

## 3 無線通信

### 3-1 無線統合ネットワーク技術

#### 3-1-1 ヘテロジニアスネットワークを実現するMIRAIアーキテクチャ

##### 3-1-1 *MIRAI Architecture for Heterogeneous Network*

水野光彦 鄔 剛 Paul J. M. Havinga  
Mitsuhiko MIZUNO, Gang Wu, and Paul J. M. Havinga

##### 要旨

次世代無線通信を語るキーワードの一つは「シームレス」である。MIRAI(未来・Multimedia Integrated network by Radio Access Innovation)プロジェクトでは、日本政府が推進する「e-Japan 重点計画」の一環として、各種無線アクセスシステムをシームレスに統合し実用化する新技術を2005年までに開発することを最終目標としている。本稿では、共通ツール、共通プラットフォーム及び共通アクセスを備えたヘテロジニアスネットワークのアーキテクチャについて紹介する。なかでもソフトウェア無線技術は、異なる無線ネットワークにアクセスできるマルチサービスユーザ端末の開発に使用される。また、各種無線ネットワークに対する共通プラットフォームは、無線対応のIPv6ネットワークを基礎とする。無線システム発見、シグナリング、ページングには、他の無線アクセスネットワークとは別個の基本アクセスネットワークが使用される。検証用の実験システムは、2002年3月に完成する予定である。

One of the keywords that describe next generation wireless communications is “seamless.” As part of the e-Japan Plan promoted by the Japanese Government, the MIRAI (Multimedia Integrated network by Radio Access Innovation) project has, as its goal, the development of new technologies to enable seamless integration of various wireless access systems for practical use by the year 2005. This paper describes a heterogeneous network architecture including a common tool, a common platform, and a common access. In particular, software-defined radio technologies are used to develop a multi-service user terminal to access different wireless networks. The common platform for various wireless networks is based on a wireless supporting IPv6 network. A basic access network, separated from other wireless access networks, is used as a means for wireless system discovery, signaling, and paging. A proof-concept experimental demonstration system will be available in March, 2002.

##### [ キーワード ]

無線インターネット, ヘテロジニアスネットワーク, 垂直ハンドオフ, 無線ネットワークのシームレス統合, モバイルIP

Wireless Internet, Heterogeneous Network, Vertical Handoff, Seamless Integration of Wireless Networks, Mobile IP.

## 1 はじめに

1980年代終わり以降、第2世代の移動通信サービスは世界規模での爆発的普及を経験した。IEEE 802.11a/bに準拠した無線LAN、Bluetooth、IMT-2000及びFWA(固定無線アクセス)といった無線通信システムが生活の中に入り込み、インターネットの利用や相互の通信がますます便利になった。数十MHzから数十GHzにわたる周波数帯をみれば、そこには多数のデジタル通信システムが存在する。しかし、このように身近なシステムも、モビリティ、データレート、サービスなどに対する要求内容が異なるために、システムごとに独自の設計、設置、運用が行われている(表1参照)。こうしたシステムのうち(すべてとはいわないまでも)一部のシステムがある特定地域においてサービスを同時に提供すれば、重複したサービスエリアのユーザに対してヘテロジニアスな無線通信環境を提供することができる。ヘテロジニアスな無線システムがシームレスに統合されれば、ベンダやサービス/アプリケーション/コンテンツ事業者、政策立案者、ユーザなどを巻き込んだ無線通信革命になる。

日本でIMT-2000が採用されたことにより、次世代無線通信ネットワークに対する関心が学术界と産業界双方の研究者の間でますます高まっている。日本政府は2001年初めに「e-Japan戦略」を採択しているが、そこではIPv6による高速無線インターネットアクセス環境の構築及びシームレスなモバイル通信サービスの実現という無線通信に関する目標が明記されている。その実

現のために作成された「e-Japan重点計画」では、車両環境において100Mbpsのデータレートをサポートする第4世代の移動通信システムを2010年までに、また、各種無線アクセスシステムをシームレスに統合して実用化するための重要技術を2005年までに、それぞれ開発することが必要だと書かれている。通信総合研究所が取り組んでいるMIRAI(未来・Multimedia Integrated network by Radio Access Innovation)と呼ばれるプロジェクトはe-Japan重点計画に含まれる日本の国家プロジェクトの一つであり、ヘテロジニアス無線システムのシームレスな統合を目的としている。

「ブロードバンド」と「シームレス」は確かに次世代無線ネットワークの主要なキーワードであるが、そうしたネットワークの具体的内容はいまだに不明瞭である。図1は、私たちが認識している「世代」の内容を示したものである。第2世代と第3世代のシステム/ネットワークについては疑問の余地がない。しかし、第4世代の無線ネットワークについては、新世代携帯電話システムに加え、ITS(高度道路交通システム)、HiSWAN(高速無線アクセスネットワーク)、高速無線LAN及びHAPS(成層圏プラットフォーム)といった新しいブロードバンド無線アクセスシステムも含めるべきだと考える。言い換えるなら、第4世代の無線ネットワークは、複数のブロードバンド無線アクセス技術をサポートするとともに、それぞれのアクセス技術によって作られたシステム同士のグローバルローミングに対応できる、ヘテロジニアスネットワークであるべきである。私たちが考えるヘテロジニアス

表1 日本の無線アクセスシステム

Mobility Frequency	Static	Pedestrian	Vehicle
<1GHz			2G cellular 2-way pager, MCA
1 to 3GHz	WLAN(802.11b), Bluetooth, WPAN, VSAT	PHS, DECT	2G/3G cellular, LEO
3 to 20GHz	WLAN(802.11a), BRAN, HiSWANa	BRAN, HiSWANa	4G cellular, ITS
Up to 60GHz	FWA, mm-wave WLAN, HAPS, HiSWANb	HAPS, HiSWANb	ITS, HAPS

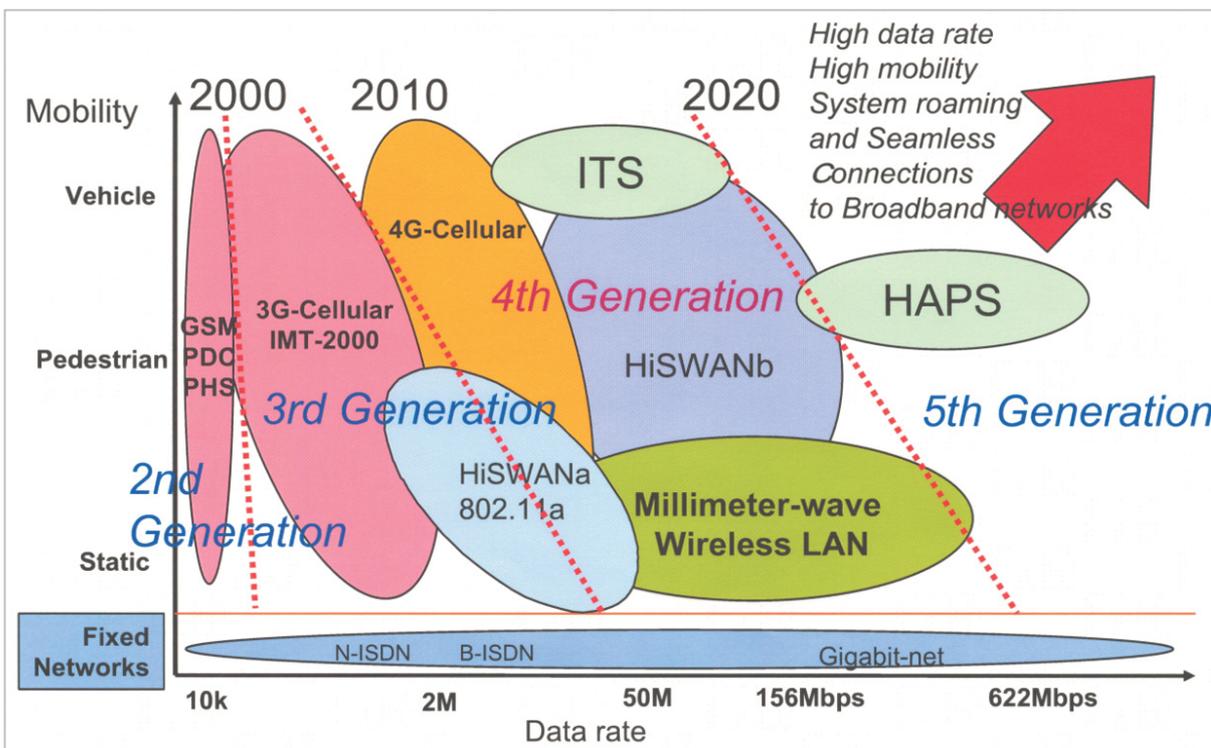


図1 無線ネットワークの世代分類

ネットワークの定義を表2に示した。

あるコードを波長可変フロントエンドを用いてプログラム可能無線に導入することによって無線の物理層が動的に生成できることが、ソフトウェア無線(SDR)の研究によって分かっている。SDR方式のユーザ端末は、複数の無線アクセス技術を採用しているヘテロジニアスネットワークへのアクセス手段として、ユーザに「共通ツール」を提供することができる。一方、ネットワーク側には、様々な無線アクセスシステムを一つのヘテロジニアスネットワークに統合するための「共通プラットフォーム」が必要となる。インターネットはそうした共通プラット

フォームを提供するし、IPv6技術はネットワーク構築に向けた潜在技術である。理屈からいえば、電波インタフェースで再構成可能なSDR方式ユーザ端末及びIP(v6)を用いたヘテロジニアスネットワークがあれば、サービスの配信に当たって当該サービスを最も効果的に提供するネットワークが使用できる。

表1を見れば分かるように、各周波数帯には異なる無線アクセスシステムが分布している。たとえ再構成可能なSDR端末を使ったとしても、好ましい無線アクセスシステムを選択するには時間もかかるしバッテリーも消費する。ヘテロジニアススペーシングや垂直ハンドオフなどに対応

表2 ヘテロジニアスネットワークの定義

in	Network with	Same wireless access technology	Different wireless access technologies
	Same administrative domain (company)	Homogeneous	Heterogeneous (Limited services Easy implementation)
	Different administrative domains (companies)	Heterogeneous (Limited services Complicated implementation.)	Heterogeneous (General services Most complicated implementation)

することもまた技術的に難しい。そこで私たちは、ヘテロジニアスネットワークのサービス提供に使用されるすべての無線アクセスシステムに共通する「共通アクセス」機能を備え、ヘテロジニアスページング、位置情報更新、無線システム発見、垂直ハンドオフなどに対応できる「基本アクセスネットワーク」を提案する。基本アクセスネットワークはセル構成をもち、低速ながら信頼度の高い通信チャネルを備えることが考えられる。その基地局は、他の無線アクセスシステムのものよりもサービスエリアがかなり広い。

様々な無線アクセス技術に適し、しかも異なるQoS要求や異なるプロトコルのアプリケーションにも対応できる、柔軟でオープンなアーキテクチャを構築するという最終目標のもと、MIRAIプロジェクトは共通ツール、共通プラットフォーム及び共通アクセスの研究開発に注力している。そのソリューションは、SDR方式のマルチサービスユーザ端末(MUT)、IPv6を採用した無線対応の共通コアネットワーク(CCN)、そして基本アクセスネットワーク(BAN)である。本稿ではこのMIRAIアーキテクチャについて紹介する。

本稿の構成は以下のとおりである。ヘテロジニアスネットワークという概念を最初に紹介し、次にマイクロモビリティとインターネットでのQoSの仕組みに関する作業について説明する。4では私たちが考えるアーキテクチャの主要コン

セプトを述べる。さらに、MIRAIアーキテクチャの詳細を5で述べ、そのアーキテクチャを実現する際の課題について6で触れる。

## 2 ヘテロジニアスネットワークのモデル

複数の異なる無線アクセスネットワーク(RAN)を用いたアーキテクチャは幾つか存在する。その主なモデルを図2に示した。図では、AとBという二つのRANを持つものを描いた。三つのモデルの主な違いはRAN間の通信レイヤにある。各モデルには様々なバリエーションが可能である(例えば<sup>12</sup><sup>13</sup>参照)。

### 2.1 トンネル形ネットワーク

このモデルでは、ユーザは幾つかのRAN事業者と独立にサービス契約を結ぶ。要求されるサービスに最も適したネットワークが、ある方針に従って選択される。ネットワーク間の通信にはインターネットの比較的上位のネットワーク層(トランスポート層又はセッション層)が使用される。そのためサービス待ち時間が増大する。このシステムの場合、既存のアクセスネットワークを変更する必要がなく、すべてのネットワークはシグナリング、ハンドオフハンドオーバー、課金などについて独自のインフラを備えている。そのため既存のネットワークシステムを効率良く相互運用することは極めて難しい。

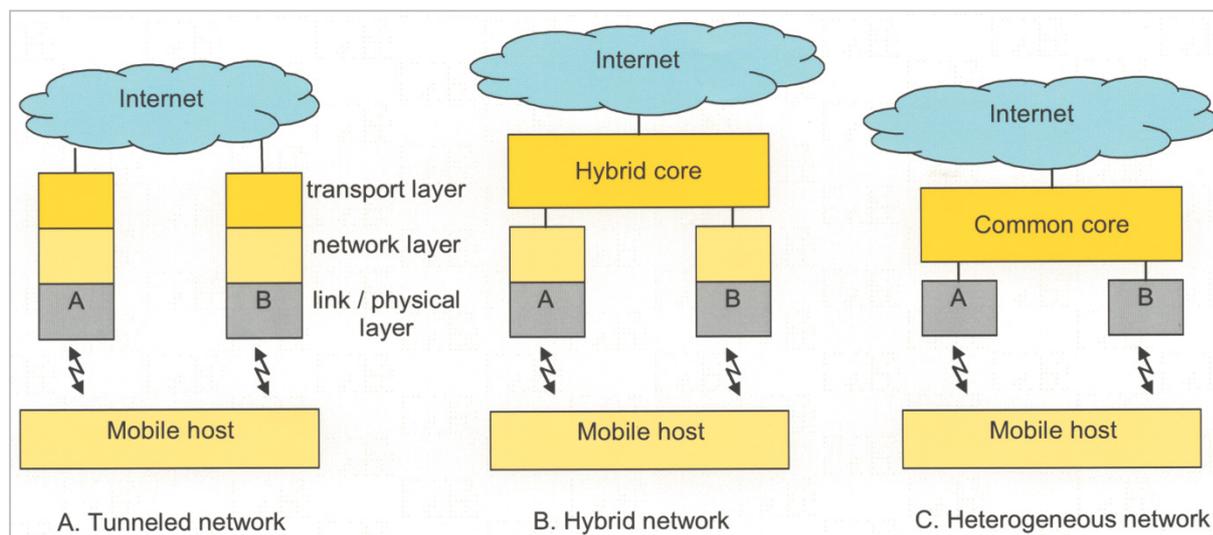


図2 アーキテクチャモデル

## 2.2 ハイブリッドネットワーク

このモデルでは、RANとインターネットの間にハイブリッドコアが介在する。RANはネットワーク層及びその下位層を引き受ける。このモデルのメリットとしては、重複する機能が少ないこと、ネットワーク層又はデータリンク層においてより高度なサービスが提供できる(例えばRAN間でより良好なハンドオフが実施できる)こと、などが挙げられる。

## 2.3 ヘテロジニアスネットワーク

このモデルには共通コアネットワーク(CCN)が備わっている。CCNはすべてのネットワーク機能を処理し、あたかも一つのネットワークであるかのように動作する。各RANは、ある特定の無線アクセス技術に関する処理しか行わない。一般にRANには物理層とデータリンク層しか含まれない。同一のCCNに属するRAN同士の通信は、低位のネットワーク層(データリンク層又はネットワーク層)で行われる。これによってオーバーヘッドが減少し、ネットワークのパフォーマンスが向上する。このモデルの大きな課題は異なるRANの間で変換が必要なことであり、ネットワークの標準化に向けた多大な作業及び標準化をサポートする企業の協力が欠かせない。

ここでハイブリッドネットワークとヘテロジニアスネットワークを区別したことに注意していただきたい。後者の各種アーキテクチャもよくハイブリッドと呼ばれるが<sup>[13]</sup>、後者は複数のネットワークが一斉に協働しながら「同時に」存在し得る。私たちはこの点を重視して、これをヘテロジニアスと呼びたい。ハイブリッドネットワークは複数のネットワークから使用するものを一つ選択するという、より従来の概念である。

## 3 関連作業

将来の無線ネットワークインフラは、多様なユーザ、多様なアプリケーション、そして多様なアクセスニーズに対応せねばならない。高速アクセスはセルを小さくすれば実現できる。しかし、そうすると基地局の密度が高まり、ハンドオフの頻度もそれに依りて増える。関連作業

は、現時点ではもっぱら無線ネットワークでのルーティングとハンドオフの局面に関係する。モバイルIPプロトコル<sup>[8]</sup>はIPレベルより上位のレイヤに対して透過的なモビリティを実現するため、ノードの位置変更が可能になる。モバイルIPは一般に「マクロモビリティ」のソリューションと見られており、モバイルホストがサブネット内を移動するマイクロモビリティ管理にはそれほど適していない。マイクロモビリティの典型例は、狭い地理範囲しかカバーしない隣接の無線送受信機に対して行うハンドオフ処理である。マイクロモビリティに対して提案されている方式は極めて少ない(セルラIP<sup>[3]</sup>、HAWAI<sup>[10]</sup>など)。それらの方式間の違いは、パケットをローカルドメイン(ホーム又は外部)内でルーティングする際の仕組みにある。

インターネット上のQoSに関する関連作業は、主として統合サービス<sup>[2]</sup>と優先付けサービス<sup>[1]</sup>に関するものである。最近ではヘテロジニアスネットワークに関する研究が増えているが、この種の研究は始まったばかりである<sup>[12]</sup>。それ以外の関連した研究は、主としてハイブリッドネットワークのアーキテクチャがマクロモビリティのサポートに焦点が当てられている<sup>[4][7]</sup>。ATMがQoSをサポートすることから、無線ATM技術の開発にも多くの関心が集まっている(例えば<sup>[6]</sup>)。

現時点では、モビリティ機能をサポートすることによってモバイルホストのローミングを可能にするソリューションが存在するのみである。ヘテロジニアスネットワークが使用されることもあるが、二者択一という従来の意味で言われることが多い。これは、モバイルホストが一つ以上のRANにおいて同時に通信できるという、ヘテロジニアスネットワークに関する私たちの見方とは異なっている。

## 4 コンセプト

次世代以降の無線インターネットにおける重要課題は、様々なタイプのネットワーク、端末及びアプリケーションに対応できるよう、そのアーキテクチャは極めて柔軟かつオープンでなければならない点である。

#### 4.1 システム要件

基本的な目標は、ヘテロジニアスネットワークをすべてのユーザに対して共通化することである。また、無線アクセス技術に依存しないシステムアーキテクチャを構築することも目標の一つである。これらの点を考えると、以下のような要件が浮かび上がる。

##### ①各種RANにアクセスできるマルチサービスユーザ端末(MUT)

MUTは、無線電波インタフェースモジュール(マルチモード電波インタフェース又はソフトウェア無線(SDR)方式の再構成可能電波インタフェースなどを使用)を複数個備え、一つ以上の電波インタフェースを用いることで一つ以上のRANにアクセスすることができる。

##### ②無線システム発見

ある地理的位置にあるMUTが、ユーザの物理容量や使用ポリシーにあったRANを使用するには、そのエリアで使用可能なRANの数をはじめに把握することが必要である。これは重要なプロセスだが、ときに困難で時間がかかる。使用される発見方法は、一般に分散形(MUTが使用可能なRANを探す)、中央管理形(利用できるRANの数をネットワークが告知する)及び両者の融合形の三つである。

##### ③無線システム選択

ヘテロジニアスネットワークの重要な特徴は、MUTが一群の利用可能なRANから最適なRANを選択できることである。無線システム選択においては、ユーザの使用ポリシー(料金、データ転送速度、バッテリーの寿命、サービス等級など)とそのときのRANのトラフィック状態(使用できる帯域、輻輳状態など)の両方が基準となる。その結果、各サービスはそのサービスにとって最も効率的なネットワークを使って提供される。

##### ④モビリティ管理

関連技術を開発し、QoSが保証されたシームレスなハンドオフを同一RAN内(水平ハンドオフ)及び異なるRAN間(垂直ハンドオフ)で実施可能とせねばならない。

##### ⑤位置情報更新とページング

システムはRANに依存せず、全ユーザに共通でなければならない。また、セキュリティ

が保たれた上、低信号負荷、統合的な制御と管理、ローミング対応の位置情報更新を実現する必要がある。位置情報更新技術においては、MUTに対するヘテロジニアスページングが可能でなければならない。

##### ⑥シンプル、高効率、スケーラブル、低コスト

この要件は互いに密接な関係がある。将来的なピコセルネットワークでは特に重要となる。ピコセルネットワークでは一つのアクセスポイントが最大数百Mbpsに対応する必要があるため、複雑なアクセスポイントが多数存在すると非効率である。

##### ⑦高いエネルギー効率

無線IPの通信機器は、スイッチが入りいつでも使用可能な状態にあり、常にインターネットからデータを受信できることが望まれる。そのため、位置情報の維持や無線システム発見などの機能は、エネルギー効率かつ帯域効率が良いことが必要になる。セルラシステムでは受動接続の概念を使用して、空き状態にあるモバイルホストの消費電力を低減している。

##### ⑧セキュリティ

移動通信システムは、固定網にないセキュリティ問題に数多く直面する。モバイルホストは移動時に位置情報を更新する必要があるため、システムのセキュリティが不完全だと、この種の位置メッセージはなりすましにあり可能性がある。シームレスなハンドオフが大きな重要性を持つシステム及びアプリケーションでは、モバイルホストが使用するセッションキーの処理はハンドオフ時に(同一RAN又は異なるRANの)新しい基地局において速やかに実施される必要がある。

##### ⑨QoSのサポート

QoSがエンドツーエンドで確保されねばならない。RANが提供するサービスはある特定のサービス向けに特化されているため、ヘテロジニアスネットワークではQoSが極めて重要になる。QoSをエンドツーエンドで確保することは、ローカルなQoSとの間で相互運用を行う必要があるということであり、下位レイヤ(データリンク層と物理層)のプロトコルがトラフィック特性を「認識」することに

よって様々なQoS要求に対応することが必要になる。

#### ⑩個人モビリティ

ヘテロジニアスネットワークではホモジニアスネットワークより個人モビリティが重要になる。個人IDをもつユーザは様々なRANにアクセスできねばならない。

⑪上述した要件の一部は互いに密接に関連している。ある要件の答えが見つければ、それが他の要件の答えになることもある。アーキテクチャの開発に当たっては、既存プロトコルをできるだけ流用することで、労力の低減を図るとともに、既存のプロトコル及びアプリケーションとのシステム互換性を確保するよう努めている。

## 4.2 基本エンティティ

私たちのソリューションでは、次に示す三つの主要エンティティを使用する。

共通コアネットワーク(CCN)：これは例えば、共通プラットフォームを提供するマネージドIPv6ネットワークである。すべてのMUTは、インターネット上の通信先ノードとこのCCNを介して通信する。RANのアクセスポイントは原則としてすべてCCNに接続される。CCNでは、QoSが保証されたルーティングとシームレスなハンドオフがRAN間で提供される。様々なヘテロジニアスネットワークがこれによって自然な形で統合される。CCNの根幹をなす機能エンティティは、リソースマネージャ(RM)である。リソースマネージャはトラフィック分配を調整するほか、最適のRANを選択する。ユーザプロファイル管理のため、認証、位置決定、好ましいアクセスシステム、課金、ポリシー、ユーザ端末容量などについて共通のデータベースが維持される。

基本アクセスネットワーク(BAN)：BANが提供する共通制御/信号チャネルにより、すべてのMUTが共通プラットフォームにアクセス可能となる。BANを使用する主な目的は、位置情報更新とページングの実施及び他のあらゆる無線システムに対する無線システム発見と垂直ハンドオフのサポートである。BANは基地局と基本アクセス要素(BAC、端末)とで構成され、広い

カバー範囲をもつ。BANがサポートするRANよりも広範であることが好ましい。また、高速伝送が不要な信号伝送に対して信頼度の高い通信手段を備える。

マルチサービスユーザ端末(MUT)：MUTはマルチ無線システムを備えている。すべてのMUTには、BANと通信するための基本アクセス要素がある。また、この無線システムとは別に、CCNにアクセスするための無線サブシステムが一つ以上備わっている。無線サブシステムは、基本的あるいは好ましくはSDR技術を使用する。MUTはこれによって、内部の無線ハードウェアを使用可能かつ必要な無線インフラに適応させることができる。

## 4.3 ネットワークモデル

MIRAIアーキテクチャでは、モバイルホストとインターネット上の通信先ノードとの通信が提供される。そのネットワーク構成を図3に示す。主要要素である基地局は無線アクセスポイントの機能を果たし、CCNとインタフェースする。CCNは、ゲートウェイルータを介してインターネットに接続される。CCNは、幾つかのRANに代わってサービスを提供する。RANは一般にオーバーラップするため、モバイルホストはある地点において複数のRANに接続することができる。このような無線ネットワークはカバーエリアがかなり広範に及ぶことがある。

モバイルIPv6は、CCN間の接続及びグローバル(マクロ)モビリティ管理を目的に考えられたプロトコルである。CCNの管理エリア内において、高速無線アクセスを備えた異なるRANの基地局間で高速ハンドオフを行うには、ローカル(ミクロ)モビリティ管理が必要になる。ある基地局に属するモバイルホストは、モバイルIPの気付けアドレスとしてゲートウェイのIPアドレスを使用する。CCN内にある間、モバイルホストはホームアドレスによって識別される。基地局は通常のIP転送エンジンに接続又は統合される。これらのIP転送エンジンは、パケットが基地局とゲートウェイの間で転送されるような何らかのネットワークトポロジで互いに接続される。

私たちのコンセプトでは基地局を無線アクセスポイントと同等だと考えているが、これは必

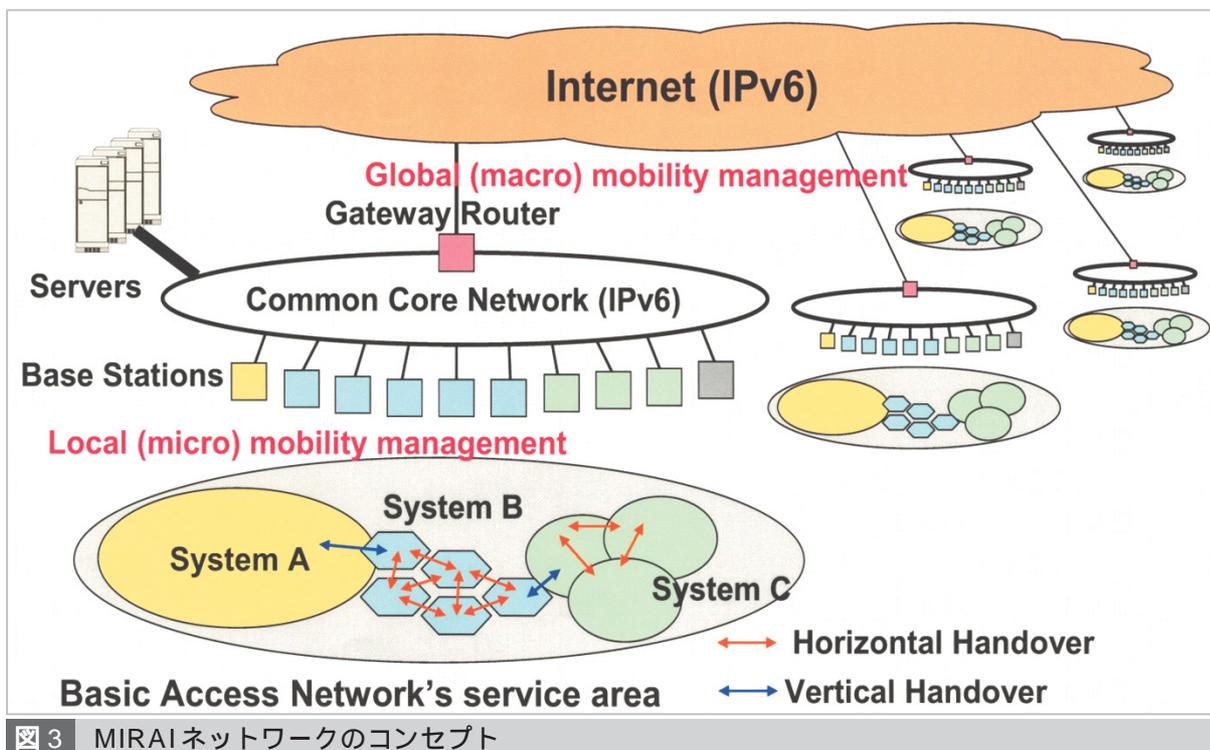


図3 MIRAIネットワークのコンセプト

ずしも必須条件ではない。無線アクセス事業者によってはアクセスポイントを相互接続した自前のネットワークを使用し、コアネットワークへの接続には一つの基地局を共用したいと思うかもしれない。私たちのアーキテクチャにとって重要なのはシンプルさであり、それによってネットワークが低コストで実現できる。CCN及び単独のBANというコンセプトにより、無線サービス事業者は莫大な資産投資を行わずにインフラ整備が実施できる。正しいインタフェースを使用する限り、新規事業者はコアネットワークに簡単に接続できる。事業を始める前に自前のインフラを構築する必要がなく、コアとBANによるインフラをそのまま使用することができる。無線サービスを開発するだけで済むため、無線アクセスに専念していればよい。新サービス全体を実施するのに通常必要なインフラは、アーキテクチャによって既に提供されている。これには技術的側面(基地局同士の相互接続ネットワークを構築してルーティングやハンドオフを行う、インターネットアクセスを提供するなど)と事業的側面(課金や顧客情報管理など)の両方が含まれる。新規事業者が用意せねばならないのは基地局及び端末に対するアクセス手段である。アクセス手段は一般に、SDRに適した

ソフトウェアモジュールであると考えられる。

エンドユーザはCCN事業者と契約することで、RANが提供する様々なサービスをCCN事業者から受けることができる。エンドユーザが複数サービスを受けられる契約をしている場合、システムとユーザは最適なサービスを選択することができる。アクセスネットワークを併用して使用可能帯域を増強するという方法もある。あるいはアップリンクとダウンリンクで異なるアクセスネットワークを使用してもよい。ウェブ閲覧や電子メールのように、多くの場合はアップリンクよりもダウンリンクのほうが使用帯域が多い非対称なユーザアプリケーションに対しては、この方法が有効なことが多い。このように、各サービスを提供するに当たっては、そのサービスを提供する上で、多くの場合最も効率的となるようなネットワークが使用されることになる。その一方で、サービスの実施にどの無線技術が使用されているかをエンドユーザが意識することはない。

## 5 MIRAIアーキテクチャ

この節では、私たちが考えるアーキテクチャの機能エンティティ及び使用プロトコルについて

て紹介する。

### 5.1 概要

本アーキテクチャは図4に示すように、モバイルホスト、RAN、CCN及び外部ネットワーク(例えばインターネット)という四つの主要単位から構成される。外部ネットワークには「通信先ノード(CN)」がある。外部ネットワークとCCNは、一つ以上の「ゲートウェイルータ(GR)」で接続される。外部ネットワークはモバイルIPv6を使用することを前提とする。ゲートウェイルータはモバイルホストに向かうカプセル化パケットを終端し、それを基地局に転送する。CCNが備える二つの重要な機能エンティティは、「リソースマネージャ(RM)」と「モビリティマネージャ(MM)」である。それぞれ主にトラフィック分配とモビリティ関連問題を扱う。

CCNは基地局との通信、すなわちRANとの通信をサポートする。「基地局インタフェースBSI)」の主な目的は、基地局からCCNへのアクセスに

おいて統一的なアクセス手段を提供することにある。BSIは例えば基地局の一部であってもよい。「基地局(BS)」は通常のデータリンク層における無線アクセス処理を行うほか、管轄する無線ネットワークの状態情報を収集する。アクセスネットワークとのインタフェースには「ネットワークインタフェース(NI)」を使用する。

すべてのモバイルホストには、BANと通信するための「基本アクセス要素(BAC)」が備わっている。モバイルホストにはこのほかにネットワークインタフェースも備わっている。ただし基地局のNIとは異なり、SDR技術を用いることで複数のRANに対応できるのが一般的である。「ネットワークセレクタ(NS)」はリソースマネージャと通信し、RANに対して使用する無線を同調させる。アクセスネットワークを正しく選択するには「ネットワーク選択制御プロトコル」が使用される。「ロケータ(LOC)」はモバイルホストの位置情報をRMに提供する。「ローカルリソースマネージャ(LRM)」は端末のローカルリ

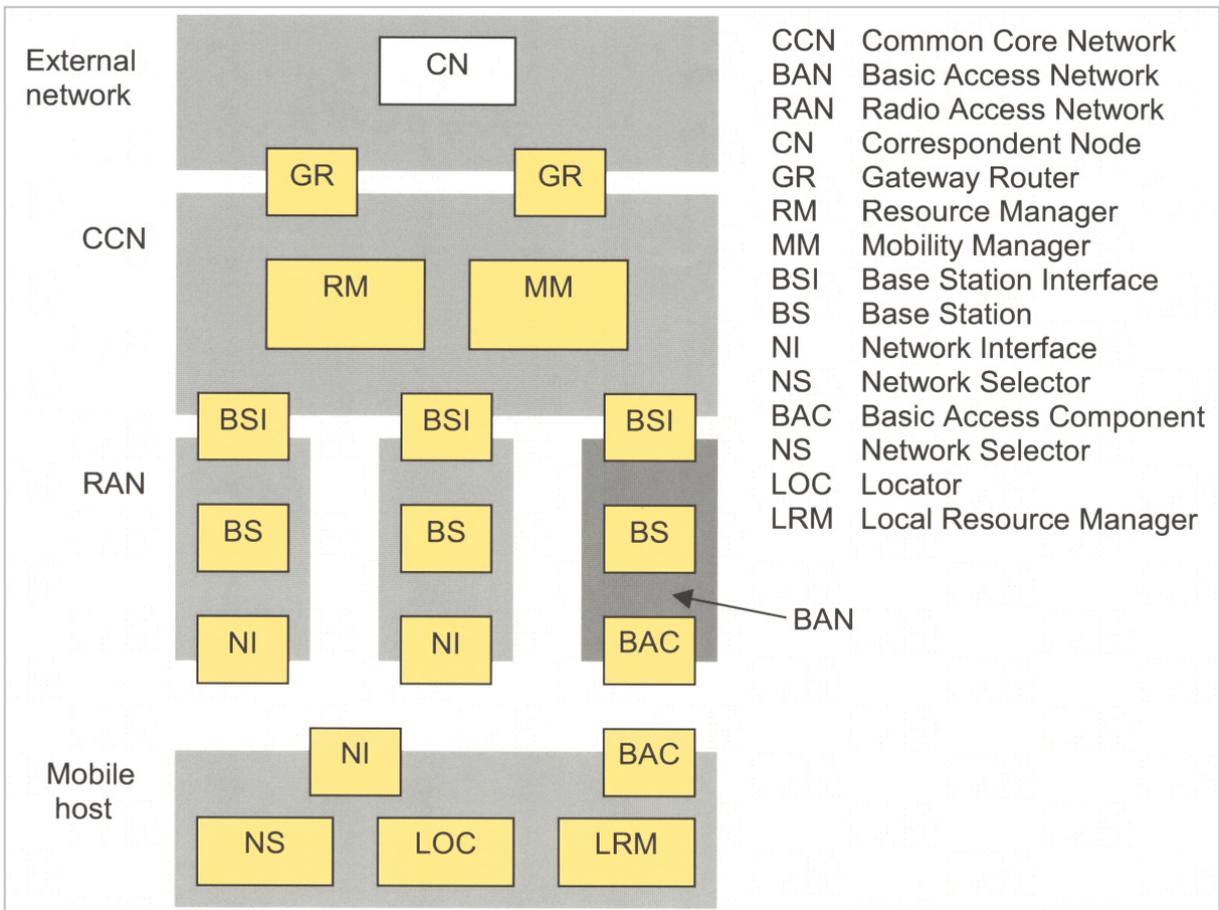


図4 ヘテロジニアスシステムのアーキテクチャ

ソースを管理し、CCN側のリソースマネージャとインタラクトする。

## 5.2 共通コアネットワーク(CCN)の機能エンティティ

このアーキテクチャの一番の目的は、異なるアクセス技術の一つの共通アーキテクチャに統合することにある。それによってシステムの効率利用が実現し、モバイルユーザは希望するサービスを受けることができる。こうした目的を実現するに当たってアーキテクチャが実施すべき主なタスクは、システム内のトラフィック分配を調整するリソース管理と、モバイルホストのローミングを行うモビリティ管理である。

リソースマネージャ(RM)は、CCN内のトラフィック分配を実施するためのリソース割当てとアドミッション制御を行う。モバイルホストが要求したサービスを最も効率的に提供できるRANを選択するのである。簡単に言えば、複数の無線アクセスシステムを統合するとともに、サービス提供に関するそれぞれの強みを周波数効率が高くなる方向で開拓する[11]。RMが持つもう一つのタスクは、外部ネットワークで利用される可能性のあるIP QoSアーキテクチャ(IntservやDiffservなど)とのインタラクションである。これはたんに両世界のQoSパラメータを対応付けるだけの機能である。コアネットワークでは幾つかの基本クラス(ベストエフォート、リアルタイム、適応など)を使用することを考えている。この方法を使えば、様々なIP QoSパラメータを持つIPパケットが無線リンクで適切に処理できる。この機能エンティティは、ネットワーク層に該当する。

RMはサービス選択に当たってある基準を用いる。その基準の出所は、モバイルホスト(ローカルリソースマネージャ)、モバイルユーザ、アプリケーション、基地局など様々である。具体的な内容は次のとおりである。

- ・セッションのQoS条件
- ・コストや使用したいRANなどのユーザオプション
- ・対応可能なアクセスネットワーク、プロトコル、使用可能リソースなどの端末能力
- ・CCN及びRANの状態(使用可能リソース)

### ・モバイルホストの位置

RMは、アクセスネットワークを変更する際のコスト(例えばソフトウェア無線の設定変更にかかわる費用)も考慮に入れる必要がある。この管理タスクは、特にモバイルが地域内を高速でローミングする場合にかなり重要になる。

モビリティマネージャ(MM)は、モビリティに関するすべての処理を行う。モバイルの位置を追跡し、モバイルホストがその場所において使用できるアクセスネットワークを決定する。この情報をRMが使用する。MMが受け持つこのほかのタスクに、CCN内部及び外部ネットワーク(モバイルIPv6を使用)に対するハンドオフ処理がある。こうしたハンドオフ処理を行うには、RMとインタラクトする必要がある。MMはネットワーク層に該当し、CCN内で動作する。モバイルホストがコアネットワーク内を移動するときはモビリティがネットワーク層に対して透過的であるため、システムはIPフロー及びIP QoSパラメータを維持しようとする。一方、コアネットワーク間のモビリティでは予約が再実行されるため、パケットはベストエフォートで転送される場合がある。

## 5.3 基本アクセスネットワークの機能エンティティ

私たちのアーキテクチャでは、二つの個別ネットワークを使用する。シグナリング関連の共通トラフィックを運ぶBANと、データトラフィック並びに個々のRANに関連するシグナリングトラフィックを運ぶCCNである。その主要な機能エンティティは次のとおりである。

BANは主にヘテロジニアスページングの処理に使用される。モバイル環境においてシステムは高いエネルギー効率を持つ必要がある。端末はバッテリーで動作するためである。無線IP通信は大部分の時間において通信状態にはないと思われるが、継続してオンライン(つまり「つねにON」)であることが期待される。要するに、モバイルホストは空き状態であってもネットワークインフラに対して受動的に接続される。そのため、すべてのRANをスキャンしてページングメッセージが来るのを待つなどということは、極めて効率が悪い。その上無線ネットワークは特

定のサービスに対して最適化されているため、ページングメッセージに対しては必ずしも効率が良くない。ただ、この種のトラフィックに最適化された無線ネットワークはもう少し効率が良い。

BANは無線システム発見の機能を提供できる。BANを用いることで共通アクセスが実現する。すべてのモバイルホストがこのBANを使用できるのである。BANはそのとき使用可能な無線ネットワークの情報を端末に通知する。端末はこれにより、使用可能なRANをスキャンする必要がなくなる。

BANはシグナリング用ネットワークとして使用されるが、その目的の一つは垂直ハンドオフである。このサービスはこのような専用ネットワークを導入することで高効率かつセキュアに提供できる。

BANはモバイルホストが自分の位置を決めることのできるインフラを提供する。BAN自身もこの情報を使うことによって、その地域で利用できるサービスの情報をモバイルホストに提供できる。位置管理は、ローミング及びページングの際に更に重要になる。

BANは大半のシグナリング及び制御メッセージに対する媒体として使用される。この役割分担によってシグナリングが別のエンティティ(基本アクセス要素)で行われるため、新しい無線アクセスサービスの構造が簡単になる。

私たちのヘテロジニアスアーキテクチャでは複数のRANが同時又は半同時に使用できるため、ネットワークアクセス同期手段を備え、端末がSDRを他のアクセスネットワークと同調するタイミングが分かるようにする必要がある。

BANはこうしたサービスが簡単に提供できる。

BANをスタンドアロンで使用すると、無線アクセスサービスとして使用することができる。ただし、主としてショートメッセージのように極めて狭い帯域のメッセージングに適している。

BANは主にショートメッセージに使用されるため、速度はそれほど重要でない。ただし多数のモバイルホストに対応できるようにトータルの容量は十分備えていなければならない。

#### 5.4 モバイルホストの機能エンティティ

モバイルホストは、標準的な伝送プロトコル及び無線用制御サービスのすべてに対応できる。制御メッセージは、コアネットワークとモバイルホストの機能エンティティ間で透過的に送信される。

モバイルホストは、図5に示すように、ロケータを備えたBACとSDR方式のネットワークインタフェース(NI)とを備えている。BACは、BANとの間の主要な通信コンポーネントであり、ロケータによる位置決定機能が内蔵されている(例えばGPS受信機)。BACは、モバイルホストがページング境界を越えて移動したときにページング用の位置情報更新データを送出する(粗い更新)ほか、モバイルホストが呼を初期化するときや垂直ハンドオフが必要なときにシステム発見を行う(細かな更新)。ネットワークセレクタ(NS)は、必要なアクセスネットワークを選択するためのエンティティである。CCN内のRMとBAN経由で通信し、使用するべきネットワークとその作動時期を決定する。

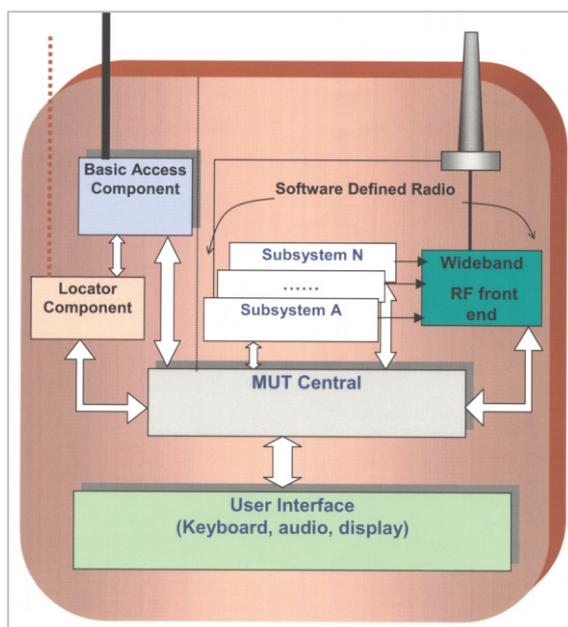


図5 モバイルホストの概念図

契約したサービスシステムないしRANにアクセス(通信)できるサブシステムは、一つ以上存在する。これをサブシステムA、.....、サブシステムNと呼ぶことにする。NIがSDR技術を採用している場合、同時に二つ以上のアクセスネ

ットワークを使用することは難しいと考えられる(垂直ハンドオフに必要な過渡期間を除く)。CCNに備わるRMは、ユーザオプション、RANを含む共通コアネットワークのリソース及び端末のローカルリソースを基にトラフィックを分配する。ローカルリソースマネージャ(LRM)は端末のローカルリソースを管理するほか、CCNのリソースマネージャとインタラクトする。アプリケーションは、インフラの使用とトラフィック及びQoS条件の指定ができねばならない。アプリケーションはQoS APIを使ってアプリケーションの必要条件を設定し、セッションを確立する。このAPIが使用されないときは、セッションにおいてベストエフォート方式が使用される。

すべての(BACを含む)無線アクセスサブシステムは、対応する電波インタフェースと独立して通信するために必要なすべての部品を備えることになる。受信(送信)データはユーザ機器の中央処理装置(CP)に配信(から受信)される。中央処理装置(TCP/IPスタックを備えた組込みOSを内蔵)は、モバイルホスト内のすべての処理を司る。例えばユーザインタフェースの処理、チャネルの監視、設定、サービスサブシステム間の切換えなどを行う。

## 6 課題

私たちは現在、このアーキテクチャの設計、効果の分析、基本機能とプロトコルの実現、実証用デモシステムの製作に取り組んでいる。研究課題の幾つかについては、まだ満足のいく答えが見つかっていない。

ヘテロジニアスネットワークに想定される無線インターネットのアーキテクチャには、多くの面において実現上の課題がある。それが克服できるかどうかは、分析の細やかさ及び必要なプロトコルとシステムの設計の成否にかかっている。とはいえ、本アーキテクチャの試作システムは、既存技術及び現時点での研究結果とプロトコルを用いて実現できると考えられる。例えばCCNアーキテクチャのある部分にはセルラIPやHAWAIIなどを使用することができる。また、BANの構築には現在の双方向ページングシ

ステムが参考になる。外部ネットワークでは、モバイルIPv6のようにモビリティ機能をサポートする既存プロトコル及びIP上のQoSに関する既存の枠組み(DiffservやIntserv)が使用される。本来のソフトウェア無線システムが存在しない間は、複数の無線サブシステムで代用すればよい。

それでもなお、次に示す多くの課題が残ることになる。

信号プロトコル：モバイルホストと共通コアネットワーク(CCN)の間の信号プロトコルについては、マイクロモビリティが可能な既存プロトコルを流用すればいいように考えられる。しかしながら、ヘテロジニアスネットワークでは、信号プロトコルに対していくつかの追加要求がある。例えば、ソフトウェア無線が適切なときに適切なアクセスネットワークに同調することを可能にするネットワーク選択制御の機能が盛り込まれねばならない。また一つのCCNで多数のモバイルホストに対応する必要性から、スケーラビリティ(拡張性)と複雑さが極めて重要になる。

ルーティングとハンドオフ：既存の方法を流用する選択肢もあるが、解決するべき問題はまだまだ多い(優先づけデータフローの扱いなど)。なかでも最大の課題は恐らくCCNのスケーラビリティである。階層の最上に位置するルータにモバイルIPv6を使用し、ネットワーク内の低層ルータにセルラIPを使用するといった、既存プロトコルによるハイブリッド形ソリューションも一つの選択であろう。

QoS管理：外部ネットワークは既存のプロトコル使用を前提としている。しかし、コアネットワークでQoSをどう扱うかは未解決の問題である。

位置情報管理：ヘテロジニアスネットワークを効率使用するには、現在のモバイルホストの位置情報が極めて重要になる。位置決定の方法においては、位置情報更新のコストが正確さと実時性のコストに見合うことが求められる。また、モバイルホストの位置決定方法について、様々な方法を挙げて比較検討することが必要である。

モビリティマネージャ(MM)：この課題は、先にあげた位置情報管理と深く関係する。MMは、

CCNのカバーエリア内にあるすべてのモバイルホストの位置情報をデータベースで管理する。データ件数は膨大なものとなり得る。MMはこのほかハンドオフ処理も行う。ここでもまたスケラビリティの問題が生じる。MMは、ある階層構造において小さいエリアをカバーする様々なエンティティの間に分散されることが想定されている。

リソースマネージャ(RM): ことによるとこれが最大の課題かもしれない。複雑さが高く(入力パラメータが多い) 必要とされるパフォーマンスが高く(高速移動モバイルとの通信を維持しなければならない) また、コアネットワークにおけるセッション数が膨大になり得る(一つの地域が大都市圏になると想定される)。恐らく分散形にする必要があるが、実現はそう容易ではない。リソースマネージャを地域ごとに配置する階層構造が妥当かと思われる。ユーザの状況をその時々で管理できる適切なAPI及びインタフェースを開発する必要がある。

ソフトウェア無線(SDR): SDRの技術はまだ誕生して間もない。設計上の大きな課題は、必要な再構成時間をできるだけ短く抑えることである。

セキュリティ: モビリティ機能は、モバイルホストに関して容易には検出・解決できないセキュリティ問題をもたらす。モバイルIPは、採用すべき機能を既に幾つか備えている。最初の段階として、すべてのシグナリングメッセージの認証が必要であり、できれば暗号化することが好ましい。これは、ネットワークパラメータがシグナリングメッセージによって確立及び変更されるためである。こうした手順が必要なのは、例えば位置情報といったプライバシーを保護するためである。迅速なハンドオフ処理を行うには、適時性のある認証処理が不可欠である。

パフォーマンスとスケラビリティはCCNにとって最大の課題である。ネットワークの想定規模は大都市圏であるため、モバイルホストと基地局の数は上述した多くの項目において大きなパフォーマンス問題を誘引する可能性がある。

## 7 まとめ

本稿で紹介したアーキテクチャは、利用可能なRANを効率使用するための新しいアプローチを示している。その基本コンセプトは、サービスの配信に当たって当該サービスを最も効果的に提供するネットワークを使うという点である。その結果、モバイルユーザは必要なサービスを最低のコストで受けられる上、限りある無線リソースが効率良く使用できる。このアーキテクチャを採用することで、ヘテロジニアスネットワークの無線インターネットが持つ多くの問題が解決される。

現在、通信総合研究所では、MIRAIアーキテクチャを用いた実証用のデモシステムを開発中であり、日本における2001会計年度中(2002年3月)の完成を予定している。デモシステムでは、2種類の無線アクセス技術としてPHS及び802.11b準拠の無線LANを使用する。MUTは、スケジュールの都合から当面はPHSと無線LANに備わるそれぞれのPCMCIAモジュールを統合して使用し、2002年末までにソフトウェア無線モジュールに置き換える。実験用のBANは5章で紹介した基本機能エンティティを備え、各RANの共通信号をサポートするよう400MHz帯で動作する設計となっている。物理層では適応変調を使用し、逆方向リンクにおいて19kbaudの固定シンボルレートをサポートする。また、ダイナミックTDMAを用いたMAC(媒体アクセス制御)プロトコルの開発も完了している。CCNの構造は、地域ネットワークのコンセプトに基づいている。各地域ネットワークにはシグナリングホームエージェント(SHA)が置かれ、位置情報の更新、ページング、マイクロモビリティ及び最低限の認証がそこで行われる。また、この地域ネットワークでは、改良版のセルラIPv6が使用されることになっている。IPv6の外部ネットワークには地域レジスタ(登録エンティティ)が既に設計・実装されている。また、二つのCCN間でのハンドオフ処理のために、改良版モバイルIPv6プロトコルが別途実装される。ハンドオフの物理環境を提供する屋内外の試験場が、現在、横須賀リサーチパーク内で構築中である。

参考文献

- 1 S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, and W. Weiss, "An architecture for differentiated services," IETF RFC 2475, 1998.
- 2 R. Braden, D. Clark, and S. Shenker, "Integrated services in the Internet architecture: an overview," IETF RFC 1633, 1994.
- 3 A.T. Campbell, J. Gomez, S. Kim, Z. Turanyi, C-Y. Ran, and A. Valko, "Design, implementation and evaluation of Cellular IP," IEEE Personal Commun., Vol. 7, No. 4, pp. 42-49, Aug. 2000.
- 4 Daedalus project, Berkeley, <http://daedalus.cs.berkeley.edu>.
- 5 S. Deering and R. Hinden, "Internet protocol, version 6 (IPv6), specification," IETF RFC 2460, Dec. 1998.
- 6 Magic RANd project, <http://www.tik.ee.ethz.ch/~RANd/>.
- 7 Monarch project, CMU, <http://www.monarch.cs.cmu.edu>.
- 8 C. Perkins, "IP Mobility Support," IETF RFC 2002, Oct. 1996.
- 9 E. Pitoura and G. Samaras, "Locating Objects in Mobile Computing," IEEE Trans. Knowledge and Data Eng., Vol. 13, No. 4, pp. 571-592, Jul. 2001.
- 10 R. Ramjee, T. La Porta, L. Salgarelli, S. Thuel, K. Varadhan, and L. Li, "IP-based Access network infrastructure for next-generation wireless data networks," IEEE Personal Commun., Vol. 7, No. 4, pp. 34-41, Aug. 2000.
- 11 V. Rexhepi, G. Karagiannis, and G. Heijenk, "A framework for QoS & mobility in the Internet next generation", Proc. EUNICE 2000, University of Twente, Enschede, the Netherlands, Sep. 2000.
- 12 R. Keller, T. Lohmar, R. Tonjes, and J. Thielecke, "Convergence of cellular and broadcast networks from a multi-radio perspective," IEEE Personal Commun., Vol. 8, No. 2, pp. 51-56, Apr. 2001.
- 13 R. Walsh, L. Xu, and T. Paila, "Hybrid networks – a step beyond 3G," 3rd Int. Symp. Wireless Personal Multimedia Commun. (WPMC'00), pp. 109-114, Bangkok, Thailand, Nov. 2000.



みずの みつひこ  
水野光彦  
無線通信部門 横須賀無線通信研究センター 研究主管 工学博士  
陸上移動通信



うゑ がん  
鰐 剛  
無線通信部門 横須賀無線通信研究センター 無線統合ネットワークグループ 主任研究員 博士(工学)  
陸上移動通信

Paul J. M. Havinga, Ph.D.  
無線通信部門 横須賀無線通信研究センター 元特別研究員  
無線通信