244, October 1994.
- [15] David B. Johnson et al., "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," IETF Internet draft, draft-ietf-manet-dsr-05.txt, March 2001.
- [16] 中川智尋, 太田賢, 吉川貴, 磯田佳徳, 杉村利明, "アドホックネットワークを介した移動通信ネットワークのアクセス方式", 情報処理学会全国大会講演論文集, Mar.2002.
- [17] Suresh Sign, Mike Woo, and C. S. Raghavendra, Power-Aware Routing in Mobile Ad Hoc Networks, Mobile Computing and Networking, 181-190, 1998.