

## シームレスサービスを目指したマイクロホットスポット連携

岩井将行<sup>1</sup> 神武直彦<sup>1</sup> 門田昌哉<sup>1</sup> 高橋元<sup>1</sup>  
米澤拓郎<sup>2</sup> 望月陽介<sup>3</sup> 望月祐洋<sup>4</sup> 清水博文<sup>5</sup>  
戸辺義人<sup>6</sup> 高汐一紀<sup>1</sup> 徳田英幸<sup>2</sup>

<sup>1</sup>慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科 <sup>2</sup>慶應義塾大学 環境情報学部  
<sup>3</sup>東京工業大学大学院 情報理工学研究科 <sup>4</sup>東京工業大学 学術国際情報センター  
<sup>5</sup>東京電機大学 工学部 情報通信工学科 <sup>6</sup>東京電機大学 工学部 情報メディア学科

ユビキタス環境の研究が盛んに行われる中で、限られた一部の屋内環境において知的環境を構築することが可能となった。しかしユーザが今後求めるものはより広域で長いスパンでのサービス提供を行う基盤技術であり、ユビキタス環境間の連携を推し進める研究が必要である。慶應義塾大学、東京電機大学、東京工業大学が中心になり、シームレスサービスを目指したマイクロホットスポット連携の研究を行った。本稿ではその報告を行う。

## Micro Hot-spot Networking Towards Seamless Service Provider

Iwai Masayuki<sup>1</sup> Kotake Naohiko<sup>1</sup> Kadota Masaya<sup>1</sup> Takahashi Gen<sup>1</sup>  
Yonezawa Takuro<sup>2</sup> Mochizuki Yosuke<sup>3</sup> Mochizuki Masahiro<sup>4</sup> Shimizu Hirobumi<sup>5</sup>  
Tobe Yoshito<sup>6</sup> Kazunori Takashio<sup>1</sup> Tokuda Hideyuki<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Media and Governance, Keio University

<sup>2</sup>Faculty of Environmental Information, Keio University

<sup>3</sup>Graduate School of Information Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

<sup>4</sup>Global Scientific Information and Computing Center, Tokyo Institute of Technology

<sup>5</sup>Department of Information and Communication Engineering, Tokyo Denki University

<sup>6</sup>Department of Information Systems and Multimedia Design, Tokyo Denki University

Research for ubiquitous environment has enabled the creation of Smart Environment within a limited part of an indoor closed environment. However, users require that this same environment can be available within a wider span, thus resulting in the need to extend collaboration of services in remote ubiquitous environments. Our research group (Keio University, Tokyo Denki University, and Tokyo Institute of Technology) has created a seamless service collaboration system called "micro-hot-spot", and will report it in this paper.

### 1. はじめに

計算機およびネットワーク技術の発達は、情報処理能力が環境中に遍在する新しいコンピューティング環境<sup>9)</sup>を実現しつつある。計算機の高速度および小型化によって、従来型の計算機に加え、ノート PC、PDA や、情報家電機器、各種センサなど、多様なデバイスが登場している。各ユーザが携帯するデバイスに加えて、オフィス、家等におけるユーザの身の周りの多様なデバイスが、それぞれ情報処理能力を獲得しつつある。コンピューティングデバイスがユーザの周辺にネットワークにつながれて遍在し、ユーザの活動を支援できる『ユビキタスコンピューティング環境』が実現可能となった。我々は、今までユビキタスコンピューティング環境実現のために Smart Space Laboratory Smart Space<sup>5)</sup> や、Smart Furniture<sup>4)</sup> などの研究を行ってきた。

Smart Furniture とは、超音波センサ、赤外線センサなどのセンサ類や組込 PC などを内蔵し、家具型の形状をした可搬型のデバイスである(図 1 参照)。これら Smart Furniture は、公共空間など非 IT 空間に設置されることで、その空間を知的なユビキタス環境へと即興的に変化させることを目的としている。こういった知的空間は、街角などでネットワークアクセシビリティのみを提供する「ホットスポット」としての無線 LAN の提供機能はもちろんのこと、センサやディスプレイなどを使いユーザにカスタマイ

ズされたサービスを提供できる。我々は、この空間(スポット)を「マイクロホットスポット」と呼ぶ。マイクロホットスポットは、一台でユーザに対して最低限のサービスを提供する。しかし、更に Smart Furniture を複数同一の空間に設置することで互いの Smart Furniture のセンサ機能やディスプレイ機能を拡大させ連携した拡張されたサービスを提供するプラットフォームになる。

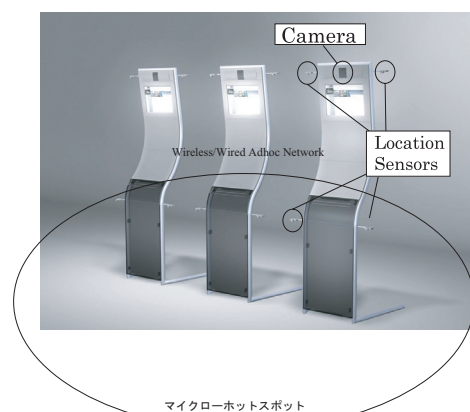


図 1 マイクロホットスポットの形成

マイクロホットスポットの研究として、一箇所でのユーザ支援を中心とする研究<sup>7)</sup>を行ってきた。しかし、ユーザ

は常に同一箇所にいることは無く、絶え間なく移動している場合がある。例えば、家 駅 電車内 会社 飲食店というように時間的にも空間的にも変化する。こうした中、ユーザの移動にあわせて様々な場所に存在し時間的、空間的な制約なくシームレスに連携する機構が必要になってきている。

我々は、マイクロホットスポットの研究を、慶應義塾大学、東京工業大学、東京電機大学で連携して行い、アプリケーションとして4つの手法で研究をまとめる

## 2. マイクロホットスポット連携手法

本章では、マイクロホットスポットを連携するための4つの連携手法の形を提案する。サービスローミングミドルウェア、遠隔空間制御ミドルウェア、人媒介型アプリケーション(ポリネーション)、SF媒介型アプリケーション(CRUISE/r)のそれぞれについて、その概要と意義をそれぞれ述べる。

### 2.1 サービスローミングミドルウェア

ユーザは複数の Smart Furniture 間を移動してサービスを利用することが想定される。ユーザが移動した先でも継続してテレビ電話などのアプリケーションを利用できるように、そのアプリケーションをユーザの付近の Smart Furniture に移動させる必要がある。このアプリケーションの移動をサービスローミングと定義する。サービスローミングが実現されることで、サービスにユーザが近づいていくのではなく、ユーザにサービスが近づくというユーザを中心としたサービス利用環境が実現できる。ユーザの付近のサービスを利用する研究として、ユーザの近くのコンポーネントを利用してサービスを提供する研究<sup>1)10)</sup>が挙げられる。これらの研究ではユーザのプレファレンスに応じてユーザの近くのサービスコンポーネントが利用できる。しかし、これらの研究ではアプリケーションを実際には移動していない。本研究では、アプリケーションを確実に移動することで同一性を保証するため、ユーザは実行状態を継続するかたちアプリケーションを利用できる。また、本研究では即興的に設置された Smart Furniture に対して即座にサービスローミングの設定が行える。Smart Furniture 間でサービスローミングを実現するために、必要な機能を挙げる。

- サービス発見機構  
サービスローミングを行うために、複数の Smart Furniture を協調させて動作させる必要がある。よって、空間内に存在する Smart Furniture、及びそれを構成するデバイスやサービスを発見する機構が必要である。
- ユーザの位置・動きを認識する機構  
ユーザの移動先付近の Smart Furniture にサービスを移動させるため、ユーザの位置・動きを捉える機構が必要である。
- サービスが移動するタイミングを定義する機構  
サービスローミング対応アプリケーションプログラムが実現したいサービスローミング移動のタイミングは、そのプログラムによって様々である。よって、プログラム自身がサービスが移動するタイミングを容易に定義できる機構が必要である。
- 時間的連続性を保ったアプリケーション移送機構

複数の Smart Furniture 間を移動するユーザに連続してサービスを提供するためには、アプリケーションが時間的な連続性を保ったまま移動する機構が必要である。本研究では上に述べた機能を実現する手法として、NICOLA と SaRaRi というミドルウェアを設計・実装した。NICOLA はサービス発見機構・ユーザの位置・動きを認識する機構、サービスが移動するタイミングを定義する機構の3つを実現する。SaRaRi は時間的連続性を保ったアプリケーション移送機構を実現する。

サービスローミングを実現するミドルウェア NICOLA と SaRaRi について説明する。Nicola, SaRaRi とともに J2SE1.4.2 を用いて実装された。

### NICOLA

NICOLA は、Smart Furniture に備え付けられたセンサ類(例:超音波位置センサ<sup>12)</sup>)が提供するコンテキスト情報を利用し、空間内の状況に応じた機器・アプリケーションの動作をユーザが柔軟に定義できる環境を提供する。ユーザはその定義を Space Program と呼ばれる制御文を記述することで行う。以下はその例であり、ユーザが Smart Furniture の 1m 以内に近付くとライトが ON になる、ということを示している。

If User approach SmartFurniture within 1.0, Light on.

Space Program は If-部分のイベント部と、それ以後のタスク部に分かれている。ユーザは空間内にあるイベントがおこった時、あるタスクを実行させる、という動作を記述する。

NICOLA のシステム構成を図2に示す。NICOLA は5つのモジュールから構成されている。ユーザはまず Space Programming Interface を使用して、Space Program を作成する。次に Checker がユーザの作成した Space Program を解析し、Event Capture がユーザの定義したイベントが空間内に発生するのを監視する。イベントが確認されると、Task Sender がユーザの定義した通りに機器を動作させる。NICOLA を用いることで、ユーザの要求に柔軟に応答する知的空間の構築が可能となる。また、NICOLA を構成するコンポーネントの一つにサービス発見機構が存在し、同一ネットワーク内のデバイスと、そのサービス情報が管理される。

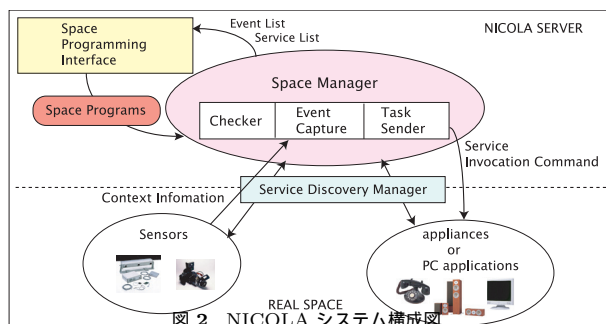


図2 NICOLA システム構成図

### SaRaRi

SaRaRi は、サービス断絶時間を伴わないサービスローミングを可能にするミドルウェアである。サービス断絶時間とは、アプリケーションが情報端末間を移動する際に生じる、ユーザに何もサービスが提供されない時間のことを示す(図3の左側)。アプリケーションを移動させる前には一度アプリケーションをバイト列化する必要があるため、実行状態のまま別の情報端末へ移動させられない。そこで SaRaRi では、まずコピーを非実行状態で別の情報端末へ送り、そこで実行状態に遷移させてからオリジナルのアプリケーションを終了させる「Copy and Move」モデルを用いてサービス断絶時間をなくしている(図3の右側)。これにより、ユーザにサービス断絶時間を意識させることなくサービスローミングを実現している。

サービスローミング対応アプリケーションの実装

MSHNet を移動するアプリケーションとして、テレビ電話アプリケーション「MovePhone」を作成した。MovePhone は Smart

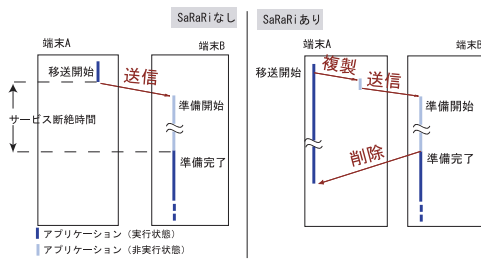


図 3 SaRaRi の構成図

Furniture に接続された USB カメラとマイクから動画と音声をキャプチャして通信相手に RTP を用いて送信し、相手からも同様に動画と音声を受け取る (図 4)。送信方式にはマルチキャストを用いているので、複数の通信相手に動画と音声を送信することができる。MovePhone の実装には Java2 と JMF (Java Media Framework) を用いた。NICOLA が MovePhone が移動するタイミングと移動先を指定し、SaRaRi が MovePhone のサービス断絶時間をなくした移動を行う。

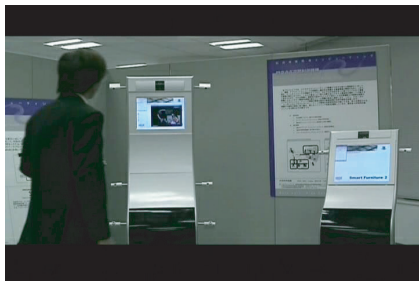


図 4 MovePhone

NICOLA はユーザの動きに応じて機器の動作を柔軟に定義できる環境を実現し、SaRaRi はサービス断絶時間を伴わないサービスローミングを実現した。本節では、この 2 つのミドルウェアによって加えられたオーバーヘッドについて評価する。

移動させるアプリケーションは、前節で述べた MovePhone を用いる。なお、計測環境として PC を 3 台用意し、2 台を Smart Furniture 用、もう一台を MovePhone の通信相手用 PC として使用した。それぞれの端末は 100Base-T で相互に接続されている。まず NICOLA で以下の Space Program を作成した。

If User approach SF2 within 1.5 m, SF1 send MovePhone to SF2.

この Space Program はユーザが Smart Furniture2 の 1.5m 以内に近付くと、MovePhone が Smart Furniture1 から Smart Furniture2 に移動するということを定義している。この“近付く”というイベントを NICOLA が認識してからアプリケーションの移送が完了するまでの各段階における所要時間を計測した。結果を図 5 に示す。

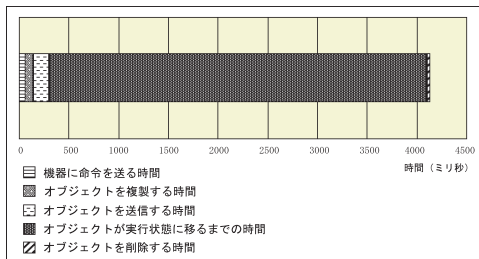


図 5 イベントの発生から移送完了までの時間

イベントの発生から MovePhone の移送完了までの合計時間は約 4.1 秒であった。このうち、本稿で構築した MSHNet によるアプリケーション移送のオーバーヘッドは 176 ミリ秒で、時間全体の約 4% であった。つまり、176 ミリ秒のオーバーヘッドを加え

ることで、NICOLA と SaRaRi によって提供される機能を用いることができる。

Smart Furniture 間のサービスローミングを実現するミドルウェア NICOLA と SaRaRi を設計・実装した。NICOLA はサービス発見をし、作成された Space Program に基づきユーザの移動を検知し、SaRaRi に対してサービス移動を通知する。SaRaRi はサービス断絶時間を伴わないサービスローミングを可能とした。

また、サービスローミング対応アプリケーション例として MovePhone を作成した。評価として、Smart Furniture 間でのユーザの位置と動きを認識し、サービス移動が必要と判断されてから MovePhone が移動するまでの時間的なオーバーヘッドを計測した。Nicola と SaRaRi によって付加されるオーバーヘッドは 176 ミリ秒であり、移動全体に要する時間の約 4% に抑えられた。

## 2.2 遠隔制御機構ミドルウェア

慶應義塾大学には、次世代リビング環境として Smart Living Room を開発している。Smart Living Room を図 6 に示す。Smart Living Room では、遠隔制御可能な機器としてアンビエントディスプレイ、テレビチューナ、照明システムが設置されている。また、環境情報を直感的にフィードバックするため、動画カメラ、小型無線アドホックセンサネットワーク<sup>2)</sup>を設置している。



図 6 Smart Living Room

このようなコピキタス環境は、その場において操作サービスを受け取るだけでなく、遠隔からの制御があらゆる機器に対して可能になる。しかし、携帯端末では入出力に不足があるが、Smart Furniture によって構成されるマイクロホットスポットを遠隔制御の端末として利用できる。

### 従来の遠隔制御機構の問題点

従来では、制御対象となるデバイス群の状態を遠隔制御インタフェースに反映できなかった。従来の制御インタフェースの問題点を以下にまとめる。

- プロトコルの複雑化  
デバイスへの制御コマンドに対するフィードバックを得るためには、セッションを継続する必要があり、遠隔制御プロトコルが複雑化する。
- 遠隔制御インタフェースの複雑化  
遠隔制御インタフェースにフィードバック情報を表示する場合、PDA や携帯電話などの画面表示能力が限られたデバイスでは困難である。
- ハードウェア実装の複雑化  
デバイスの状態をネットワークを介して検知可能とした場合、ハードウェアの実装が複雑化する。

### 提案する遠隔制御機構の設計

我々は以上の問題を解決するため、本研究では遠隔制御機構とフィードバック機構を分離し、単一の Smart Furniture 上で簡易にデバイス群を制御可能なシステムを開発した。遠隔制御機構とフィードバック機構を分離実装し、スマートファニチャの形態に応じて組み合わせることで、柔軟な遠隔制御インタフェースをスマートファニチャ上で実現できる。本機構の設計を図 7 に示す。

図 7 の上部は、Smart Furniture が遠隔で制御するための端末として公共空間などに存在する場面を想定している。図 7 下部に示すように、室内にあるセンサネットワーク、ライトコントロールサービス、TV サービス、アンビエントディスプレイ、カメラなどを制御、管理することが可能である。これによって、屋内で遊んでいる幼児の安全確認や介護システム、友人同士のコミュニケーションなどに応用できる。

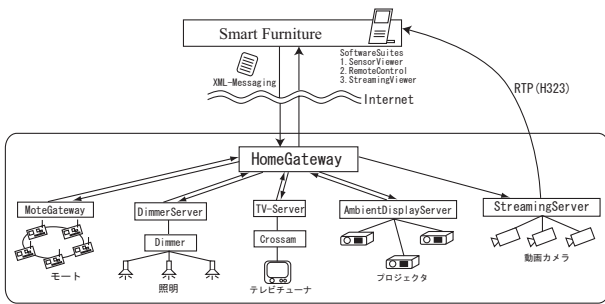


図 7 遠隔制御インタフェースの設計

2.2.1 Smart Furniture からの遠隔制御機構の実行例  
提案するシステムの実行例を図 8 と図 9 にそれぞれ示す。図 8 は、遠隔制御インタフェースの一例であり、Smart Furniture 上にユーザごとに表示される。タッチパネルで制御を行える。



図 8 遠隔制御インタフェースの例

図 9 は、フィードバックインタフェースの例であり、2Mbps のストリーミング映像によって実際の機器の制御が正しく行われたかどうかを部屋の様子と共に Smart Furniture 上で確認する様子である。



図 9 フィードバックインタフェースの例

これらの機構によって Smart Furniture を遠隔にあるユビキタス空間の制御管理などに利用出来る。

2.3 人媒介型アプリケーション(ポリネーションモデル)  
マイクロホットスポットの応用について、さまざまな設置形態が考えられる。代表的な例としては、図 10 に示すように、(1) マイクロホットスポットステーション (MHS-ST) 間をバックボーンネットワークで結ぶ形態 (Stationary Network) (2) マイクロホットスポットステーションの無線カバーエリアが重なるように設置する形態 (Ad-hoc Network<sup>11)</sup>) が挙げられる。

我々は、設置形態の 1 つとして、複数のマイクロホットスポットステーションが孤立して存在し、ステーション同士を相互接続する通信基盤が提供されない場合 (Mutually-isolated Network) を想定し、このような場合でもステーション間の情報交換を可能にするモデルとして「ポリネーション (受粉) モデル」を考案した。

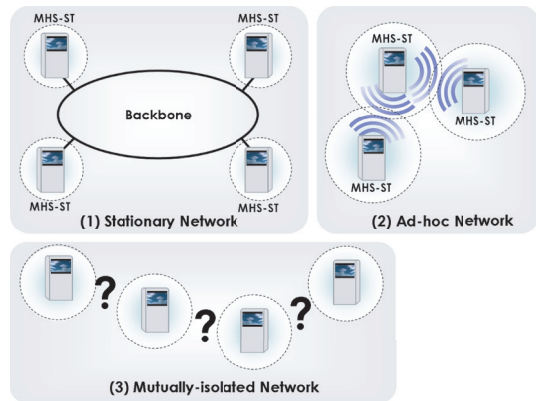


図 10 マイクロホットスポットの設置形態

ポリネーションモデルとは、図 11 (左側) に示すように、ミツバチのような送粉者 (Pollinator) が、雄花 (Staminate) と雌花 (Pistillate) の間で花粉 (Pollen) を運ぶことで受粉を媒介する自然現象のアナロジによって、孤立するマイクロホットスポット間の情報交換のしくみを捉えなおすための概念的な枠組みである。

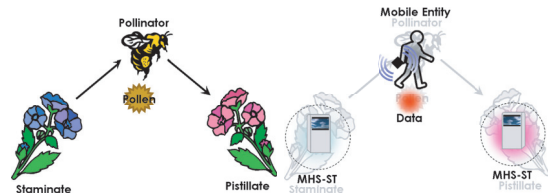


図 11 ポリネーションモデル

ポリネーションモデルを適用する際に、考慮すべき要件は以下のとおりである。

役割: モデルの基本構成要素の役割を適用対象にどう対応づけるか検討を要する。雄花、雌花、送粉者/媒介者の各役割は相対的なものであり、情報交換の対象同士の関係で変化する。

報酬: 花が蜜で送粉者を引き寄せるように、花に対応づけられたエンティティに移動体を引き寄せるための報酬 (Reward) について具体的に検討する必要がある。

媒介者の意図: 情報運搬者としての移動体が、情報を運搬しているということ意識しつつ情報交換プロセスに参加する場合 (意図的な媒介; intentional mediation) と、それを意識せずに行う場合 (意図的でない媒介; unintentional mediation) を区別する。花粉の付着・運搬方法: 雄花が送粉者に花粉を付着・運搬させるしくみに対応する情報交換機構を選択する必要がある。このために近距離無線通信機構と情報蓄積機構が重要である。また、運搬時の情報伝播の過程では、情報の単純渡し、複製渡し、再加工渡しが考えられる。

受粉のタイミング: ポリネーションモデルでは、エンティティ同士の情報交換に空間的・時間的な不確実性をともなう。基本的に、情報媒介者の存否、配送時間、配送の有無そのものについても無保証である。これを欠点とみなすこともできるが、ネットワーク接続のない隔地間の情報伝達、時間的制約のない非同期情報伝達、また不確実性を積極的に利用した娯楽性やランダム性の高い情報伝達等の新たな方面に活用可能である。

受粉の成果: 自然界の受粉結果が新たな個体の発生へとつながるように、情報発信者から情報受信者に情報がもたらされることで、新たな付加価値が生み出されるような応用について検討を要する。

#### Ubiflix の設計と実装

マイクロホットスポットステーション間の通信手段として、ポリネーションモデルに基づく不確定情報交換を提供し、新たなコンセプトに基づく多様なアプリケーションの開発を促進するために、アプリケーションフレームワーク Ubiflix (Ubiquitous Application Framework for Information Exchange) の開発を行った。

Ubiflix のアーキテクチャを図 12 に示す。Ubiflix はオペレーティングシステムで提供する TCP/IP プロトコルスタック上での動作を前提とする。また、Ubiflix 上に雄花 (Staminate) と雌

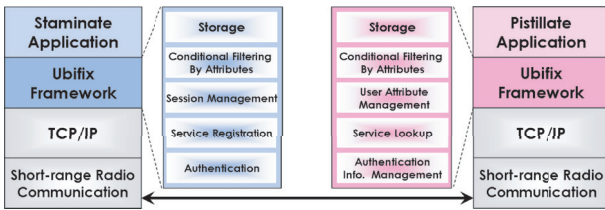


図 12 Ubiflix アーキテクチャ

花 (Pistillate) に相当するアプリケーション (以後 S アプリケーションと P アプリケーションと呼ぶ) が構築される。Ubiflix の基本機能を表 1 に示す。

対象	内容
共通	ストレージ機能, 属性による条件フィルタリング機能
S アプリケーション	セッション管理機能, サービス登録機能, 認証機能
P アプリケーション	利用者属性管理機能, サービス検索機能, 認証情報管理機能

Ubiflix は Windows XP Professional 上で Java 言語で実装され, Java Standard Edition 1.4 上で動作する。また, サービス登録・検索機能の実装には Apple Rendezvous SDK for Windows を使用している。ソースコードは約 60 クラスで 5000 行程度である。

#### Ubiflix の応用例

Ubiflix の応用例として, 小売店 (Retail Store) による新製品の広告システムについて紹介する。図 13 にシステム全体像を示す。本システムは, 小売店に設置されるマイクロホットスポットステーション, 移動体に設置される小型情報端末, 広告を提供する情報キオスク (Ad info Kiosk) としてのマイクロホットスポットステーションで構成される。

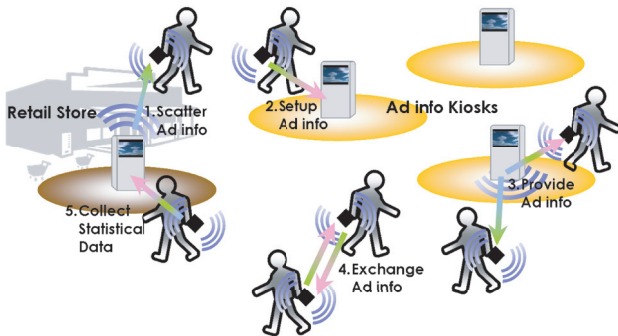


図 13 応用例: 新製品の広告

図 13 中で, 上部 (番号 1, 2) は小売店が情報キオスクに広告情報を蓄積するまでの流れを示しており, 下部は情報キオスクが広告情報を顧客に提示する流れ (番号 3, 4), また, 顧客からのフィードバック情報を小売店に戻す流れ (番号 5) を示している。以下では付番された各プロセスについて説明する。

- (1) 広告情報の散布: 小売店から各地に設置された情報キオスクに広告情報を設置する際にもボリネーションモデルの枠組みを利用する。広告情報の散布には, 移動体である顧客や製品輸送用トラックなどの利用を想定する。
- (2) 広告情報の配置: プロセス 1 で散布された情報が移動体の位置変化に応じて, 時間的・空間的な不確実性をともないつつ情報キオスクの記憶装置に蓄積される。ここまでで利用者に広告情報を提供する準備が整う。
- (3) 広告情報の提供: プロセス 2 で情報キオスクに配置された広告情報を顧客に提供する。情報キオスクとして, 広告情報提供専用の端末を利用する場合や, 各種自販機やキオスク端末に広告情報提供機能を組み込む場合が考えられる。

- (4) 広告情報の交換: 媒介者同士による広告情報の交換が行われる。交換終了後に, 媒介者が顧客として実際に広告を目にする場合と, 引き続き媒介者として行動することで情報伝播を拡大する場合とが考えられる。
- (5) 統計情報の収集: 広告情報を目にした顧客が商品購入のために小売店を実際に訪れた場合などに, その顧客がどの情報キオスクで (またはどの媒介者から) 提供された広告情報を目にしたのかといった履歴情報を含む統計情報をフィードバックする。

#### 2.4 SF 媒介型アプリケーション (CRUISE/r)

近年, 近距離無線技術の向上で, 携帯電話や PDA 等に代表される小型携帯端末が普及している。また, RFID の研究・開発が進み, 物を識別・管理する自動認識技術も進展し, RFID を利用したユビキタスサービスが実現されつつある。

我々は, これら小型携帯端末および RFID を利用し, 実世界に存在する人や物を結びつけることで, 個人の所有物を自動的に識別・管理し, 遺失時に探索を行うシステム, CRUISE/r を提案する。さらに我々はこのシステムをより効果的にするため Mobile IPv6 の技術を用い, 遺失物の多い鉄道利用における移動透過性を考慮した設計を行う。

##### 遺失物探索の課題と目的

現在, 鉄道利用における遺失物の探索・発見には, 鉄道会社の仲介が不可欠である。遺失物の探索・発見の問題点は多数の人を介して行われるため手間が掛かる点である。また, 列車内で遺失した場合は, 移動体である列車の走行位置を特定するのが困難であり, 拾得するまでに多くの時間を要する。本研究では, これらの課題を解決するために, Smart Furniture を情報の拠点として仲介役を持たせ, 鉄道利用における遺失物探索を効率的かつ正確に支援することを目的とする。

##### CRUISE/r の設計

Smart Furniture は鉄道の駅や列車内に複数設置され, 小型携帯端末と連携し情報の拠点となる。小型携帯端末は個人が所有するもので, 複数の所有物に RFID タグを付加した物と識別・管理する。遺失時には Smart Furniture と小型携帯端末が連携し遺失物を探索するシステムとして CRUISE/r を設計する。以下に CRUISE/r の設計指針を示す。

- 所有物の自動認識, 識別・管理
- 遺失した場所の限定的探索
- 探索時の他人の協力
- 移動体通信における移動透過性の実現

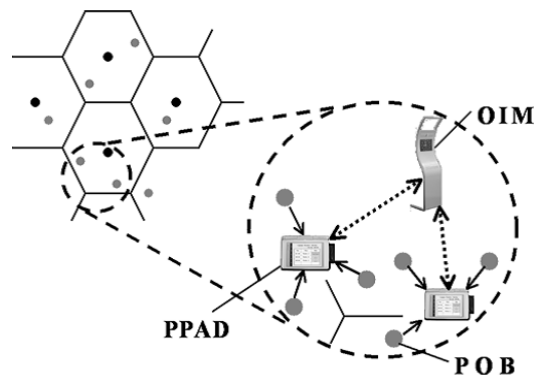


図 14 CRUISE/r を構成するデバイス

##### CRUISE/r 構成

CRUISE/r を構成するデバイスの定義を述べる。図 1 は構成図を示す。

- OIM (Operating Information Maintainers) Smart Furniture に IEEE 802.11b を搭載したデバイスで, 列車や駅構内に複数台設置する。
- POB (Personal Objects) ユーザの所有物にアクティブ型の RFID タグを付加したデバイス。

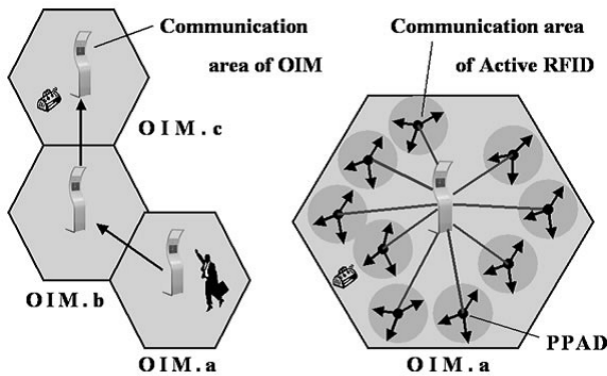


図 15 探索手順と遺失した場所での動作

- PPAD(Personal POB Assisting Devices) ユーザが所持する小型無線通信端末であり、RFID リーダを搭載する。また基本的な通信機能として IEEE 802.11b を用いて、Smart Furniture と連携する。

#### CRUISE/r 遺失検知

OIM の無線発信範囲内に、PPAD ユーザが存在すると、OIM が自身が所属する場所情報を送信する。さらに、個人が所有する PPAD は、RFID リーダにより POB のタグ情報を定期的に受信し、所有物の有無を判断する。PPAD はこれらのタグ情報・時間情報・位置情報をデータベース化することにより、限定的な時間と場所、所有物の有無を判断する。PPAD と POB のリンクが切断した場合、各状態を移行し遺失物と判断され、PPAD は OIM に遺失物探索メッセージを送信する。PPAD は各 POB を以下の状態のいずれかであるとして管理する。

- Carried  
PPAD と POB が正常に発信している状態であり、所持品を遺失していない状態。
- Unbound  
POB からの応答がなく、リンクが切断された直後から完全に切断したと判断されるまでの状態。
- Lost  
Unbound 状態を移行し、POB とのリンクが完全に切断されたと判断した状態。この状態のときに OIM へ遺失物探索メッセージを送信する。

#### 遺失物の探索および発見のプロセス

図 2 は PPAD が OIM.c の領域で POB を遺失し、OIM.a の領域でその遺失に気づいた状態で、図 2 の左図は探索手順である。PPAD は近隣の OIM.a に無線通信によって遺失物の探索メッセージを送信する。この探索メッセージには、遺失した場所、時間、タグ情報が含まれる。メッセージを受信した OIM.a はその探索メッセージより遺失した場所の OIM.c へメッセージを転送する。図 2 の右図は探索メッセージを受信した OIM.c を示す。OIM.c は自身の無線発信範囲内にいる全ての PPAD へ探索メッセージを送信する。この時、OIM と PPAD は 1 ホップのアドホックネットワークを形成する。PPAD は搭載された RFID リーダによって、周囲にある POB のタグ情報を読み取り、遺失した POB のタグ情報と一致するものを検出する。タグ情報と一致したものは OIM 間を経由して遺失者の PPAD に返信される。

#### 列車での遺失物探索

移動体である列車との通信は Mobile IPv6<sup>6)</sup> を用いる。Mobile IP は移動を支援する技術の一つであり、移動により起こる IP アドレスの変更を隠蔽する移動透過性と通信相手ノードが移動ノードの IP アドレスを一意に識別できる常時発呼可能性を保証する。図 3 より、列車 (MN) は高速で移動するために IP アドレスが変化する。このとき移動リンク先より CoA (Care of Address) を取得し、駅サーバ (HA) へ、その CoA を通知する。駅サーバは列車への遺失物探索を PPAD ユーザ (CN) から受けると、その列車宛のメッセージを代理受信し、列車の CoA に向けて転送する。これにより移動体である列車での遺失物探索も可能となる。

CRUISE/r の関連研究としては、Smart-Its<sup>3)</sup> があげられる。Smart-Its は小型のセンサを様々な物に埋め込み無線で協調動作しユビキタス環境を実現するためのデバイスである。Smart-Its 同様 CRUISE/r も複数の無線デバイスを使用し、それらを協調動作

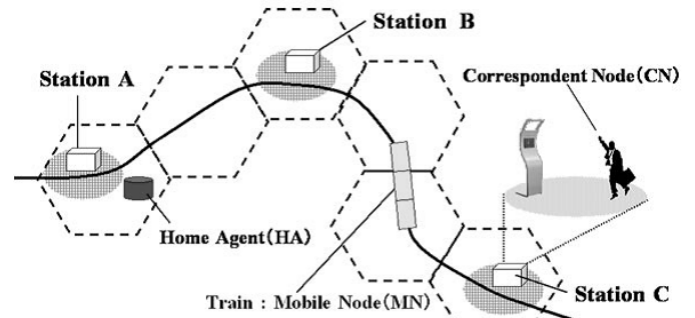


図 16 Mobile IPv6 の利用例

することでアプリケーションを実現するが CRUISE/r では複数の無線デバイスを使用することの特徴がある。また、モバイルアドホックネットワークの一つで人の動きを用い、発信範囲内の全てのノードにパケットを送受信し、マルチホップで転送することで宛先まで到達させる Epidemic routing<sup>8)</sup> がある。CRUISE/r では OIM の発信範囲内で 1 ホップのアドホックネットワークを形成し、1 つの OIM 発信範囲内の全ノードにパケットを送信することにより、ネットワークのリソース消費を抑えることができる。複数の無線デバイスを活用することにより鉄道利用における遺失物探索を効率的に支援することのできるシステムを提案した。

### 3. 終わりに

本節では、4 つの手法の考察比較と、本稿のまとめ、将来研究を述べる。

#### 4 つの連携手法の考察

第 2 章で示した 4 つのマイクロホットスポットの連携手法は、表 2 のように分類される。サービスローミングミドルウェアは、コンテンツサーバからの継続的なサービスを実現するために超音波センサを用いるという「ユーザの移動」に対するアプローチである。遠隔空間制御ミドルウェアは、屋内ユビキタス環境へのフィードバックを含めた制御インタフェースを提供するという「空間」にアプローチする手法である。ポリネーションは、ユーザ自身が媒介となるモデルを整理し、マイクロホットスポット群が存在する場所全体を生かしたアプリケーションだといえる。Cruise/r は、探査目的を設定した中でマイクロホットスポット間での連携に言及している。

多様なセンサを持つ Smart Furniture の特性を利用し、ユーザに対して円滑なサービスを提供する手法が提案・実装された。

#### まとめ

センサやディスプレイが接続されている知的家具である Smart Furniture は、ネットワークアクセシビリティを提供するホットスポットとは異なり、より知的な空間としての「マイクロホットスポット」を即興的に提供する。本稿では、これのマイクロホットスポットを連携しシームレスなサービス提供に関する 4 つの手法をまとめた。サービスローミングミドルウェア、遠隔空間制御ミドルウェア、人媒介型アプリケーション (ポリネーション)、SF 媒介型アプリケーション (CRUISE/r) である。

#### 今後の研究

今後の課題として、即興性を増すマイクロホットスポットについて研究を進める。またロボットの利用、簡易型 Smart Furniture の作成を行いより実世界に有効となる研究を行う。また多くの研究機関と連携しマイクロホットスポット間の通信技術の標準化などを検討する。

#### 謝辞

本研究は、総務省戦略的情報通信研究開発推進制度「ユビキタス空間を即興的に実現するマイクロ・ホットスポット・ネットワーク技術に関する研究」の一部として行われました。

### 参考文献

- 1) C.Becker, M.Handte, G.Schiele, and K.Rothermel. Pcom:a component system for pervasive computing. In *Second IEEE International Conference on Perva-*

表 2 4つの連携手法の比較

手法	SF の想定個数	SF が検知するもの/ID	SF の主な通信先
サービスローミングミドルウェア	2 個-10 個	超音波センサ ID	コンテンツサーバ
遠隔空間制御ミドルウェア	1 個-10 個	ユーザのタッチパネル入力	屋内ユビキタス環境
人媒介型アプリケーション (ポリネーション)	数 10 個以上	無線 LAN	ユーザが保持する携帯端末
SF 媒介型アプリケーション (Cruise/r)	数 10 個以上	RFID	他の Smart Furniture

- sive Computing and Communications*, March 2004.
- 2) Jason Hill and David Culler. A wireless embedded sensor architecture for system-level optimization. Technical report.
  - 3) L.E. Holmquist, F.Mattern, B.Schiele, P.Alahuhta, M. Beigl, and H. W. Gellersen. Smart-its friends: a technique for users to easily establish connections between smart artefacts. In *UBICOMP*, 2001.
  - 4) M. Ito, A. Iwaya, M. Saito, K. Nakanishi, K. Matsumiya, J. Nakazawa, N. Nishio, K. Takashio, H. Tokuda. Smart furniture: Improvising ubiquitous hot-spot environment, May 2003. IEEE 3rd International Workshop on Smart Appliances and Wearable Computing.
  - 5) T. Okoshi, S. Wakayama, Y. Sugita, S. Aoki, T. Iwamoto, J. Nakazawa, T. Nagata, D. Furusaka, M. Iwai, A. Kusumoto, Harashima N, Yura J, N. Nishio, Y. Tobe, Y. Ikeda, and H. Tokuda. Smart space laboratoty project: Toward the next generation computing environment. In *IWNA2001*, February 2001.
  - 6) C. Perkins and D. B. Johnson. Mobility support in ipv6. In *ACM MOBICOM*, pages 27 – 37, 1996.
  - 7) Hideyuki Tokuda, Kazunori Takashio, Jin Nakazawa, Kenta Matsumiya, Masaki Ito, and Masato Saito. Sf2: Smart furniture for creating ubiquitous applications. In *IEEE Proceedings of International Workshop on Cyberspace Technologies and Societies (IWCTS2004)*, Tokyo, Japan, pages 423–429, January 2004.
  - 8) A. Vahdat and D. Becker. Epidemic routing for partially-connected ad hoc networks. In *Technical Report, Duke University*, 2000.
  - 9) Mark Weiser. The Computer for the Twenty-First Century. *Scientific American*, 265(3):94–104, Sep 1991.
  - 10) 永田智大, 西尾信彦, and 徳田英幸. サービス利用状況の変化に対する適応支援機構. 情報処理学会論文誌, 44(3), March 2003.
  - 11) 岩谷晶子, 西尾信彦, 村瀬正名, and 徳田英幸. ごましお: アドホックセンサネットワークにおけるノード位置決定方式. In 情報処理学会モバイルコンピューティングとワイヤレス通信研究会論文集, volume 2001, pages 23–30, 11 2001.
  - 12) 西田佳司, 西谷哲史, 相澤洋志, 堀俊夫, and 溝口博. ポータブルな超音波 3 次元タグ -簡単なキャリブレーション手法. In *The 21st Annual Conference of the Robotics Society of Japan*, 2003.