

シームレス通信環境のためのコンテキスト情報を 利用したネットワーク・アプリケーション制御機構

井上 真 杉[†] マハムド カレド^{†,‡} 村上 誉[†]
長谷川 幹雄[†] 森川 博之^{†,‡}

異なる無線ネットワークをユーザが意識することなく柔軟に利用できるシームレス通信環境の実現に向けて、これまで無線ネットワークの検出・選択機能や省電力機能などを実現するための異種無線統合ネットワーク MIRAI アーキテクチャを提案し検討してきた。しかし、シームレス通信環境の実現とユーザの利便性向上のためには、ユーザニーズを把握するとともに、より上位のレイヤで提供すべき機能も含めて検討が必要である。そこで、シームレス通信ソフトウェアを一般モニタに貸し出してシームレス通信を体験してもらいながらアンケート形式でユーザの考え方を調査した。その結果、シームレス通信機能やプレゼンス機能に対する強いニーズがあることなどが明らかになった。これをふまえて、コンテキスト情報を利用したネットワーク・アプリケーション制御機構を設計・実装した。本システムはコンテキストとしてユーザのプレゼンス、位置、各ネットワークの状態や端末の能力などの情報を利用することで、通信相手との間で実行可能な通信アプリケーションをユーザに提示する機能や、ネットワーク切替えと同時にアプリケーションを変更する機能などを提供する。コンテキスト情報を利用することにより、ネットワーク切替え機能だけを提供する場合よりも、相手の状況やネットワーク状態などをユーザが意識する必要性が低下し、通信に集中できる環境を提供できることを明らかにした。

Context-based Network and Application Management System for Seamless Services in Heterogeneous Networks

MASUGI INOUE,[†] KHALED MAHMUD,^{†,‡} HOMARE MURAKAMI,[†]
MIKIO HASEGAWA[†] and HIROYUKI MORIKAWA^{†,‡}

Seamless networking in heterogeneous networks is expected, enabling users to access the networks without being aware of individual networks. Much attention has been paid to improving networking performance, such as minimizing packet losses and guaranteeing QoS during cross-network handover. However, other novel technologies for radio access network (RAN) discovery and selection, low-power multi-access mobile terminal, and paging users under heterogeneous networks are also needed. We have been proposing an out-of-band signaling scheme for providing those functions. On the other hand, we conducted a questionnaire on user needs for a seamless network and it revealed that about 80% of respondents wanted a presence function and needed seamless handover. This motivated us to develop a context-based adaptive communication system. Context includes the user's presence, location, available network interfaces, network availability, network priority, terminal capabilities, and installed applications. The system operates on a seamless networking platform we developed for heterogeneous networks. By using contexts, the system can inform the caller and callee of applications they can access, which are available through the network before communication occurs. Changes in contexts can switch an on-going application to another during actual communication. These functions provide unprecedented styles of communication.

[†] 独立行政法人情報通信研究機構

National Institute of Information and Communications
Technology

^{††} 東京大学大学院新領域創成科学研究科

Graduate School of Frontier Sciences, The University
of Tokyo

現在, North South University, バングラデッシュ

Presently with North South University, Bangladesh

1. はじめに

新世代のモバイルシステムは、さまざまなネットワーク、デバイス、センサなどが相互に接続され、それらの融合によって人間の生活を支援する基盤となることが期待されている¹⁾。その実現に向けて、異なる無線ネットワークをユーザが意識することなく柔軟に利用

できるシームレス通信技術の確立が求められている。ユーザから見ると、ソフトウェア無線技術などが実現されて1つの端末で複数の無線ネットワークを利用できるようになれば、サービスエリアが広がったように感じられ、常時接続性が高まるという利点がある。通信サービス提供者側から見れば、既存システムを活用して安価にサービスエリアを拡大することができる。また、ある無線ネットワークが輻輳や障害によって使用不能になった際に他のネットワークへ切り替えることも可能になり、耐障害性や信頼性の向上も見込める。このように異種無線環境とシームレス通信の実現が期待される一方で、「現在はさまざまな無線システムが混在しているが、将来はそれらが代表的な数種類の無線システムに集約されていくだろう」という考え方がある。しかしながら筆者らは、セルラーシステムは国家や企業による国際的な競争環境にあるため複数の規格が生まれやすいことや、IEEE系無線システムも用途に応じてさまざまな規格が登場してきたことをふまえて、将来も多くの無線システムが登場してくると考えている。

シームレス通信に関しては、通信中の無線ネットワークハンドオーバの高速化に重点を置いた研究が多い。一方で筆者らは、異種無線環境におけるユーザの利便性向上を目的として、ネットワークハンドオーバに加えて、各無線ネットワークが利用可能かどうかを把握し、選択し、接続する機能、マルチアクセス端末を省電力で待機させる機能、ネットワーク側から適切な無線ネットワーク経由でユーザを呼び出す(ページング)機能など²⁾の新しい機能を提供する仕組みを研究している。具体的には、共通シグナリングを用いた異種無線統合ネットワーク MIRAI に関する研究を進めている^{2)~4)}。これまでの無線システムではデータチャネルとシグナリングチャネルとがバンドルされ一体的に提供されていた。MIRAI ではこれらを分離し、各無線システムはデータを伝達するデータネットワークとして機能する。そして、各無線システムが共通で利用するシグナリング機構およびそれを伝達するシグナリングネットワークを提供することを特徴としている。

このようにシームレス通信を提供するためのさまざまな技術的検討が進められている一方で、シームレス通信に対する実際のユーザニーズや、シームレス通信が有効な利用シーン・アプリケーションに関する情報が不足していると考えていた。シームレス通信はユーザの利便性を向上させるためのものであり、その実現にあたってユーザニーズは必要不可欠な情報である。このような観点から、ユーザニーズを把握する試みが

必要であると考えていた。同じくユーザの利便性向上の観点からは、先に述べたネットワーク検出・選択やハンドオーバ、省電力などのユーザからは隠蔽される低レイヤでの各種機能提供に加えて、ユーザに近いもしくはユーザに直に接する高レイヤで提供されるべき機能に関して検討する必要があると考えていた。その1つがコンテキスト(ユーザやユーザの周辺、ユーザの関わる事柄に関する情報)の利用である。文献5)でも、よりインテリジェントな通信を行うためにコンテキストを認識して活用することの有益性が述べられている。

このような背景から、本論文では、ユーザの求める利便性をユーザニーズ調査を通して明らかにするとともに、その結果に基づいて行ったコンテキストを利用するネットワーク・アプリケーション制御機構の設計と実装について報告する。以下ではまず、関連研究について述べ、本論文の特徴を示す。続いて、シームレス通信に対するユーザニーズを把握するために行った体験実験とアンケート調査結果について述べる。次に、この結果をふまえて実行した、ネットワーク・アプリケーション制御機構の設計と実装について述べる。具体的には、コンテキストの定義と各コンテキストの概要、コンテキスト処理手順、システム構成の基礎となる異種無線統合ネットワーク MIRAI の概念について述べ、システム構成や各機能、システムの特徴などについて述べる。

2. 関連研究

文献6)ではワイヤレスオーバーレイネットワークの概念とそこで必要となる異種無線ネットワーク間ハンドオーバ(垂直ハンドオーバ)方式を提案・評価しているが、多彩なコンテキストは用いていない。文献7)では、比較的シンプルなメディア選択手順とIPモビリティプロトコルとを組み合わせることに主眼を置いており、コンテキストを用いた上位レイヤでの対応などは考えていない。

ポリシに基づいてよりインテリジェントにハンドオーバを行う手法に関して文献8), 9)が論じている。また文献10)~12)の各研究では、通信料金、通信帯域、サービスエリアなどの情報やユーザの嗜好といったコンテキストをネットワーク選択の判断材料とすることに関して論じている。ただし、発信側のコンテキストのみを考慮している。文献13)は発信側・着信側の双方のコンテキストを利用し、ユーザの選択結果を学習することでユーザの満足度を高めるネットワーク選択手法について検討している。文献14), 15)はコ

ンテキストウェアサービスのためのコンテキスト取得・管理手法を中心に論じている。文献 16) は接続ネットワークに応じてメールとウェブの動作を変える手法を論じている。しかしながら、これら文献 13)~16) では、ネットワークハンドオーバーやそれともなうアプリケーションの変更などに関しては論じられていない。文献 17) はコンテキストを無線メディア選択の判断に用いる必要性が述べられているが、具体案は述べられていない。

本研究の特徴の 1 つは、独自の MIRAI アーキテクチャに基づいたシームレスネットワーク制御を行っていることにある。双方のコンテキストを考慮するとともに、ユーザに対して利用可能通信メディアではなく利用可能アプリケーションを提示する機能や、通信メディアの変更にもなってアプリケーションを変更する機能などを備えていることも特徴である。また、概念提示にとどまらず実装していることも特徴である。

MIRAI アーキテクチャに基づいたシームレスネットワーク(多様なコンテキストは利用せず、アプリケーション制御も行わない)についてはすでに報告している²⁾。本論文の特徴は、コンテキストを利用してアプリケーション制御を行うことを主眼にした上記の研究およびシームレス通信に関するユーザニーズ調査に関して報告することにある。

3. シームレス通信に関するユーザニーズ

3.1 体験実験の目的と概要

シームレス通信環境を提供するための技術研究を行うにあたって、ユーザの考え方やシームレス通信に対するニーズを把握することが重要である。このような考えに基づき、シームレス通信に関するユーザニーズ調査を実施した。その際、シームレス通信がどのようなものであるかを知らないと、将来のシームレス通信についてユーザが思案することができないことから、筆者らが開発したシームレスアクセスソフトウェア(以下 NetSelector)をユーザに提供してシームレス通信を体験してもらいながら、2 回のアンケート調査に回答してもらった形式をとった。

実験期間は 2003 年 6 月 23 日~8 月 8 日であり、関東圏から 100 名のモニタを募集し、88 名のモニタを得た。モニタの条件は、実験協力プロバイダの NTT コミュニケーションズ(株)が運営する ISP サービス「OCN」の会員で(株)アッカ・ネットワークスの提供する ADSL サービスを利用しており、ノートパソコン(OS: Windows XP)と PHS(カード型など)を所有していることであった。モニタ 88 名の特徴を簡単

に紹介する。男女比は男性 85 名(96.6%)、女性 3 名(3.4%)であった。年齢層は 20 代が 25 名(28.4%)、30 代が 29 名(32.9%)、40 代が 15 名(17%)、50・60 代が 3 名(3.4%)、不明 16 名(18%)であった。主な業種は情報通信 60%、サービス 8%、学生 7%、マスコミ 6%、金融・証券・保険 5%であった。モニタ条件や実験内容ゆえに、平均よりもモバイル通信を積極的に利用しているモニタが多く集まったと考えられる。このような特性を持つ人たちが、シームレス通信などの先進のモバイル通信関連技術を積極的に利用し、技術開発と利用を促進していく役目を担うと考えられるため、本調査で得られる情報はシームレス通信の研究開発に有用であると考えられる。なお、モニタには無線 LAN アクセスポイントとクライアントカードを貸し出し、自宅での無線 LAN 環境を構築してもらったようにした。

NetSelector は、ノート PC のネットワーク接続を容易にするソフトウェアである。通信する場所(自宅、職場など)ごとに利用したいネットワーク(イーサネット、無線 LAN、各種ダイヤルアップ)の優先順位を設定することができる。また、通信を自動で切り替える際の切替えポリシー(安定性重視・優先度重視)も設定できる。これらの設定状況と実際の通信状況とに基づいて接続先の選択や切替えを自動で行う。たとえば、家庭内では無線 LAN と ADSL 回線を利用したインターネット接続、街中では公衆無線 LAN を利用した接続、公衆無線 LAN が利用できない環境では PHS を利用した接続を自動で選択する。また通信が切断された際には次の優先度の接続先へ自動で接続する。

3.2 ユーザニーズ調査結果

アンケートでは合計 29 の質問をモニタに提示して回答を得た。シームレス通信関連以外に、ノート PC の利用場所、頻度、提供した NetSelector による利用形態の変化、NetSelector の使い勝手などについても調査したが、紙面の制約のため本論文ですべての結果を示すことはできない。ここではシームレス通信に関わるいくつかの結果を紹介する。小数点以下は四捨五入している。

まずはじめはシームレスに対するニーズである。提供した NetSelector では無線ネットワークを変更する際にいったん接続を切断してから別の無線ネットワークへ再接続するため通信が途切れてしまうが、今後は切断を感じずにシームレスにネットワークを切り替えるシームレス通信環境の実現を希望するかという問いに対して、79%(69 名)が希望すると回答した。シームレス通信に対する強い期待が読みとれる。

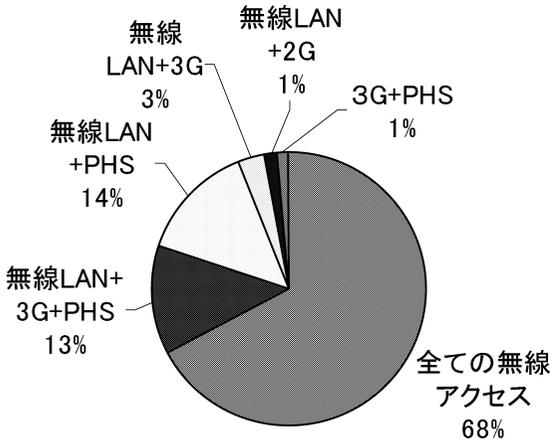


図 1 シームレス通信を希望する無線システムの組合せ
 Fig.1 Combinations of wireless systems desired to be used seamlessly.

次に、シームレス通信を希望すると回答した 69 名のうち、どの無線システム間でシームレス通信を希望するかという質問に、その 68%が「すべての無線システム」、14%が「無線 LAN と PHS」、13%が「無線 LAN と 3G と PHS」と回答した（複数選択方式、図 1 参照）。2 位と 3 位を見ると、家庭・職場・屋外ホットスポットなどで無線 LAN を利用できるときは無線 LAN を利用し、それ以外は PHS によるデータアクセスに頼っている現状が現れているものと思われる。「無線 LAN と 2G」や「無線 LAN と 3G」とのシームレスの支持が相対的に低いのは、携帯網の利用料が割高だと感じているためと思われる。

VoIP による電話サービスを公衆無線 LAN サービスのエリアで利用したいと考えているのは 89%であり、携帯電話や PDA などの携帯型端末を使って VoIP サービスを利用したい人はそのうちの 75%であった。

次に、無線 LAN から携帯電話などへのシームレスなハンドオーバーが可能だとしたらどのようなアプリケーションを使いたいかという問いに対して、図 2 に示すように、1 位が「IP 電話」で 75%、2 位が「ストリーミングなどの動画」で 42%となった（複数選択方式、回答数 213、%は回答者 88 名に対する割合）。このように連続通信を必要とするアプリケーションが上位を占めた。一方で、オンラインによるバンキング、ショッピング、チケット予約の 3 つの金融・コマースアプリケーションの合計は 70%以上であり、非連続系ではあるがトランザクション途中で切れては困るアプリケーションを利用する場合にもシームレス通信へのニーズが高いことが分かる。

無線 LAN を利用しているときのノート PC の電池

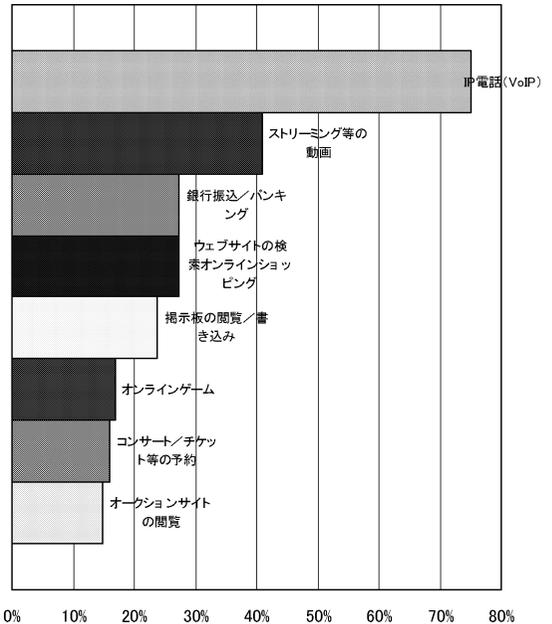


図 2 シームレス通信環境で利用したいアプリケーション（複数選択、数値は回答者数 88 名に対する割合）

Fig. 2 Desired applications under seamless networking environment.

消費について聞いたところ、電池の消耗が早いと思う人が 88 名中の 35%、少し思うが 33%、ほとんど気にならないが 23%、残りは AC 電源を使うので気にならないという結果になった。7 割近くが電池の消耗を気にしており、モバイル環境での省電力の必要性が改めて確認された。

将来所有したい端末像に対する質問では、「携帯電話のみ」と「PDA のみ」がともに 19%、2 位が「携帯電話とノート PC」で 17%、3 位が「携帯電話と PDA」で 16%であった（図 3）。このことから携帯電話だけでなく PDA への期待も高いことが読みとれる。

連絡したい相手が今通話できるか、どこにいるかなどを知らせるプレゼンス機能は 83%が必要と回答した。位置情報を使った機能・サービスで使ってみたいものという問いでは、今いる場所から目的地までのナビゲーション機能が 74%、相手の場所がすぐ分かり、自分の位置も通知できる機能が 61%、近くのお店情報の提供サービスが 49%、トイレや休憩所の情報提供サービスが 42%であった（複数選択方式、回答者数 88 名に対する割合）。プレゼンスや位置情報を活用した新たな通信サービスへの期待が高いことが分かる。

本体実験およびアンケート調査によって、ユーザのシームレス通信に対する強いニーズが明らかになった。そして、無線システムを選ばずにシームレスに通

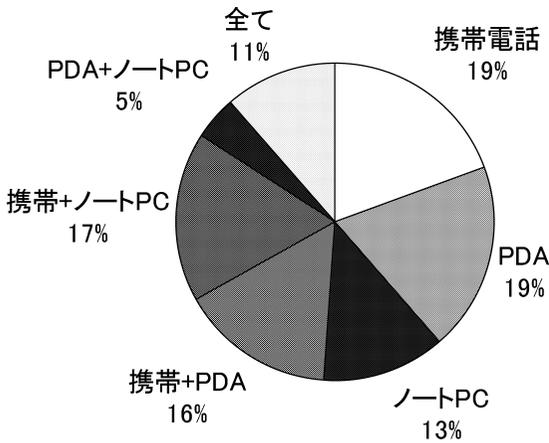


図3 将来所有したい端末

Fig. 3 Types of mobile terminals users want to have.

信したいこと、シームレス通信環境下で IP 電話などのリアルタイムアプリケーションだけでなくさまざまなアプリケーションを実行したいこと、省電力化を期待していること、プレゼンス機能や位置情報を利用した機能を望んでいることなども明らかになった。

4. ネットワーク・アプリケーション制御機構の設計と実装

4.1 概要と機能要件

筆者らの研究の目的は、異種無線ネットワーク環境において通信を行う際にユーザの利便性を向上させる仕組みを実現することにある。そのような観点で前章で示したシームレス通信に関するユーザニーズ調査結果を見ると、シームレス通信機能はもちろんのこと、プレゼンスや位置情報を活用した新しい通信サービスへの対応も必要であるといえる。一方で、通信時のさまざまな障害を軽減するためにコンテキストの活用が有効であることはこれまで論じられている⁵⁾。このような考えに基づき、シームレス通信に対してコンテキストを活用することでコミュニケーション実行時にユーザの利便性を向上させるという概念の有益性を検証するために、システムを設計・実装することにした。具体的には、ユーザのプレゼンス、位置、ネットワークの状態や好み、端末の能力など（以下でこれらを本論文におけるコンテキストと定義する）を利用することで、通信相手との間で実行可能なアプリケーションをユーザに提示する機能や、ネットワーク切替えと同時にアプリケーションを変更する機能などを提供するシステムである。コンテキストを活用することで次に列挙する主な機能要件を満足するシステムを目指した。

(1) 通信中に異なるネットワークへ切り替えるシ-

ムレス通信機能を有すること

- (2) ネットワーク切替えにともなって通信帯域が変化した際に、アプリケーションの停止による通信の中断を避けるために、アプリケーションだけを変更することで通信そのものは維持する機能を有すること
- (3) 通信開始前に通信相手のプレゼンスが確認できること
- (4) 通信開始前に通信相手とどのような通信ができるか確認できること
- (5) 対話型アプリケーションとしてテレビ電話と音声電話が可能なこと

4.2 コンテキストとその処理

4.2.1 コンテキストの定義

ユーザの現在の状況（オンラインかオフラインか、在席中か否かなど、インスタントメッセージソフトですでに用いられている）を示す情報は「プレゼンス」と呼ばれている。一方でユーザの性質を示す情報はプロフィールと呼ばれている。これには、ネットワークやアプリケーションなどに関する嗜好や、ユーザの普段の行動エリアなど、さまざまなものが含まれる。本論文では、プレゼンスとプロフィール、そしてこれら以外のユーザの位置やネットワーク状態などの情報をすべてまとめてコンテキストとする。コンテキストを体系化することは難しく、1つの課題となっている（たとえば文献 15)）。本論文ではまず、コンテキストをその特徴から3つに整理して考える。ユーザおよびユーザをとり巻く装置や状況（端末やネットワーク）に関する情報を1次コンテキストとする。1次コンテキストに属する各コンテキストは可変であり、また他のコンテキストとは独立に決定される。次に1次コンテキストから決定されるものを2次コンテキストとする。最後に、システム側で決定される静的または準静的なものを0次コンテキストとする。これらを表1、表2、表3に示す。

4.2.2 各コンテキストとその状態

以下、各コンテキストについて説明する（表1から表3）。A「位置」は空間座標やそれから得られる自宅や会議室といった意味のある位置情報を指す。本システムではGPSで取得する座標データとした。屋内の位置情報の取得と管理は重要な課題であり、検討を進めている^{18),19)}。B「搭載NW-I/F」は端末が搭載するネットワークインタフェース（NW-I/F）の種類である。C「NW優先順位」は複数のネットワークの中から1つを選択する際の優先順位である。理想的には、通信コスト・信頼性・電力消費量・通信速度・サービ-

表 1 1次コンテキスト
Table 1 Class 1 contexts.

コンテキスト	状態
A 位置	空間座標データ
B 搭載 NW-I/F	WLAN11b, WLAN11a, 3G など
C NW 優先順位	1: 11a, 2: 11b, 3: PHS, 4: 3G など
D プレゼンス	Online, Offline, Busy など
E 通信状態	通信中 / 非通信中
F 端末の能力	ビデオ電話可能, 音声電話可能など
G 搭載アプリ	ビデオ電話 (1M), 音声電話 (64k) など

表 2 1次コンテキストから生成する 2次コンテキスト
Table 2 Class 2 contexts.

	各 NW 状態	接続中, 接続可能, 接続不可能
H	利用可能帯域	10 Mbps など
J	利用可能アプリ	ビデオ電話, 音声電話など

表 3 静的・準静的な 0次コンテキスト
Table 3 Class 0 context.

K	各無線エリア	“Hotspot-A” のサービスエリアなど

スエリアなどのあらゆる項目に対するユーザの嗜好を考慮して優先順位を自動的に決定できればよいが, そのような機構はなく今後の課題である。また, たとえ 1 つの項目に関してネットワークの優先順位を求めるとしてもさまざまな課題がある。たとえばあるユーザが通信速度の観点で優先順位を決定したいとする。しかし, 無線 LAN やセルラーシステムは複数の無線伝送モードを持っており, 電波環境やアプリケーションなどに応じて通信速度が変化するため, 一意に決定することは難しい。さらに, たとえ無線区間の通信速度が把握できたとしても, 通信相手との間の有線ネットワークも含めたエンド-エンドの通信状況を把握することが本来必要である。このように理想的な制御を行うためには課題が多い。本システムでは, 通信コストや信頼性などの各指標ごとに接続したいネットワークの順序を明示的に設定する仕組みを採用する。D「プレゼンス」はユーザ自身の置かれている状況を示す。汎用のインスタントメッセージソフトなどですでに利用されているように, ユーザ自身が入力するほかに, センサなどによって得た情報から自動判別することも考えられる^{18),19)}。本システムではユーザ入力とした。汎用ソフトと同様に, オンライン, オフライン, とりこみ中, 一時退席, 退席中, 電話中, 昼休み, の各状態をとる。E「通信状態」は端末の通信状態を示し, 通信中か非通信中かのいずれかの状態をとる。F「端末の能力」としてモニタの有無, CPU 能力などのハードウェア能力が一般に考えられる。しかし本システムでは「ビデオ電話 (音声電話, 音声メッセージ保存を

含む)が可能」, 「音声電話 (音声メッセージ保存を含む)が可能」, 「音声メッセージ保存が可能」の 3 状態とした。ファイル転送やウェブアクセスなどのデータサービスは常時可能である。G「搭載アプリ」は, 端末で実行可能なアプリケーションとそれらが必要とするネットワーク帯域とした。具体的にはビデオ電話 (必要通信速度 1 Mbps), 音声電話 (音声メッセージ含む) (64 kbps), ウェブブラウザとした。

H「各 NW 状態」は端末に搭載されたネットワークインタフェースで接続可能な各ネットワークの状態である。「接続中」, 「接続可能」, 「接続不可能」の 3 状態をとる。実際にそのネットワークを利用して通信中であれば接続中, サービスエリア内のため接続可能ではあるが接続中ではない状態を接続可能, そしてサービスエリア外で接続できない状態では接続不可能となる。このコンテキストは, 後に述べるように, 他のコンテキスト A, B, K およびネットワークスキャンによって求められる場合と, ネットワークスキャンのみで求められる場合とがある。前者の場合は 2 次コンテキスト, 後者であれば他のコンテキストとは独立であるから 1 次コンテキストとなる。ここでは 2 次コンテキストとして表 2 に示してある。I「利用可能帯域」は後ほど説明するコンテキスト処理手順に従って上記各コンテキストから 2 次的に求められるものであり, 対象となっている端末で達成可能な最高通信速度を指す。J「利用可能アプリ」は, 利用可能帯域で実行可能なアプリケーションである。たとえば利用可能帯域が 64 kbps しかなければ, 利用可能アプリは音声電話となる。

K「各無線エリア」は各無線ネットワークサービスのサービスエリア情報であり, ネットワーク側が完全に情報を把握している理想状態を仮定した。

4.2.3 コンテキストの処理手順

相手と通信を始めるときに, まずユーザが希望する通信アプリケーションを決めて, それに必要な十分なネットワークを自動または手動選択する方法と, ネットワーク状態などに基づいてシステム側が利用可能な通信アプリケーションを決定してユーザに提示する方法とが考えられる。前者の方法では, ネットワーク状態によっては所望アプリケーションが実行不可能のこともあり, アプリケーションを選びなおして再度接続を試みる必要があるなど, 手順が煩雑になる。それに対して後者では, システムが提示するアプリケーション群の中から希望のものをユーザが選択すればよいのでユーザの負担が少ない。そこで今回は後者のアプローチで実装した。コンテキスト情報の処理手順を図 4 に

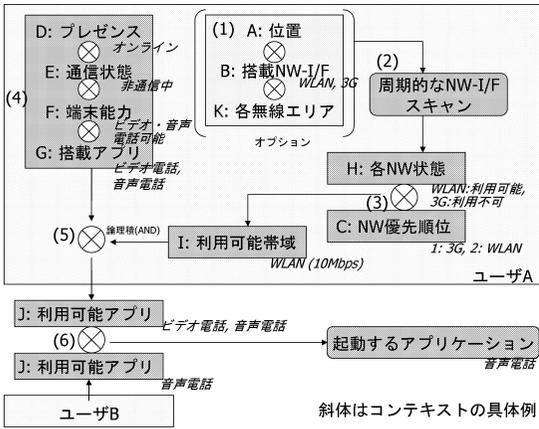


図 4 起動アプリケーション決定のためのコンテキスト情報処理手順
 Fig. 4 Context processing procedures for determining the application to be initiated.

示す。

処理 (1) は、コンテキスト A 「位置」や K 「各無線エリア」が得られる場合に限り、処理 (2) の周期的なネットワークインタフェーススキャンを効率化するために行うオプション処理である。本処理では、まずコンテキスト A 「位置」、B 「搭載 NW-I/F」、K 「各無線エリア」の論理積 (AND) からユーザの現在地で利用できそうな無線ネットワークを把握する。ここでいう論理積とは、集合論における積集合 (すべての集合に含まれる共通の要素による集合) を意味する。処理 (1) を例に説明する。ユーザ位置と各無線サービスのエリア情報とから、ユーザの現在地において提供されている無線サービスが分かる。これをいま無線 LAN, 3G, 2G の 3 つとする。これはコンテキスト A と B との論理積に相当する。一方で端末に搭載されているネットワークインタフェースは無線 LAN と 3G であるとする。この場合に処理 (1) の論理積は、最終的に (無線 LAN, 3G, 2G) と (無線 LAN, 3G) との積集合である (無線 LAN, 3G) となる。このように、処理 (1) を実行することにより、多数の無線ネットワークの中から実際に利用可能と思われる無線ネットワークを絞り込む。これにより、ネットワークインタフェースが端末に搭載されていてもその場所では実際には利用できないネットワークをスキャンすることを防ぎ、スキャン時間の短縮と電力消費の低減が図れる。

端末は、処理 (1) を実行するか否かにかかわらず、処理 (2) として周期的なネットワークインタフェースのスキャンを実行し、コンテキスト H 「NW 状態」を得る。処理 (1) が実行されない場合には、搭載しているすべてのインタフェースをスキャンする。

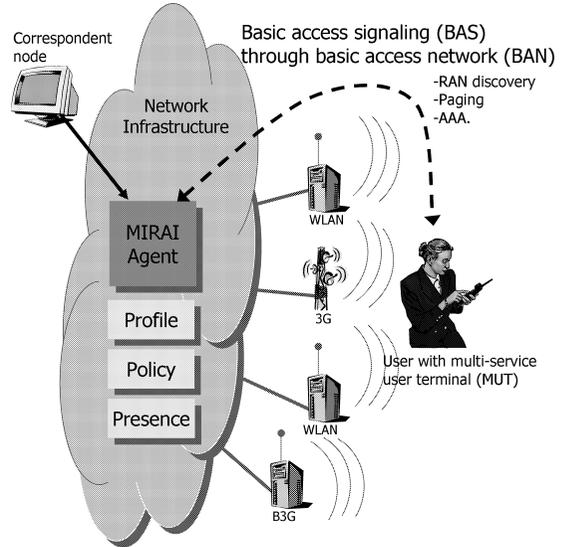


図 5 データバスと制御バスを独立して設定することを特長とする MIRAI アーキテクチャの概念図
 Fig. 5 Concept for out-of-band signaling (Basic Access Signaling: BAS) on Basic Access Network (BAN) with MIRAI architecture.

処理 (3) で H 「NW 状態」と C 「NW 優先順位」との論理積をとる。その結果が I 「利用可能帯域」となる。一方で処理 (4) として D 「プレゼンス」、E 「通信状態」、F 「端末能力」、G 「搭載アプリ」の論理積を求め、この結果と I 「利用可能帯域」との論理積を処理 (5) として実行する。その結果が J 「利用可能アプリ」になる。通信要求時に、もう一方のユーザの J 「利用可能アプリ」との論理積を処理 (6) として実行し、最終的に起動可能なアプリケーションを決定する。

4.3 異種無線統合ネットワーク MIRAI の概要

筆者らは将来の異種無線ネットワーク環境下でシームレスサービスを実現するための MIRAI アーキテクチャを提案している (図 5)。MIRAI の特長は、ユーザデータを伝達するデータチャンネルと、制御情報を伝達する制御チャンネルとを、論理的にだけでなく物理的にも分離できるようにし、それぞれを別々の無線ネットワーク上に設定することにある。この独立した制御チャンネルを用いてネットワーク上の MIRAI エージェントとマルチサービスユーザ端末 (Multi-service User Terminal: MUT) との間で共通シグナリング (Basic Access Signaling: BAS) と呼ぶ制御情報を交換することにより、シームレスサービスに必要な発着信、位置通知、認証、無線アクセスネットワーク (Radio Access Network: RAN) の発見・選択・切替えなどを可能にする。BAS を伝送する RAN を Basic Access Network (BAN) と呼ぶ。

BAN は制御情報を伝達するため、データ通信に比べて高速な通信速度は必要としないが、サービスエリアが広く、端末側通信インタフェースの消費電力が低く、常時接続性の高いネットワークが理想である。したがってセルラーネットワークや双方向ページングシステムなどが現時点で適していると考えられるが、無線 LAN を BAN として設定することも可能である。また、手動設定はもちろんのこと、ユーザのプリファレンスに基づいた自動設定も可能である。

MIRAI エージェントは、BAN を介して MUT と通信することでユーザのプロファイル、ポリシー、プレゼンス、プリファレンス、位置などを取得する。これらのコンテキストや通信のコンテンツに基づいて適切なネットワークを設定する。たとえばあるユーザへの接続要求を MIRAI エージェントが受けると、BAN によりユーザの MUT へ着信する。その際に、ユーザコンテキストや通信コンテンツに基づいてシステムが求めた利用可能な RAN をユーザへ提示する。ユーザ側は手動または自動選択して接続する。BAN の別の役目として端末の省電力化がある。MIRAI では、BAN インタフェースのみを常時 ON とし、その他のインタフェースは未使用時にはすべて OFF とする。これにより省電力が期待できる。

4.4 プレゼンス情報管理

プレゼンス情報の管理形態として、サーバ型と端末型とが考えられる。前者は、ネットワーク上のサーバでユーザのプレゼンス情報を保持するため、サービス提供者からみて運用・管理が容易で、プレゼンスを活用した新しいサービスも提供しやすい。しかし、プライバシー保護の観点では問題もある。他人に知られたくないプライベートなプレゼンス情報をサーバに通知すると、その情報がネットワークオペレータや第三者に知られてしまう恐れから通知を嫌がるユーザもいる。

一方の端末型は、プレゼンス情報を端末で保持し、ユーザが許可した情報以外はサーバに通知しない。また、サーバが介入しないで端末どうしてプレゼンス情報を交換する。ユーザが懸念するサーバ型の問題点を改善しているが、情報を交換し合う端末数が増えるとそれだけ情報更新に時間を要するため、スケーラビリティは劣る。しかし、パーソナルユースではプライバシー性の高いプレゼンス情報をやりとりするのは比較的少数の親しい者同士であると予想され、端末型でも機能すると考えられる。そこで今回は端末型で実装し、プレゼンス情報は端末内で保持するようにした。その他の 1 次コンテキスト A「位置」、B「搭載 NW-I/F」、C「NW 優先順位」、E「通信状態」、F「端末能力」、

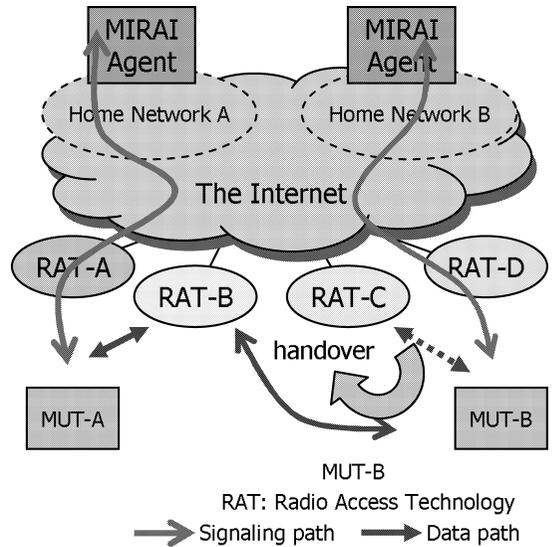


図 6 想定するネットワーク構成
Fig. 6 Network configuration.

G「搭載アプリ」も端末側で保持し、図 4 で示したコンテキスト処理は端末側で実行する。端末どうしのコンテキスト情報の交換はサーバを経由せず端末間で直接行う。

4.5 システム構成

本システムが想定するネットワーク構成を図 6 に示す。ユーザが所有するマルチサービス端末 (Multi-service User Terminal: MUT) と、そのホームネットワーク上に MIRAI エージェントが存在する。MUT は各種無線方式 (Radio Access Technology: RAT) により提供される無線ネットワークを介してネットワークに接続する。MUT と MIRAI エージェントは常時接続のシグナリングネットワークによってつねに制御情報をやりとりできる状態である。データ通信時にはコンテキストに基づいて選択された無線ネットワークを介してデータ通信を行う。図 6 では、MUT-B が無線 C から無線 B へネットワークハンドオーバーを行う様子を示している。

実装システムのネットワーク構成と機能構成をそれぞれ図 7 と図 8 に示す。Layer1/2 の機能を提供する将来の IP 対応 RAT のアクセスポイントの代わりに、現在利用可能な無線ネットワークや無線アクセスポイントを活用した。具体的には、第 2, 第 3 世代セルラー、PHS, 無線 LAN を用いた。NICT ネットワーク内にホームネットワークを構築し、MIRAI エージェントを配置した。MUT の機能はラップトップ PC (IBM T30) および PDA (HP iPAQ H3970) に実装した。

MIRAI エージェントには、各無線ネットワークの

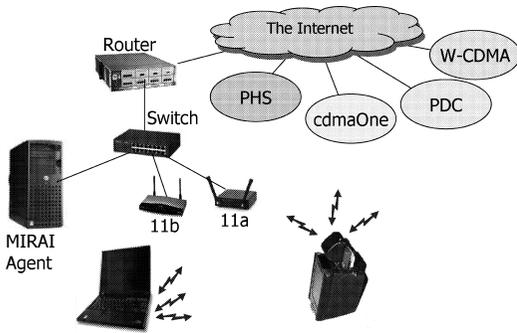


図 7 実装システムのネットワーク構成
Fig. 7 Experimental network setup.

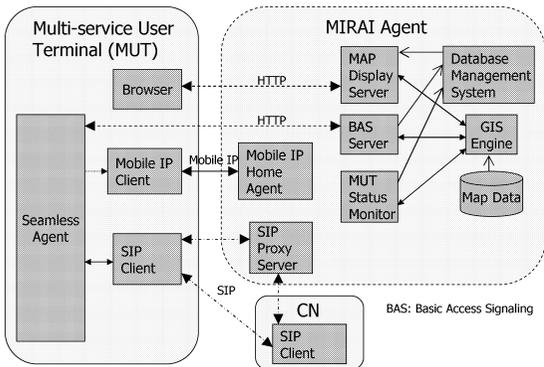


図 8 機能構成
Fig. 8 Functional configuration.

サービスエリア, 通信速度, 通信料金に関する仮想的な情報を持たせた。しかし, これらの情報を利用するシステムを実現するには, 各通信業者の重要情報を集約して運営するための新しいビジネスモデルの開発なども含めて課題が多い。そこで今回は, サービスエリア情報が得られなくても MUT 単独で利用可能 RAN を推定するための, 電界強度に基づく無線ネットワークインタフェースのスキャン機能を実装した。各 MUT には IPv4 ホームアドレスを 1 つ割り当て, 異種 RAN 間のモビリティは Mobile IPv4 で実現した。RAN に接続した際に割り当てられるアドレスを, Mobile IPv4 の気付アドレスとした。一方, 各携帯電話網内ではそれぞれが提供するマイクロモビリティ機能によって移動性が保証される。各 MUT とネットワークとの間には, 常時接続の制御ネットワーク (Basic Access Network: BAN) を設定する。BAN として任意の無線ネットワークを選択できる。

4.5.1 MIRAI エージェント

MIRAI エージェントは, BAS を含む各種制御機能を担う論理的な機能要素である。IP モビリティ機能を提供するための Mobile IP ホームエージェント機能,

各端末の SIP クライアントアプリケーション間のセッション制御機能を提供する SIP プロキシサーバ機能, BAS 機能, ユーザの登録状況や位置を管理する機能, 各無線システムのサービスエリアに関する情報を保持する機能を提供する。サービスエリアやユーザ位置を表示するための GIS 機能も有する。

Mobile IP のホームエージェントとして Dynamics 0.8.1²⁰⁾ を採用し, simultaneous binding 機能を実現するために拡張した。これにより Mobile IP ホームエージェントは複数のバインディング先に同一パケットストリームを転送することが可能となる。MUT の複数の通信インタフェースに対応するバインディングを登録することで, 同じストリームを異なる複数の RAN 経由で MUT へ転送することができる。ハンドオーバー時に一時的に RAN と BAN に同一パケットを送信することで, パケット損を低減させるために用いる。

MIRAI エージェントは MUT 状態テーブルと MUT 構成テーブルの 2 つのデータベースを内部に持つ。状態テーブルには, MUT のホーム IP アドレス, 気付アドレス, 位置, 位置情報更新周期, BAN として利用されている RAN, データ転送用の RAN, RAN 選択時のプリファレンスの 7 つの情報が各 MUT 別に登録されている。プリファレンスとは, 通信料, 通信速度, カバレッジ, 信頼性, 省電力性の 5 つの指標のどれか 1 つである。各プリファレンスごとに, 接続するネットワークの優先順位をユーザがあらかじめ設定する。たとえばプリファレンスがカバレッジの場合に優先順位が高いほうから PDC, cdmaOne, W-CDMA, PHS, WLAN などと設定する。構成テーブルには, 各 MUT のホーム IP アドレスと搭載しているネットワークインタフェースとが記録されている。

4.5.2 マルチサービスユーザ端末 (MUT)

MUT には, Mobile IP クライアントと SIP クライアントの各機能があり, これらを統合制御するシームレスエージェント機能がある (図 8)。これにより, Mobile IP 制御, ネットワーク切替え制御, BAS によるネットワーク側とのシグナリングなどを行う。既存の携帯電話網には Mobile IP の Foreign Agent を設置できないため, Mobile IP クライアントは co-located care-of-address モードで動作させた。SIP クライアントは, BAN を通じて SIP シグナリングを行い, 発着信やユーザ間でのプレゼンスの交換などを行う。また発着信時にシームレス機能に対して無線接続を要求するとともに, SIP アプリケーション制御も行う。

MUT は, Linux を搭載したノート PC および PDA

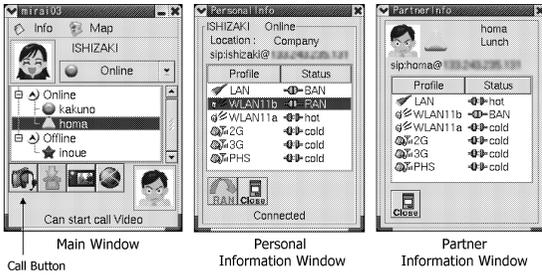


図 9 MUT 上のシームレスエージェントのスクリーンショット
Fig. 9 GUIs of seamless agent software in MUT.

に対して 3G, 2G, PHS, 802.11b, Ethernet の各カードを装着して実現した．ラップトップ型 MUT の OS は Red Hat Linux 8.0 で, Mobile IPv4 クライアントとして Dynamics 0.8.1 を実装した．各 MUT は先に述べた最大 5 つのネットワークに対するインタフェースを搭載する．PDA 型 MUT にも同様に多数のネットワークインタフェースを搭載するために, 4 つのスロットを持つ特別な拡張ジャケットを製作した (図 7)．PDA 型 MUT では OS として Familiar Linux²¹⁾ 0.5.2 が動作し, この上でラップトップ型と同様に Dynamics を動作させた．

MUT のシームレスエージェントのユーザインタフェース画面を図 9 に示す．左はユーザ “ISHIZAKI” のメイン画面であり, 現在オンラインであることを示している．中央はこのユーザの個人情報画面である．SIP アドレスのほかに各ネットワークインタフェースの状態が示されている．現在は, LAN (Ethernet) が制御用ネットワーク (BAN) として選択・利用され, WLAN11b (2.4 GHz 帯無線 LAN) がデータ用ネットワークとして利用されていることを表している．また, WLAN11a (5 GHz 帯無線 LAN) は利用可能であるが使用されておらず, そのほかのネットワークは利用不可能であることも示している．右画面はメイン画面で選択した相手の情報を示している．

メイン画面の “Call Button” 部分には, 通信し合う双方のコンテキストに応じて 「ビデオ電話」「音声電話」「音声メッセージ保存」「通信不可」の 4 種類のいずれかが表示される．たとえば, 受信者側がオンラインかつ受信可能で, 双方ともビデオ通信可能な広帯域ネットワークに接続可能であれば, 「ビデオ電話」画像が表示される．

4.5.3 システムの特徴

本システムは, 省電力機能, コンテキストに基づいてネットワークとアプリケーションを自動制御する機能, 通信中の異種無線システム間ハンドオーバ機能, 通信中の端末間ハンドオーバ機能, ハンドオーバ時の

アプリケーション自動変更機能, 高優先無線システムへの再接続機能などを備えている．

省電力機能により, 必要なネットワークインタフェースのみ電源が投入され, 利用していないインタフェースはすべてオフになる．これにより消費電力を抑える²²⁾．データ通信を行っていない場合は BAN として使用しているネットワークインタフェースのみオンとし, データ通信時にはそれに用いるネットワークインタフェースもオンにする．端末間ハンドオーバは SIP を利用して通信中にエンド端末を切り替える機能である．再接続機能により, 現在利用中のネットワークが利用できなくなった際に, 優先度が 1 つ上のネットワークに再接続する．

これらの機能を利用することで具体的に実現されるデモンストレーションを写真を交えて説明する．まず, 通信開始前の動作について述べる．これまで述べてきた MUT 機能を搭載したノート PC をユーザ 2 名がそれぞれ持っていて, 両 PC はともに 100 Mbps のイーサネットに接続されているとする．ここで一方のユーザがもう一方のユーザを通信相手として指定するために, 図 9 に示した GUI 上で当該ユーザを選択すると, 両ユーザともにイーサネットが利用できかつプレゼンスがオンラインであることから, コールボタンには 「ビデオ電話」の画像が表示される．相手のプレゼンスが Busy であれば, 「音声メッセージ保存」画像になる．またどちらかの PC からイーサネットケーブルを抜いて狭帯域な無線に切り替わると, コールボタンの画像が 「音声電話」になる．

次に両 PC がイーサネットに接続されてビデオ電話可能な状態で通信を開始する．その様子を図 10 に示す．左のユーザとその端末をユーザ A と MUT-A, 右のユーザとその端末をユーザ B と MUT-B とする．ビデオ電話が確立された状態で, MUT-A からイーサネットケーブルを抜くと, 別のネットワークに切り替わる．ここではイーサネットから携帯網に切り替わる．それと同時にアプリケーションがビデオ電話から音声電話に切り替わる (図 11)．このときの制御シーケンスを図 12 に示す．MUT-A のイーサネットのリンクダウンを検出すると, ビデオ電話信号を流すデータパスをイーサネットからいったん BAN へ退避させる．そして新しい RAN (携帯網) へ接続して, BAN へ退避させていたデータパスを新 RAN へ戻す．その後, コンテキスト I 「利用可能帯域」が変化したことを契機に, SIP シグナリングによりアプリケーション変更処理を行う．

無線に切り替えたユーザ A が場所を移動してデス

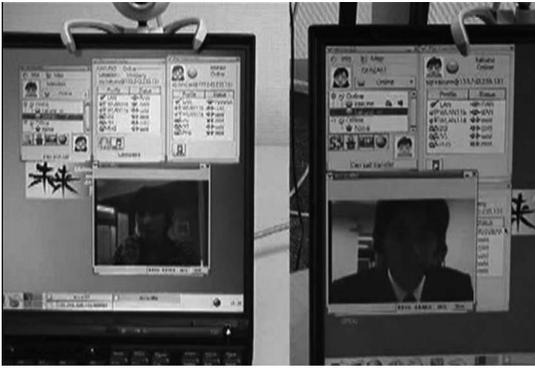


図 10 広帯域ネットワークで接続されたユーザ端末でビデオ電話を開始

Fig. 10 LCD monitors of laptop MUTs with video phone obtained through broadband connection. Left: user A's windows, right: user B's windows.

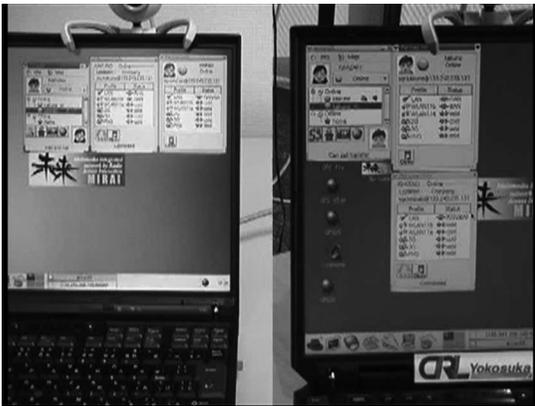


図 11 狭帯域ネットワークに切り替わり、ビデオ電話から音声電話に自動切替え

Fig. 11 Video stream has been suspended because bandwidth has narrowed because user A has moved. Only voice stream continues to flow.

クトップ PC に近づき、端末間ハンドオーバー機能によりコネクションを MUT-A からデスクトップ PC に切り替える (図 13)。ネットワークは MUT-A で利用していた携帯網からデスクトップに接続されたイーサネットに切り替わり、アプリケーションが音声電話からビデオ電話に切り替わる。

最後に、ネットワーク切替え時間およびアプリケーション切替え時間の測定結果について述べる。各時間の定義を図 14 で説明する。ネットワーク切替え時間とは、MUT 上でネットワーク切替え指示を出してから、最後の registration update の応答が得られるまでの時間とする。アプリケーション切替え時間とは、アプリケーションを変更するためにやりとりされる SIP シーケンスに要する時間で、INVITE 送信から ACK 送信までここでは定義する。BAN や RAN として

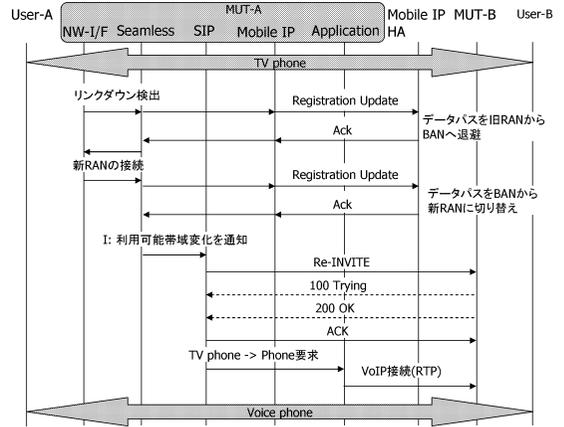


図 12 ネットワーク状態変化にともなうアプリケーション変更を行う際の制御シーケンス

Fig. 12 Sequences during application handover from video phone to voice phone.



図 13 左のユーザがデスクトップ PC に端末間ハンドオーバーし、ビデオ信号の送信が再開

Fig. 13 Video stream has resumed after user A transferred connection to desktop PC and handed it over to broadband network again.

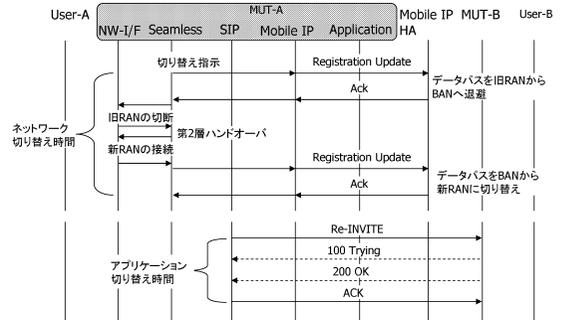


図 14 ネットワーク切替え時間およびアプリケーション切替え時間

Fig. 14 Definitions of network handover time and application handover time.

利用するネットワークの組合せや、そのときの公衆網やインターネットでの遅延などによりこれらの測定結果は異なる。ここではある条件下でのデータを一例として示す。総合的な定量評価は別の機会とする。

条件を述べる。MUT-A は BAN として NTT ドコモの PHS サービス “@FreeD” を利用し、Point-to-Point Protocol (PPP) 接続を確立して IP パケットの送受が可能な状態である。MIRAI エージェントは筆者らが所属する情報通信研究機構内部の実験用ネットワーク上に配置した(図 7 を参照)。したがって、MUT-A と MIRAI エージェントは公衆 PHS 網、公衆インターネット網、NICT 内実験用ネットワークを経由して制御情報を交換する。MUT-A はイーサネットと無線 LAN (IEEE802.11b) の 2 つのインタフェースを持っている。イーサネットと無線 LAN の接続先は実験用ネットワークである。MUT-B は BAN および RAN にイーサネットを使用し、実験用ネットワークに接続されている。この条件のもとで、MUT-A のデータパスを旧 RAN であるイーサネットから新 RAN である無線 LAN へ切り替える。このとき MUT-A のシームレスエージェントの処理ログから算出したネットワーク切替え時間は 0.396 秒 (3 回の試行の平均) であった。このネットワーク切替えにともない、アプリケーションがビデオ電話から音声電話に切り替わる。このときに MUT-A の SIP クライアントにて測定したアプリケーション切替え時間は 0.256 秒であった。イーサネットが切断されたことを契機としたビデオ電話から音声電話へ実際の切替えは図 12 で示され、図 14 で示すシーケンスに対してコンテキスト I 「利用可能帯域」の通知などが別途実行されるが、それらを考慮しても 1 秒以内でアプリケーションを含めた切替えが終了することが確認された。

これに対して、BAN を用いずに純粹に Mobile IP のみを用いた場合のネットワーク切替え時間は 1.120 秒であった。本論文で提案するネットワーク・アプリケーション制御機構を用いない場合は、ネットワーク切替えを契機にビデオ電話がいったん終了する。そして、新しいネットワークに接続した後に音声電話を起動する必要がある。

以上の予備的な実験から、本論文で述べた方式を導入することによってネットワーク切替えが短縮されることが確認された。また、ネットワーク切替えにともなうアプリケーション切替え制御によって、アプリケーションの終了・再起動といった煩雑な操作をなくし、通信に集中できる環境をユーザに提供できることが確認できた。

5. おわりに

異種無線ネットワーク環境下でユーザの利便性を高めるためのコンテキストの利用に関して論じた。シームレスネットワークのために考案した MIRAI アーキテクチャに基づいたコンテキスト利用ネットワーク・アプリケーション制御機構の設計と実装について述べた。システムは省電力機能、コンテキストに基づいたネットワークとアプリケーション自動制御機能、シームレスハンドオーバー機能、ハンドオーバー時のアプリケーション自動変更機能などを備えている。コンテキストに基づいたシームレスネットワーク・アプリケーション制御により、相手の状況やネットワークの状態などをユーザが意識する必要性が弱まり、ユーザの利便性を高めて通信により集中できる環境を提供できることを明らかにした。

本研究の過程で、適切なコンテキストの設定と取得、その利用方法が重要な課題であることが改めて確認された。個人の思考・嗜好は千差万別であり、各人の特性に合った通信を提供するためのコンテキスト技術が必要である。なかでも屋内での位置情報を取得するシステムは重要である。省電力化も重要な課題である。MIRAI では通常は BAN のみを使用することで待機時の省電力化を図るが、通信時の省電力化も必要である。たとえばあるファイル転送を行う場合に、無線 A と無線 B とでは必要電力が異なる状況が考えられる。通信アプリケーションの種別、通信するデータ量、通信時間などに基づいて最小電力で通信するためのネットワーク選択アルゴリズムが必要である。複雑になるネットワーク、アプリケーション、それらの設定方法などを適度に隠蔽してユーザにとって使いやすいインタフェースを追求していくことも、シームレス通信環境を実現するうえで重要である。今後は開発中の位置情報取得・管理プラットフォーム¹⁹⁾、端末間ハンドオーバー技術²³⁾、ネットワークデバイス²⁴⁾などを融合し、端末やネットワークを自在に利用できる環境を実現するための研究を行っていく。

謝辞 「モバイル環境におけるシームレスアクセス技術」に関する検証実験を共同で行った岡崎浩治氏(株式会社アッカ・ネットワークス)と、実験に参加していただいたモニタの方々に感謝いたします。また、情報通信研究機構の領木信雄氏と石崎智子氏、システム開発に協力していただいた方々に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 森川博之, 井上真杉, 長谷川幹雄, 領木信雄: 新世代モバイルネットワークへの展開, 情報処理, Vol.45, No.8, pp.812-816 (2004).
- 2) Inoue, M., Mahmud, K., Murakami, H., Hasegawa, M. and Morikawa, H.: Novel Out-of-Band Signaling for Seamless Interworking Between Heterogeneous Networks, *IEEE Wireless Commun. Mag.*, Vol.11, No.2, pp.45-63 (2004).
- 3) Wu, G., Mizuno, M. and Havinga, P.: MIRAI Architecture for Heterogeneous Network, *IEEE Commun. Mag.*, pp.126-134 (2002).
- 4) Inoue, M., Mahmud, K., Murakami, H. and Hasegawa, M.: MIRAI: A Solution to Seamless Access in Heterogeneous Wireless Networks, *IEEE ICC*, Vol.2, pp.1033-1037 (2003).
- 5) Schilit, B.N., Hilbert, D. and Trevor, J.: Context-Aware Communication, *IEEE Wireless Commun. Mag.*, Vol.9, No.5, pp.46-54 (2002).
- 6) Brewer, E.A., Katz, R., Amir, E., Balakrishnan, H., Chawathe, Y., Fox, A., Gribble, S., Hodes, T., Nguyen, G., Padmanabhan, V., Stemm, M., Seshan, S. and Henderson, T.: A Network Architecture for Heterogeneous Mobile Computing, *IEEE Personal Commun.*, Vol.5, No.5, pp.8-24 (1998).
- 7) 大森幹之, 太田昌孝, 平原正樹, 真野 浩, 荒木啓二郎: モバイル IPv4 による異なるメディア間でのハンドオーバーの実現, 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理ワークショップ, pp.269-274 (2002).
- 8) Wang, H.J., Katz, R. and Giese, J.: Policy-Enabled Handoffs Across Heterogeneous Wireless Networks, *The 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA '99)*, pp.51-60 (1999).
- 9) Vidales, P., Chakravorty, R. and Policroniades, C.: PROTON: A Policy-based Solution for Future 4G Devices, *5th IEEE International Workshop on Policies for Distributed Systems and Networks (POLICY '04)*, pp.219-222 (2004).
- 10) 磯村 学, 吉原貴仁, 堀内浩規: 通信メディアの切替え可能な車載用モバイルルータの実装, 電子情報通信学会総合大会, No.B-7-103 (2003).
- 11) 飯塚史之, 原 政博, 中川 格, 藤野信次: ネットワーク自動選択エージェントを用いた異種網間シームレスローミング, 情報処理学会 MBL 研究会, pp.215-220 (2003).
- 12) Prehofer, C., Nafisi, N. and Wei, Q.: A Framework for Context-aware Handover Decisions, *IEEE PIMRC*, Vol.3, pp.2794-2798 (2003).
- 13) 青山哲也, 渡辺 尚: モバイル環境における情報通信メディア選択システムについて, 情報学ワークショップ (WiNF), pp.143-150 (2003).
- 14) Houssos, N., Alonistioti, A. and Merakos, L.: Towards efficient support of context-awareness in mobile systems, *IEEE PIMRC*, Vol.1, pp.834-838 (2003).
- 15) 森川大補, 本庄 勝, 山口 明, 大橋正良: ユーザ状況に基づいた情報体系化とその利用に関する一検討, 情報処理学会 MBL 研究会, No.2003-MBL-26 (2003).
- 16) Welling, G. and Badrinath, B.: An Architecture for Exporting Environment Awareness to Mobile Computing Applications, *IEEE Trans. Softw. Eng.*, Vol.24, No.5, pp.391-400 (1998).
- 17) 川口晃平, 蓑田佑紀, 塚本勝俊, 小牧省三: SIP を用いた無線メディア選択エージェントにおける一検討, 電子情報通信学会 MoMuC 研究会, No.MoMuC2004-42, pp.13-18 (2004).
- 18) Bandara, U., Hasegawa, M., Inoue, M., Morikawa, H. and Aoyama, T.: Design and Implementation of a Bluetooth Signal Strength Based Location Sensing System, *IEEE Radio and Wireless Conference (RAWCON)*, pp.319-322 (2004).
- 19) Bandara, U., Minami, M., Hasegawa, M., Inoue, M., Morikawa, H. and Aoyama, T.: Design and Implementation of an Integrated Contextual Data Management Platform for Context-Aware Applications, *Int. Symp. on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)*, Vol.1, pp.266-270 (2004).
- 20) Dynamics. <http://dynamics.sourceforge.net/>
- 21) Familiar. <http://familiar.handhelds.org/>
- 22) Mahmud, K., Inoue, M., Murakami, H., Hasegawa, M. and Morikawa, H.: Energy Consumption Measurement of Wireless Interfaces in Multi-Service User Terminals for Heterogeneous Wireless Networks, *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E88-B, No.3, pp.1097-1110 (2005).
- 23) 長谷川幹雄, ウダーナバンダラ, 井上真杉, 森川博之: 単機能ネットワークデバイスを用いた端末間ハンドオーバーの設計と実装, 情報処理学会 DICOMO ワークショップ, No.4E4 (2004).
- 24) Hasegawa, M., Bandara, U., Inoue, M., Mahmud, K. and Morikawa, H.: Service Mobility Proxy for Seamless Handover Between Various Devices, *The 2nd International Conference on Pervasive Computing (PERVASIVE 2004)*, pp.385-388 (2004).

(平成 17 年 2 月 1 日受付)

(平成 17 年 7 月 4 日採録)



井上 真杉

情報通信研究機構モバイルネットワークグループ主任研究員。現在は新世代モバイル研究開発プロジェクトにてシームレスネットワークの研究に従事。1992年京都大学工学部電気工学第二学科卒業。1997年東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻博士課程修了。工学博士。1997年より郵政省通信総合研究所（現独立行政法人情報通信研究機構）勤務。2000～2001年米国ニューヨーク・ポリテクニク大学客員研究員。これまでに無線アクセスプロトコル，超高速無線 LAN の研究に従事。



長谷川幹雄

情報通信研究機構モバイルネットワークグループ主任研究員。1995年東京理科大学基礎工学部電子応用工学科卒業。2000年同大学大学院博士課程修了。博士（工学）。1997～2000年日本学術振興会特別研究員（DC1）。2000年郵政省通信総合研究所（現独立行政法人情報通信研究機構）入所。ユビキタスネットワークングに関連する研究に従事。



マハムドカレド

バングラデッシュNorth South 大学コンピュータサイエンス工学科助手。1991年バングラデッシュ工業大学電気・電子工学科卒業。2000年静岡大学大学院電気電子工学科博士課程修了。2000～2004年まで情報通信研究機構（NICT）に専攻研究員として勤務。流星バースト通信，変復調方式，ソフトウェア無線，移動通信システム，無線ネットワーク，IP モビリティ技術に関する研究に従事。



森川 博之（正会員）

東京大学大学院新領域創成科学研究科基盤情報学専攻助教授。2002年より情報通信研究機構モバイルネットワークグループグループリーダーを兼務。1987年東京大学工学部電子工学科卒業。1992年同大学大学院博士課程修了。工学博士。1997～1998年コロンビア大学客員研究員。コンピュータネットワーク，ユビキタスコンピューティング，モバイルネットワーク等の研究に従事。



村上 誉

情報通信研究機構モバイルネットワークグループ研究員。1997年北海道大学工学部電子工学科卒業。1999年同大学大学院修士課程修了。同年郵政省通信総合研究所（現独立行政法人情報通信研究機構）入所，現在に至る。2003年よりデンマーク国オールボー大学客員研究員として同大学に滞在中。無線通信プロトコル，インターネットプロトコルに関する研究に従事。