

(3) アクティブIPネットワーク： アンビエントな自己組織通信を目指して

欧州研究所では、さまざまなアクセス技術を統合しシームレスなサービスを提供する先進のネットワーク基盤の研究を行っている。とりわけ、異種アクセス網間のハンドオーバーに焦点を合わせたエンド・ツー・エンドのサービス品質、コンテキスト認識型ネットワークを目指すアクティブネットワーク、および移動通信網との統合を課題としたアドホックネットワークの研究を行っている。

クリスティアン プレホーファー ヨアヒム ヒレブランド
 Christian Prehofer Joachim Hillebrand
 フィリップ ホーフマン パウロ メンデス
 Philipp Hofmann Paulo Mendes
 キン ウェイ クリスティアン ベットステッター
 Qing Wei Christian Bettstetter

1. まえがき

将来、移動通信網は、さまざまな無線アクセス技術を統合しシームレスなサービスを提供する。多様なシナリオやアプリケーションを実現するため、異種アクセス網を収容し、かつ拡張可能性やコスト効率の高いIP (Internet Protocol) ベースのネットワークとなるであろう。新しい無線インタフェース技術に加え、アドホックネットワークのような新しい技術を柔軟に受け入れる余地を持つ必要が

ある。加えて多様な環境において提供されるシームレスでパーソナル化されたサービスは、ネットワークがインテリジェントに動作することにより、最適化されることが望ましい。これらの要求を満たすため、図1のように提案する網構成では、アクティブでプログラム可能なネットワーク要素を考慮している。

上記移動通信網の実現には、以下の技術課題を解決する必要がある。

- ・シームレスなサービスを提供するため、異種アクセス網間ハンドオーバー時にもエンド・ツー・エンド (E2E : End to End) のサービス品質 (QoS : Quality of Service) を確保すること。IP ベースの新しいE2EのQoS技術がいくつかあるが、移動性を考慮して機能を強化すること。
- ・ネットワークサービス提供に際し、コンテキスト情報^{*}を十分に利用すること。また、その変動性に対処するため、アクティブネットワーク技術を用い、ネットワークサービス提供の柔軟性およびネットワーク要素の適応性を向上させること。
- ・柔軟な相互接続方式とアドレス方式で、アドホックネットワークと移動通信網をシームレスに組み合わせること。

^{*} コンテキスト情報 (context information) : エンティティの状況の特徴付けるために使用可能なあらゆる情報。エンティティはユーザとアプリケーションの相互作用に関連すると見なされる人、場所、またはオブジェクトで、ユーザとアプリケーション自体も含む。

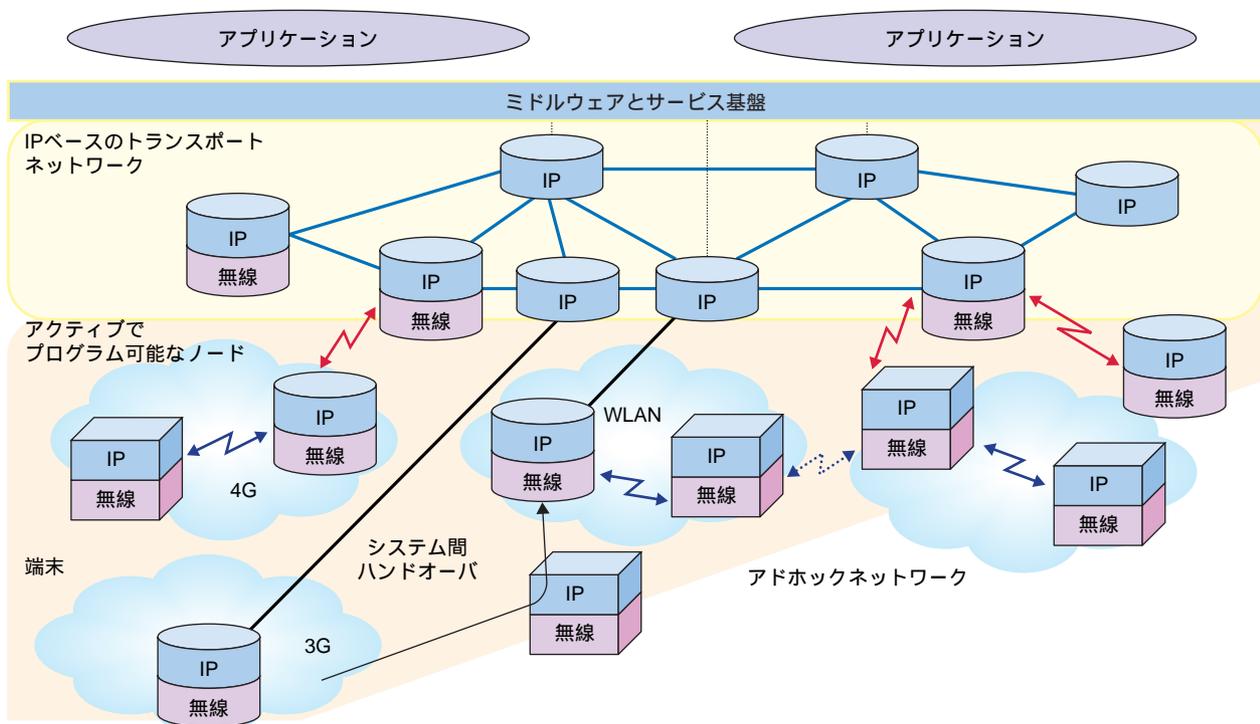


図1 アクティブIPネットワークの網構成

本稿では、上記の課題に対する新しい解決法について述べる。

2. E2Eのサービス品質

より望ましいサービスを可能にするために、異種アクセス網が重なり合う状況では、より適切なアクセスポイントへのハンドオーバが必要になる場合がある。例えば、無線LAN (WLAN : Wireless Local Area Network) のホットスポットを通過する際には、短時間だけそのアクセスポイントにハンドオーバを行うことが望まれる場合もある。QoSを確保するためには、ハンドオーバ実行前に新しいアクセスポイントのリソースを割り当てる必要があるが、その可用性が分からないこともある。

QoSを確保する技術としては、DiffServ (Differentiated Services)[1]やIntServ (Integrated Services)[2]などが挙げられるが、これらのQoS信号方式に加え、リソースの受付・割当・解放などの管理も必要である。IntServはフローごとのリソース予約を基にしており、DiffServはQoS設定または保証をネットワークエッジで構成されるフローの集合体に割り当てる。IntServは制御信号を持つが(RSVP (resource ReSerVation Protocol)[3]あるいはNSIS (Next Steps In Signaling)[4]プロトコル)、DiffServには制御信号がない。また、RSVPをはじめ、IPベースのQoS信号方式のほとんどは、移動性に対応する設計にはなっておらず、いくつかの手法が1種類のハンドオーバに対応するのみである[5]。

本研究は、さまざまな種類のハンドオーバに対応するQoS信号方式を開発することを目的とする。ハンドオーバ

実行前に新しいアクセスポイントのリソースを割り当てる予測ハンドオーバに加え、前のアクセスポイントを離れた後、新しいアクセスポイントへの接続が行われるハードハンドオーバ、移動端末が2つのアクセスポイントに同時に接続されるソフトハンドオーバ、およびそれらの組合せに対応する。

本研究が目指す、将来の移動通信網のQoS信号方式に対する要求条件を以下に示す。

- ・データパスにQoSを提供する特定の技術(IntServやDiffServなど)に依存しないこと。
- ・特定のアクセス技術に依存しないこと。
- ・シームレスなハンドオーバのためにさまざまな移動性に対応できること。

本研究で提案するリソースマネージャを基とするQoSアーキテクチャは、上記要求条件を満たしている。図2に、その一例を示す。移動端末は、ルータとドメインリソースマネージャ(DRM : Domain Resource Manager、帯域幅フローカーとも呼ばれる)で構成されるドメインへアクセスポイントを経由して接続される。DRMは1つのドメインのリソースを管理し、そのドメイン内のリソースと予約の最新状況を保持する。DRMはE2Eのリソースを予約するために、隣接ドメインのDRMにリソースを要求する。予測ハンドオーバの場合、前のアクセスポイント経由の制御信号(1)は、新しいドメインのDRMに、来るべきハンドオーバのリソースの準備(3a)に関する情報を提供(2)するために使用できる。E2EのQoS確保は、さらに他のドメインの

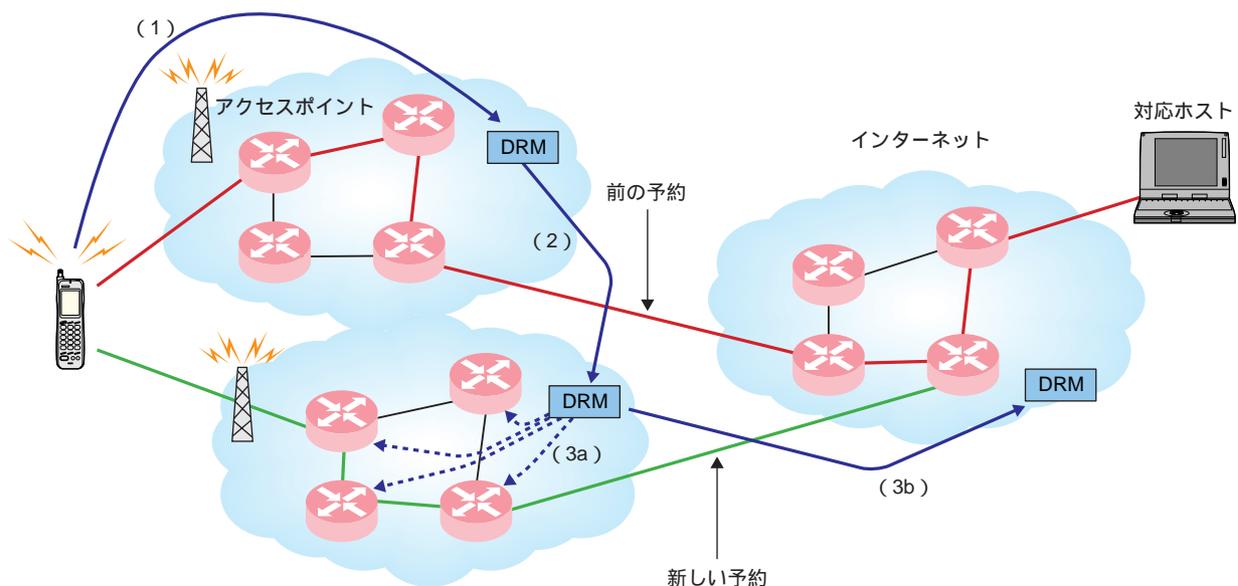


図2 QoSアーキテクチャと予測ハンドオーバ

DRMにハンドオーバーの発生を通知(3b)することで可能になる。このようにして、移動端末から、またはネットワーク(移動予測などを基にして)からのいずれを契機とするものであっても、新しいアクセスポイントへ接続する前にリソースが事前予約される。

QoSプロトコルの検討にあたっては、さまざまな種類のハンドオーバーの分析を基にした手法を取っている。例えば、移動端末がサービスエリア外に移動した場合に適切に対処し、サービスへの影響を最小限に抑えるには、さまざまな種類のハンドオーバーに包括的に対応することが重要である。無線アクセス網や移動端末によりハンドオーバーに関する能力の違いがあることを考慮する必要もある。

本研究では、あらゆる種類のハンドオーバーを記述する統合型ハンドオーバー状態モデルを新たに開発し、それを基にQoSプロトコルの設計を行い実装した。特にこのモデルは、異なる種類のハンドオーバー間の動的な移行に対応しているため、ネットワークにいかなる変化が生じた場合でも、制御信号でハンドオーバーの種類を適切に切り替えることができる。

上記のように、本研究では、統合型ハンドオーバー状態モデル、および、リソース管理と移動性管理を統合する新しいQoS信号方式を開発した[6], [7]。

3. コンテキスト認識型アクティブネットワーク

ここでの課題の1つは、コンテキストを基にネットワークサービスをさまざまな状況に応じて最適化することである。豊かなサービスを備え異種アクセス網を収容する将来の移動通信網において、これは特に重要である。一般に、コンテキスト情報には静的なものと動的なものがあり[8]、ネットワークや移動端末からもたらされる。例えば、静的なコンテキスト情報として、ユーザプロファイル、アプリケーション設定、またネットワークの位置・機能などが考えられる。一方、動的なコンテキスト情報として、ユーザの位置、アプリケーションの要件、ネットワークのトラフィック量などが考えられる。

課題の2つ目は、さまざまな情報源から収集したコンテキスト情報を利用できるように加工して、さまざまな移動端末に配信すると同時に機能を失うことなく、情報源、移動端末、サービス、およびネットワークの数を増加できるようにすることである。

本研究では、コンテキスト認識型ネットワークサービスのオンデマンド更新とコンテキスト情報の管理を可能にするアーキテクチャを開発した[9]。本アーキテクチャは、ネ

ットワークサービス提供を制御するサービス運用の枠組みとオープンインタフェースによって、新ネットワークサービスの迅速な運用を可能にするプログラム可能型ネットワークノードを基にしている。

本アーキテクチャを用いたコンテキスト認識型ネットワークサービスの例としてコンテキスト認識型ハンドオーバーを取り上げる。図3に示す例では、無線アクセス網に複数のアクセスポイントがあり、ユーザはそれらのエリアが重なる地域を移動するものと仮定する。コンテキストを認識しなければ、ハンドオーバー時の新アクセスポイントの選択は受信電力のみによって決まるが、適切なコンテキスト情報を使用すれば、移動端末は現在のコンテキストに最適なアクセスポイントへのハンドオーバーを要求できる。例えば、ユーザが列車に乗っている場合は、列車の路線に近いアクセスポイントにハンドオーバーするほうがよいかもしれない。ここでは、移動端末とコンテキスト収集点(context collection point)が、コンテキスト認識型ハンドオーバーに使用するコンテキスト情報を交換している。また、コンテキスト情報とそれを処理するモジュールは頻繁に変化する可能性がある。例えば、新しいコンテキスト情報が得られると、対応する処理モジュールもオンデマンドに更新するのが望ましい。そのため、図3に示すように、プログラム可能型ネットワークノードはプログラム可能なプラットフォームを含む[10]。移動端末にもネットワーク側の対応するノードにも、カスタマイズしたコンテキスト情報を交換するために、ハンドオーバーサポートモジュールが配置される。さらに、移動端末はハンドオーバー決定に別のモジュールを使用する。これらのモジュールはサービス運用サーバ(SDS: Service Deployment Server)から更新することができる。

本アーキテクチャは汎用のコンテキスト情報管理の枠組みを含むよう拡張されている。アプリケーションに依存しない汎用的なコンテキスト情報を扱う一方、ネットワークサービスをカスタマイズするには、特定の目的で最適化された特定のコンテキスト情報と、その交換のための特定の仕組みを使用する。

このコンテキスト情報管理の枠組みは、図4に示すように、2種類の構成要素からなる。1つは汎用コンテキスト収集点(GCCP: Generic Context Collection Point)やSDSなど、どのサービスにも汎用的に使用される要素であり、もう1つはコンテキストサービスアダプタ(CSA: Context Service Adapter)やコンテキストサービスアダプタクライアント(CSAC: Context Service Adapter Client)など、プログラム可能型ネットワークノードあるいは移動端末へSDSから配信されるアプリケーション固有の要素である。

各GCCPは、コンテキスト情報提供者からコンテキスト情報を収集し、他のGCCPとコンテキスト情報を交換する。GCCPが収集した汎用的なコンテキスト情報は、各アプリケーションに配信される。ただし、汎用的なコンテキスト情報は、CSAによってアプリケーションが理解できるフォーマットに変換され、CSAとCSAC間で個々のアプリケーションに適したプロトコルで配信される。コンテキスト認識型ハンドオーバーの場合、CSAとCSACは図3のハンドオーバーサポートモジュールに相当する。

コンテキスト認識型ハンドオーバーの実装[11]により、開発

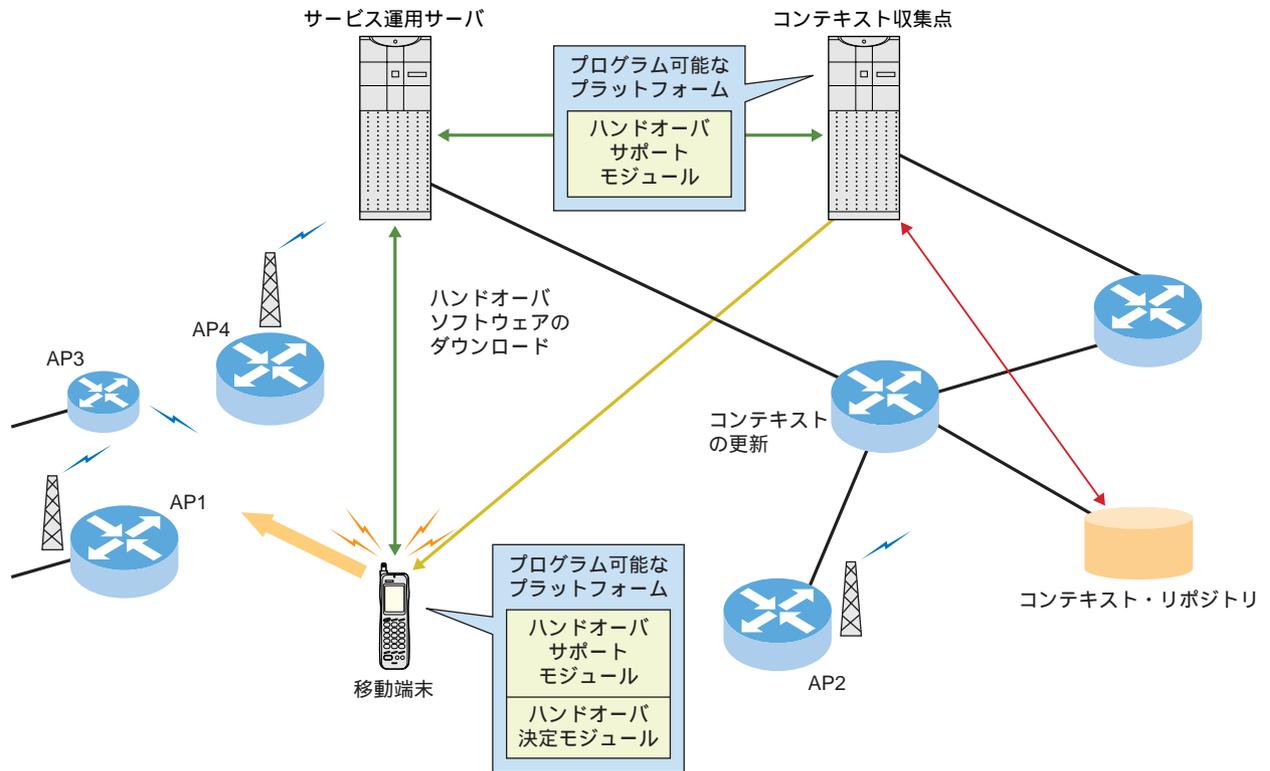


図3 プログラム可能なノードで構成されるコンテキスト認識型ハンドオーバーのシナリオ

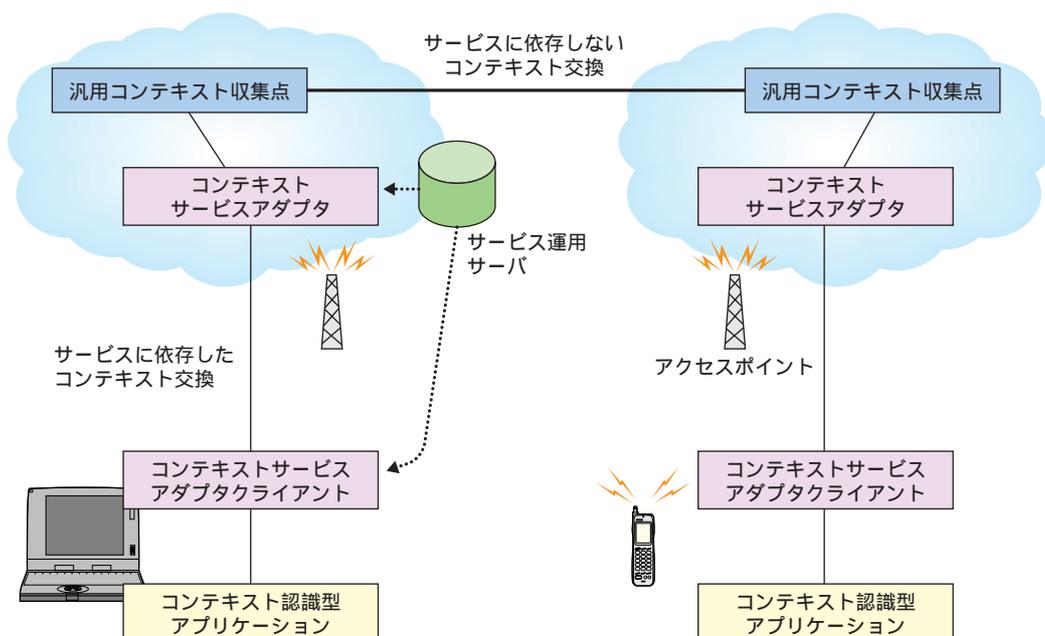


図4 移動通信網におけるコンテキスト管理アーキテクチャ

したアーキテクチャがさまざまな種類のコンテキスト情報とコンテキストサービスアダプタを扱う能力を持つことが示された。ネットワーク全体の性能を低下させることなく、ハンドオーバーなどのネットワークサービスの性能を強化できる。さらに、カスタマイズしたモジュールの使用は初期の運用オーバーヘッドを引き起こすものの効率的である[11]。

4. 自己組織アドホックネットワーク

アドホックネットワークでは、移動端末は自己組織無線ネットワークを確立する。このネットワークの顕著な特徴は、2つの移動端末が直接の無線リンクを確立できない場合に、両者の間にある移動端末が中継器として機能しデータが転送される、マルチホップ通信技術である。自律的なパーソナルエリアネットワーク、事故を警告する自動車内ネットワーク、環境を監視するセンサネットワークなどの用途が考えられている。アドホックネットワークのために開発された技術を用い、移動通信事業者はマルチホップ無線アクセス網(図5)を設計することができる。アクセスポイントに直接無線リンクを持たない移動端末も、その他の移動端末の中継機能を利用して移動通信網にアクセスできる。アドホックネットワークは移動通信網のサービスエリアを柔軟に拡張するものと考えることができ、より少ないアクセスポイントでより広いサービスエリアを実現できる。アドホックネットワークと移動通信網を相互接続するには、ネットワークレイヤに関する以下の課題がある。

・ゲートウェイの検出と選択

アドホックネットワークを構成する移動端末がインターネットにアクセスする場合は、まず近くにあるアクセスポイントを検出する必要がある。アドホックネ

ットワークはアクセスポイントからゲートウェイを経由してインターネットに接続される。ゲートウェイではアドホックネットワークとインターネットの両方のルーティングプロトコルが動作しているとする。ゲートウェイを検出する手法には、能動的なものを受動的なものがある。能動的な手法では、すべてのゲートウェイがアドホックネットワークのすべてのノードに対して定期的にメッセージを配信する。受動的な手法では、移動端末が複数のゲートウェイに対してメッセージ要求を配信する。移動端末が、候補のゲートウェイが複数あるという結果を検出した場合、そのうちの1つを選択する必要がある。最適なゲートウェイの選択法が課題である。

・アドレスの自動設定

移動端末とインターネット上のノードとの通信を可能にするには、グローバルにルーティング可能なIPアドレスを移動端末に設定する必要がある。そのためにIPv6(Internet Protocol version6)のステートレスアドレス自動設定を拡張する。まず、移動端末が所属するアドホックネットワーク内での通信を可能とする初期IPアドレスを作成する。このアドレスを使って移動端末は、現在のゲートウェイのIPサブネットプレフィックスを取得する[12]。次に、このプレフィックスを用いてグローバルに一意のIPアドレスを作成する。この設定により、同じゲートウェイに接続されたすべての移動端末が1つのサブネットを形成する。移動性に対応して上記IPアドレスをいかに取り扱うかが課題である。

・統合ルーティング

移動端末がこのIPアドレスをネットワークに登録す

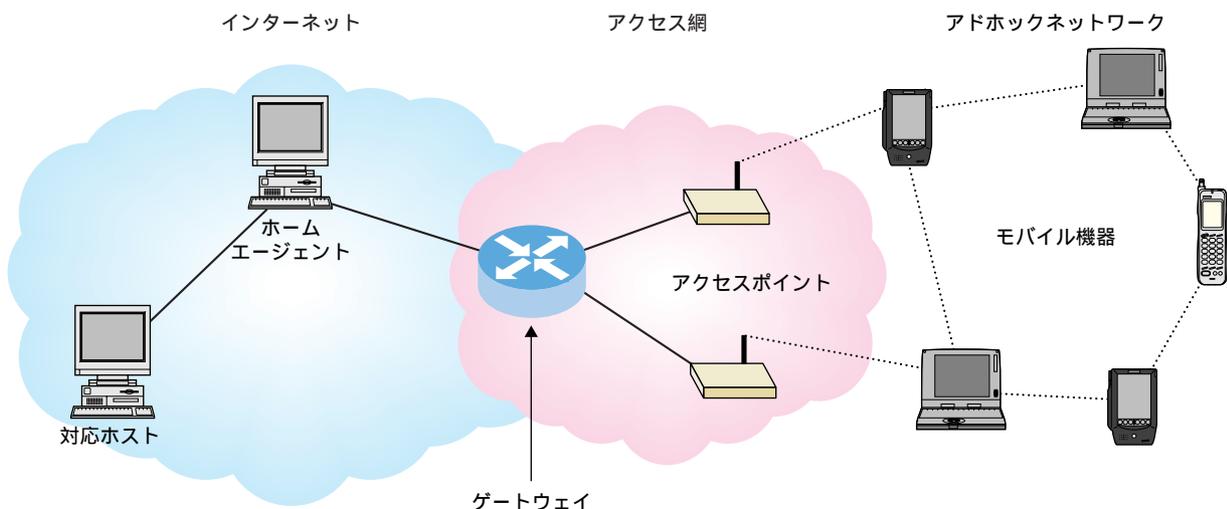


図5 アドホックネットワークとマルチホップワイヤレスインターネットアクセス

ると、インターネット上のノードとのパケットの送受信が可能となる。インターネット上のノードは、移動端末と通信する際には移動端末のホームアドレスにパケットを送信する。パケットは、その後ゲートウェイに転送され、次にゲートウェイによりアドホックルーティング (AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector) [13] など) を使用して移動端末に転送される。逆方向の通信も同様に機能する。これは移動端末の移動性が低い場合にのみ、適用できる。移動性が高い場合の機能強化が課題である。

上記に関連して2つの問題がある。1つは、アドホックネットワークの2つの移動端末が異なるアクセスポイントに接続している場合、あるいは異なるサブネットに位置する場合、アドホックネットワークの直接的な無線リンクまたはアクセスポイント経由のどちらのパスで通信するのかということである。もう1つは、ゲートウェイ間のマルチホップハンドオーバーをどのように実行するのかという問題である[14]。これらに関し、本研究でシミュレーションをいくつか行った[15]。

また、アドホックネットワークのスケラビリティに関するIRTF (Internet Research Task Force) のワーキンググループにも積極的に参加している[16]。さらに、マルチホップアクセス時の課金・精算方式も提案した[17]。

本研究では、ネットワークレイヤの問題の他に、メディアアクセス制御プロトコルとリソース予約方式も重要な課題である。特に、文献[18]で述べているように、IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.11の既存プロトコルを基にした自己組織リソース予約方式にも取り組んでいる。

5. あとがき

今後は、主要なベンダや欧州の移動通信事業者のほとんどが参加する第6次欧州研究計画にも参画貢献し、将来の移動通信網の実現に向けて寄与していく。QoS 研究に関してはアンビエントネットワーク (Ambient Networks) プロジェクト[19]に、プログラム可能型ネットワーク研究に関してはE2R (End to end Reconfigurability) プロジェクト[20]に参画する。前者では、移動通信網のみならず企業LANやパーソナルエリアネットワークも含んで構成されるコンポーザブルネットワーク (composing networks) の概念を基として、将来の移動通信網アーキテクチャを検討する。E2Eのサービス合意を確立することは将来研究の主要な課題である。後者では、再構成可能な移動端末との関係にお

いて再構成に関するプロトコルスタックの研究を行う。

また、自己組織ネットワークの研究において、センサネットワークやインテリジェントデバイスなど将来の多様なデバイスを扱う予定である。これはまたコンテキスト認識型アクティブネットワークに関する研究を加速させるものである。とりわけ、コンテキスト情報を管理する仕組みを拡張することを目指している。

本稿では、欧州研究所でのネットワーク基盤技術の研究成果および研究状況として、E2EのQoS、コンテキスト認識型アクティブネットワーク、自己組織アドホックネットワークへの取り組みを概説した。

文 献

- [1] S. Blake et al: " An Architecture for Differentiated Services, " RFC 2475, IETF, Dec. 1998.
- [2] R. Braden: " Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview, " RFC 1633, IETF, Jun. 1994.
- [3] R. Braden, S. Berson, S. Herzog, S. Jamin and L. Zhang: " Resource ReSerVation Protocol (RSVP) - Version 1, " RFC 2205 (Standard), IETF, Sep. 1997.
- [4] NSIS, IETF Next Steps for Signalling (nsis) Working Group, <http://www.ietf.org/html.charters/nsis-charter.html>.
- [5] J. Manner, A. López, A. Mihailovic, H. Velayos, E. Hepworth and Y. Khouaja: " Evaluation of Mobility and QoS Interaction, " Computer Networks, Elsevier Science Publisher, Vol. 38, Feb. 2002.
- [6] J. Hillebrand, C. Prehofer, R. Bless and M. Zitterbart: " Design of Quality-of-Service Signaling for IP-based Mobile Networks, " WPMC 2003, Yokusuka, Japan.
- [7] J. Hillebrand and R. Bless: " QoS Signaling in 4G Mobile Networks, " DoCoMo Euro-labs Technical Report, Jun. 2003.
- [8] C. Prehofer, N. Nafisi and Q. Wei: " A framework for context-aware handover decisions. " IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Beijing, China, Sep. 2003.
- [9] P. Mendes, C. Prehofer and Q. Wei: " Context Management with Programmable Mobile Networks, " CCW Workshop, IEEE Press, California, 2003.
- [10] C. Prehofer, W. Kellerer, R. Hirschfeld, H. Berndt and K. Kawamura: " An Architecture Supporting Adaptation and Evolution in Fourth Generation Mobile Communications Systems, " Journal of Communications and Networks, Vol. 4, No. 4, 2002.
- [11] Q. Wei, P. Mendes, C. Prehofer, N. Nafisi, K. Farkas and B. Plattner: " Context-aware Handover Based on Active Network Technology, " IWAN 2003, Osaka, Japan.
- [12] R. Wakikawa et al: " Global connectivity for IPv6 mobile ad hoc networks, " Internet draft, work in progress, Nov. 2002.
- [13] C. Perkins: " Ad Hoc Networking. " Addison-Wesley, 2001.
- [14] J. Xi and C. Bettstetter: " Wireless Multi-hop Internet access: Gateway discovery, routing, and addressing. " Intern. Conf. on Third Generation Wireless and Beyond (3Gwireless), San Francisco, CA, USA, May 2002.
- [15] M. Ghassemian, P. Hofmann, C. Prehofer, V. Friderikos and H. Aghvami: " Performance Analysis of Internet Gateway Discovery

Protocols in Ad Hoc Networks, " IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Atlanta, USA, Mar. 2004.

[16] C. Bettstetter: " Interconnection of ad hoc networks to fixed IP networks: The path selection dilemma. " Slides 1st Meeting of the IRTF working group on Ad hoc Network Scaling Research (ANS), Annapolis, MD, Jun. 2003.

[17] P. Hofmann and C. Prehofer: " Gateway - controlled accounting for global connectivity in ad hoc networks. Intern. " Conf. on Mobile

Computing and Ubiquitous Networking, Yokosuka, Japan, Jan. 2004.

[18] E. Carlson, H. Karl, A. Wolisz and C. Prehofer: " Distributed allocation of time slots for real - time traffic in a wireless multi - hop network, " European Wireless 2004.

[19] Ambient Networks Integrated Project, <http://www.ambient-networks.org/>

[20] End - to - end Reconfigurability Integrated Project, <http://www.e2r.motlabs.com/e2r>

用語一覧

AODV : Ad hoc On - demand Distance Vector
 AP : Access Point (アクセスポイント)
 CSA : Context Service Adapter (コンテキストサービスアダプタ)
 CSAC : Context Service Adapter Client
 (コンテキストサービスアダプタクライアント)
 Diffserv : Differentiated Services
 DRM : Domain Resource Manager (ドメインリソースマネージャ)
 E2E : End to End (エンド・ツー・エンド)
 E2R : End to end Reconfigurability
 GCCP : Generic Context Collection Point (汎用コンテキスト収集点)

IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers
 IntServ : Integrated Services
 IP : Internet Protocol
 IPv6 : Internet Protocol version 6
 IRTF : Internet Research Task Force
 NSIS : Next Steps In Signaling
 QoS : Quality of Service (サービス品質)
 RSVP : resource ReSerVation Protocol
 SDS : Service Deployment Server (サービス運用サーバ)
 WLAN : Wireless Local Area Network (無線LAN)