

ユビキタス環境におけるコンテンツ流通のための マルチエージェントアーキテクチャ：CONSORTS

幸島明男, 和泉憲明, 車谷浩一, 中島秀之

概要

本稿では、ユビキタス環境におけるコンテンツ流通のためのエージェントアーキテクチャ：CONSORTSについて述べる。まず、ユビキタス環境において、エージェントによるコンテンツ流通を実現する上で、重要となる2つの技術的概念、「物理場への接地」と「認知資源管理」について述べる。続いて、この概念を具現化したエージェントアーキテクチャ：CONSORTSの概要について述べる。最後に、CONSORTSの有効性を示すアプリケーションの例として、美術館における情報提示システムと無線LANを用いた位置情報管理システムを紹介する。

CONSORTS: A Multiagent Architecture for Content Management in Ubiquitous Computing

Akio Sashima, Noriaki Izumi, Koichi Kurumatani and Hideyuki Nakashima

Abstract

In this paper, we describe CONSORTS, a sort of multiagent architecture for content management in ubiquitous computing. First, we describe two important concepts in order to realize the agent-based content management in ubiquitous computing, "Physically Grounding" and "Cognitive Resources Management." Second, we describe the outline of the CONSORTS and how we have implemented the concepts within it. Finally, we show two demonstration systems of CONSORTS, an information assist system at a museum and a location system using wireless-LANs.

1. はじめに

近年、Ubiquitous Computing[1]、もしくは Pervasive Computing と呼ばれる、近未来の情報環境の構築に向けた研究が注目を集めている。ここでは、環境中に埋め込まれた無数の計算機やセンサー、そして我々の周囲に存在するさまざまな情報機器が、ネットワークを通じて相互に通信し合いながらサービスを提供する。

当初、ユビキタス環境における情報支援研究の多くは、Active Badge[1]、PARCTAB[2]といったセンサーデバイスに代表されるように、独自のデ

バイスの提案を中心にすえ、そのアプリケーションイメージを提案するものが主流であった。しかしながら、近年では、インターネットや無線LAN、携帯電話など通信インフラの普及とあいまって、家庭の情報機器や携帯端末を含む、さまざまなデバイスを想定した柔軟なサービス連携とその情報管理を行うサービス基盤を目指した研究が増加の傾向を見せている[4][5][6][7]。

このような情報管理とサービス連携への焦点の移行は、ユビキタスコンピューティングだけの試みとしてではなく、次世代のインターネットを目指したさまざまな研究の試みの一部として理

所属： 産業技術総合研究所 サイバーアシスト研究センター／科学技術振興事業団 CREST
Cyber Assist Research Center, AIST / CREST, JST
Email: sashima@carc.aist.go.jp, niz@ni.aist.go.jp, kurumatani@socsys.org, h.nakashima@aist.go.jp

解することが可能である。すなわち、これらの技術は、Semantic Web[8]や Web Services[9]などと同様、コンテンツ流通技術の観点から理解できる。

たとえば、Semantic Web の試みは、インターネット上に流通するコンテンツに対して明示的な意味情報を持つメタデータ[10][11]を付加することにより、コンテンツの機械的処理と管理を可能にするものである。同様に、ユビキタス環境は、環境中に散在するさまざまなデバイスやサービス、ユーザに空間的位置情報というメタデータを付加することで、それらの自動的なインタラクションを可能にするものであると理解できる。

同様に、ユビキタス環境におけるさまざまなデバイス、機器の動的な連携は、Web サービスの行う Web サーバ間の動的連携と同様のコンセプトの技術として理解できる。

そこで、本研究では、ユビキタスコンピューティングに対して、従来のインターネットの技術的拡張として理解可能な、コンテンツ流通という観点からアプローチする。インターネットは、URLで参照されるリソースにアクセスすることで、コンテンツの流通が行われる。同様に、ユビキタス環境もデバイス、ユーザ、サービス、さらにはコンテンツ自体も含むようなさまざまなリソースが、その空間的な近接性や位置関係に基づいて相互にインタラクションすることによって、コンテンツ流通が行われるメディアとみなす。このような観点からユビキタス環境を捉えることで、従来のデバイスや空間情報管理の観点からは生まれない、新しい知的情報支援技術の可能性を模索することが本研究のねらいである。

本研究では、こうしたコンテンツ流通メディアの実現に向けて、ソフトウェアエージェント技術の観点からアプローチする。Semantic Web における情報流通の担い手が、ソフトウェアエージェントであるとしたら、ユビキタス環境における情報流通の担い手もソフトウェアエージェントであるべきであろう。Semantic Web に代表されるデジタルな世界のコンテンツ流通とユビキタス環境に代表される実世界のコンテンツ流通とを、エージェントによってどう融合するかが、ソフトウェアエージェント技術の観点からみた場合の、

本研究の技術的挑戦である。

以下では、まず、ユビキタス環境においてエージェントを用いたコンテンツ流通を実現する上で、我々が重要と考える2つの技術的コンセプト、「物理場への接地」と「認知資源管理」について述べる。続いて、空間のオントロジー表現と幾何表現とを併用する時空間資源管理によって、2つのコンセプトを具現化したエージェントアーキテクチャ：CONSORTS の概要について述べる。最後に CONSORTS のデモシステムとして開発した、美術館における情報提示システムと無線 LAN を用いた位置情報管理システムを紹介する。

2. ソフトウェアエージェントによるユビキタス環境における情報支援

ユビキタス環境をコンテンツ流通の場としてとらえた場合、その扱うコンテンツは従来のインターネットベースのコンテンツとは著しく異なる。ユビキタス環境では、ユーザが明示的に入力した情報よりも、むしろユーザの背景に存在する暗黙的情報をコンテンツとして扱う必要がある。例えば、今、現在、ユーザがどこにいて、どちらを向いているかといった情報は、道案内や美術館でのツアーサービスなどの情報支援を行う上では、重要な情報となるが、ユーザが逐一、明示的に位置情報を入力してくれる状況は少ない。ユーザの挙動や振舞いをシステム側が感知し、さまざまなサービスのリソースとして管理できれば、生活のあらゆる場面において、より知的なサービスを実現できる可能性がある。このようなユーザとの明示的なインタラクションに現れない暗黙的な背景情報を、一般に文脈情報と呼ぶ。具体的には、以下のように大別できる。

- **環境側の持つ文脈情報**

環境側のセンサー情報(人や物の位置・形状、場の気温・湿度・光度など)、時間およびこれら履歴など

- **ユーザ側の持つ文脈情報**

ユーザ側端末からの入力情報、ユーザ ID、ユーザの属性(年齢、性別、健康状態など)、嗜好、意図、およびこれら履歴など

本研究では、このような文脈情報をコンテンツとみなし、その流通という観点からユビキタス環境における情報支援にアプローチする。そして、そのコンテンツの流通を加速するための核となる技術として、ソフトウェアエージェント技術の開発を目指す。

本研究でソフトウェアエージェントとは、Semantic Web の文脈におけるエージェント、すなわち“コンテンツをさまざまなソースから収集、処理し、その結果を他のプログラムと交換し合うようなプログラム” [2]を指す。しかしながら、インターネット上のソフトウェアエージェント向けに開発された技術をそのままユビキタス環境に適用したとしても、十分な効果は期待できない。ユビキタス環境特有のエージェント技術が不可欠である。我々は、ユビキタス環境のエージェント技術に求められる機能について熟慮した結果、“物理場への接地 (Physically Grounding)” と “認知資源管理 (Cognitive Resource Managements)” という2つの機能の実現に着目し、研究を進めている。以下では、まずこれらの2つの技術的課題について述べ、その克服に向けて我々が開発中のマルチエージェントアーキテクチャ：CONSORTS (Architecture for Cognitive Resource Management with Physically Grounding Agents)について述べる。

2.1. エージェントの物理場への接地

従来のソフトウェアエージェントによる情報支援の研究[12][13]は、事前に入力されたユーザの属性やキーボードからの入力操作の履歴など、ユーザ側の情報だけを文脈情報として扱い、センサー情報など実世界から得られる文脈情報の利用を目指した研究は見られなかった。そのため、ソフトウェアエージェントが実世界とどのようにインタラクトするか、インターネット上のサービスエージェントとユーザの実世界における生活とをどう連携させるかといった観点は見落とされがちであった。しかしながら、ユビキタス環境における情報支援のためのエージェントでは、ユーザの意図や選好、属性、その履歴だけでなく、そのユーザを含む環境全体の物理情報と緊密なアクセスを行うことが求められる。たとえば、美

術館での案内システムでは、ユーザの位置の変化や展示物の位置など、美術館内の微細な物理的情報の変化を検出し、情報支援を行う必要がある。

本研究では、このような環境の物理情報とエージェントとの緊密なインタラクションを エージェントの“物理場への接地”と呼び、こうした機能を持つエージェントの実現を目指す。

2.2. 認知資源管理

ユビキタス環境において人間の活動に対してシームレスな情報支援を行う場合、エージェントはセンサー情報の物理的意味を解釈できるだけでなく、そのセンサー情報の持つ認知的な意味をも理解できる必要がある。たとえば、インドナビゲーションシステムなどでは、物理的な最短パスを示すだけではなく、壁や障害物の存在、入室・通行許可の有無など、ユーザの認知的な制約を考慮した上で情報支援を行うべきである。ユビキタス環境のエージェントは、そこに含まれるさまざまな情報 (センサーの状態やユーザ、物体の位置など) を単なる物理情報としてだけではなく、人間にとっての認知的な意味や制約を理解できることが望ましい。

本研究では、このようなエージェントの情報管理の機能を“認知資源管理”と呼び、その実現を目指す。

3. CONSORTS

本節では“物理場への接地”と“認知資源管理”という、2つのコンセプトのもとに我々が開発中のマルチエージェントアーキテクチャ CONSORTS (Architecture for Cognitive Resource Management with Physically Grounding Agents) について述べる。CONSORTS はさまざまなタイプのソフトウェアエージェント、デバイス、サービスを動的に連携させることでさまざまな情報支援を実現するためのマルチエージェントアーキテクチャである。

以下では、まず、CONSORTS の最大の特徴である“時空間資源管理”の機能の概要について述べる。そして、その“時空間資源管理”を実現する

ためのエージェントアーキテクチャについて述べる。

3.1. CONSORTS の時空間資源管理

CONSORTS の最大の特徴は、その“時空間資源管理”の機能にある。時空間資源管理のアイデアは、ユビキタス環境全体を一つの時空間資源として捉え、その資源をエージェントが管理することで先に述べた二つのコンセプトを実現するというものである。

具体的には、ユビキタス環境に含まれるさまざまなリソース(センサーデバイス、サービスなど)を、幾何的に表現された時空間モデル上に位置付ける。そして、空間情報データベースとよぶデータベースに位置情報をキーとして一括して記録することで時空間資源管理を実現する。この時空間資源として表現された環境情報にソフトウェアエージェントが緊密にアクセスすることで“物理場へ接地”したエージェントが実現できる。

また、ユビキタス環境の時空間資源は幾何的な時空間モデルだけではなく、オントロジカルな時空間表現に基づく表現をもつ。具体的には木構造の包含関係として空間を表現し、その包含関係によってユビキタス環境中の事物の位置の論理的推論を可能にする。これは Semantic Web がコンテンツに対して RDF[10]や DAML[11]などを用いてメタデータを与えたのと同様の効果をもたらす。すなわち、計算機に人間の認知システムに沿った意味理解を可能にする。

CONSORTS のねらいの一つに、デジタル世界のコンテンツと実世界から得られるセンサー情報とのシームレスな融合に基づく情報支援の実現がある。CONSORTS エージェントは、先に述べた2種類の位置表現を柔軟に使い分け、相互変換を行うことでその融合を実現する。

ユビキタス環境全体をインターネット同様にさまざまなリソースが散在するメディアとして捉えて管理する時空間資源管理の考え方は、さまざまなサービスの可能性を開くものである。たとえば、環境を時空間資源として捉えてシステムが一括して管理を行うことで、環境側に存在する資源をより大局的な観点から有効利用するための

情報提示という新しいサービスが可能になる。環境側情報の管理が不十分な、従来の個人情報支援システムでは、個々のユーザへ提示される情報が相互に干渉して、結果的に渋滞や行列のようなパフォーマンスの低下がもたらされる可能性がある。環境を時空間資源として一括管理することによって、混雑の緩和や近道への誘導などでは、全体のパフォーマンスや負荷分散を考慮した新しい情報支援サービス、すなわち複数のユーザを群として支援する群支援、特にユーザ間での意図・選好の調整を行う社会的調整 [14][15]が可能である。

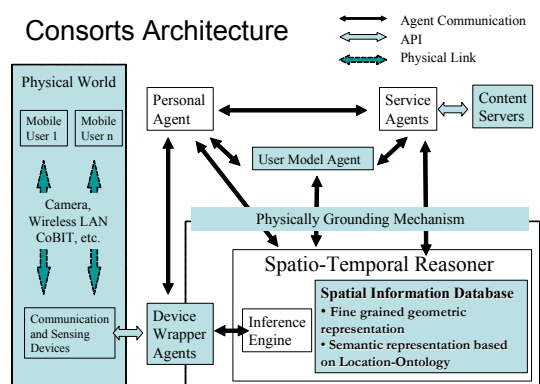


図 1 CONSORTS アーキテクチャ

3.2. CONSORTS アーキテクチャの概要

エージェントアーキテクチャ CONSORTS の概要を図 1 に示す。アーキテクチャを構成するエージェントは、主に以下の機能を持つ5種類のエージェントに分類される。

- **時空間推論エージェント (Spatio-Temporal Reasoner)**
環境を時空間資源として管理するエージェント。内部に空間情報データベース、時空間推論エンジンを持つ。空間情報データベースは、ユビキタス環境全体を一つの時空間資源として管理するものであり、さまざまなデバイスや事物の情報が位置情報をキーにして保持されている
- **ユーザモデルマネージャー (User Model Manager)**
ユーザの属性、嗜好、意図など個々のユーザの持つ文脈情報を管理するエージェント。

- **パーソナルエージェント (Personal Agent)**
開示情報の管理やインターフェースデバイスの管理など、ユーザとのインタラクションを管理するエージェント。ユーザー一人につき、一つのパーソナルエージェントが存在する。
- **サービスエージェント (Service Agent)**
ユーザに提供するサービスコンテンツを管理するエージェント。コンテンツサーバはインターネット上の Web Service を想定している
- **デバイスラッパーエージェント (Device Wrapper Agent)**
物理デバイスの API とエージェント間通信メッセージを変換するラッパーエージェント。UPnP など、プロトコル、API をエージェント通信言語でラップすることで、さまざまな情報機器とエージェントとのインタラクションを可能にする。

3.3. CONSORTS における時空間資源管理

現実のユビキタス環境全体を時空間資源として記述した空間情報データベースは時空間推論エージェントを通してエージェント全体で共有される。また、一方で、ユーザの移動など現実環境の物理的変化はセンサーラッパーエージェントを通して即座に空間情報データベースに反映される。エージェント群とユーザは、これにより、ユビキタス環境を仮想的に共有（“物理場への接地”）していると理解できる。

空間情報データベースは、ユビキタス環境の幾何的な時空間モデル（緯度・経度や位置座また、空間情報データベースはユビキタス環境による表現）だけではなく、オントロジカルな時空間表現に基づく表現をもつ。図 2 に示すような木構造の包含関係を表現したオントロジで記述される。これらのオントロジ表現と幾何的な物理座標表現との相互変換を行うことで位置に関する柔軟な推論を行う（図 3 参照）。たとえば、単純な包含関係ではオントロジによる推論で行い、ユーザの向きや距離といった物理表現を必要とする表現においては物理情報を用いて計算を行う。このような人間にわかりやすい意味表現に基づく知識表現をもちいることで、環境を“認知資源”として管理する機能を実現する。

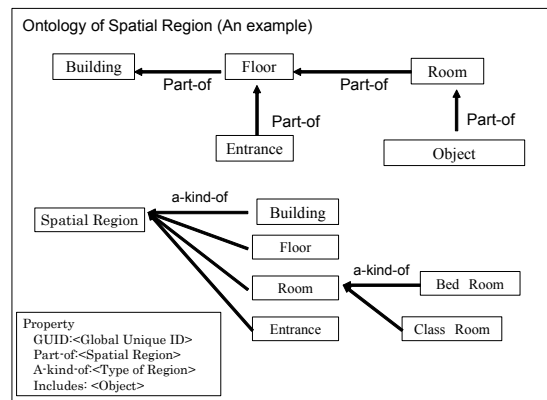


図 2 空間オントロジー

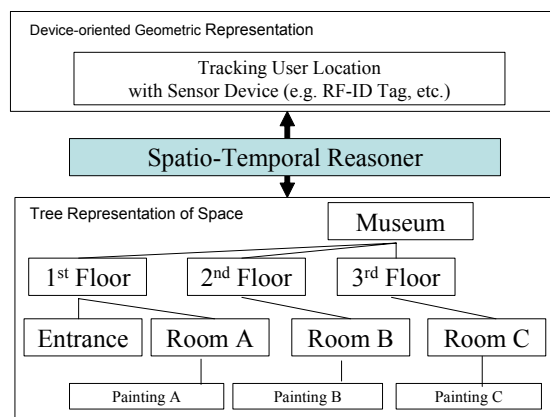


図 3 時空間資源管理における表現の相互変換

3.4. CONSORTS の実装

CONSORTS エージェントの通信は、FIPA[16]によって提唱された標準エージェント間通信言語 FIPA-ACL を用いている。FIPA-ACL の通信メッセージは図 4 に示すような S 式で記述される標準フォーマットを持つ。FIPA のプロトコルに準拠した通信を行うことで世界中の FIPA エージェントと通信することが可能である。実際、CONSORTS のデモシステムは、FIPA エージェントのエージェントプラットフォームが相互接続されたグローバルなネットワークである AgentCities ネットワーク[17]に常時接続しており、エージェント間通信に関するオープンな実験に参加している[†]。

[†]AgentCities ネットワークにおける我々のプラットフォームは [tokyo.agentcities.net](http://www.carc.aist.go.jp/agentcities/) (<http://www.carc.aist.go.jp/agentcities/>)である。

表 1 CONSORTS エージェントの通信メッセージの例 (図 4-4)

```
(REQUEST
:sender Person0@leporello:7777/JADE
:receiver Museum@leporello:7777/JADE)
:content "((CONSUME
(PERSON :NAME Person0)
(SERVICE :NAME MonaLisa :
PROVIDER Museum)))"
:language FIPA-SL
:ontology LOCATION_ONTOLOGY
)
```

CONSORTS アーキテクチャの実装はすべて Java 上で行われている。FIPA-Agent の基本機能の部分は JADE[18]と呼ばれるオープンソースの FIPA エージェント開発ツールを用いて行った。図 2 に示したオントロジー, およびオントロジーで記述された FIPA-ACL のコンテンツ記述の実装は, JADE のオントロジー管理機構を用いている。

4. CONSORTS のアプリケーション

以下では, CONSORTS アーキテクチャを用いて開発した, 美術館におけるガイドシステムおよび無線ランを用いた位置情報管理システムについて述べる。エージェントによるアプリケーションレベルのコンテンツ流通という観点から, ユビキタス環境における情報支援にアプローチする。

4.1. 美術館における情報支援システム

美術館では, 単に展示物を見るだけではなく, その展示物を通してさまざまな知識(所蔵者, 作者など)を得るという体験も欠かすことができない機能の一つである。ここでは展示物に観客が近づくとその展示物に関する情報を提示するという情報支援システムを開発した。情報支援システムは, ユーザからの指示に応じて, その展示物に関する, さらに詳細な情報をインターネット上のリソース(具体的には Google Web Services に対して「ユーザの質問」+「展示物の名称」をキー

にして検索を行う。)にアクセスし, 情報を検索して表示する機能を持つ。インターネットのリソースに動的にアクセスすることでダイナミックな提示コンテンツの形成を行う。エージェントは FIPA に準拠しているため, 世界中の FIPA エージェントとそのエージェントが抱えるリソースをこの情報支援システムに取り込むことが可能である。

このシステムにおけるエージェント間の通信概要を示したものが図 4 である。

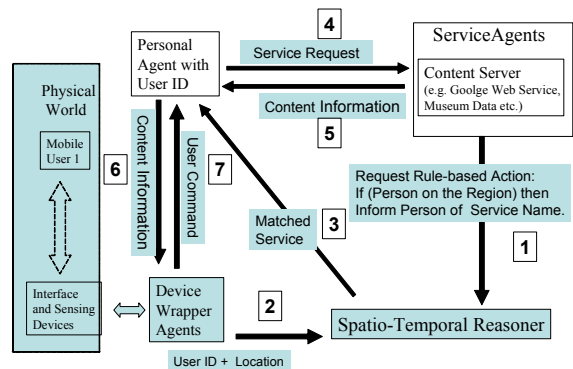


図 4 美術館情報支援システムにおけるエージェント間通信の概要

通信メッセージの流れを追って簡単に説明する。まず, 美術館のサービスエージェントは, 展示物と近接するユーザを見つけたら, 展示物の情報提示が可能であることを, そのユーザのパーソナルエージェントに通知するように時空間推論エージェントに依頼する(図 4-1)。時空間推論エージェントは位置検出デバイスラッパーエージェントから送られるユーザの位置情報を監視して, サービスエージェントの依頼を実行する(図 4-2, 3)。パーソナルエージェントは, 時空間推論エージェントからの情報提示の申し出に従って, サービスエージェントに展示物情報の送信を依頼する(図 4-4, 5)。得られた展示物の情報は, ラッパーエージェントを介して, ユーザの手近なディスプレイに物理的に表示する(図 4-6)。さらに情報が欲しいユーザは PDA を通じてエージェントに情報検索の指示を送信(図 4-7)す

‡ このリクエストに, ユーザモデルエージェントから取得した, 年齢や表示言語などの個人情報を付加することで, より精度の高い情報を得ることが可能である。

る.するとパーソナルエージェントは適切なサービスエージェントにアクセスし、インターネット上の情報を提示する. 図 5 に美術館支援システムのモニター画面のスナップショットを示す[§].

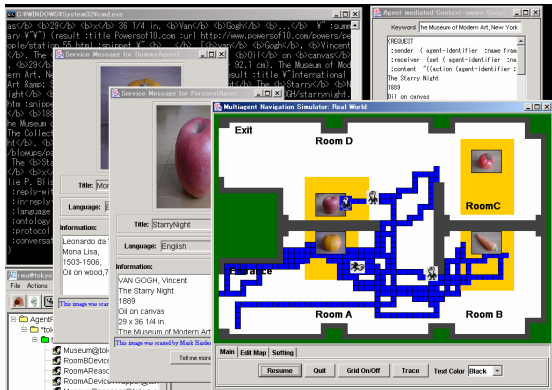


図 5 美術館情報支援システムのモニター画面

ここでは、美術館というコンテキストにおいて、位置情報とインターネット上のコンテンツとを CONSORTS エージェントを用いて相互流通させることで美術館のガイドサービスの実現を行った. CONSORTS を用いることで、こうしたオープンな情報支援サービスの構築が容易に実現可能である.

4.2. 無線 LAN による位置情報管理

知り合いや家族など、特定の人物の現在位置を知りたいという位置情報管理サービスの要望は多い. ここでは、CONSORTS のもう一つのアプリケーションとして、各地の無線 LAN ステーションに接続している無線 LAN カードの MAC Address** をエージェントが監視、空間情報データベースで集中管理することでユーザの位置を追跡するシステムを紹介する.

現在、多くの無線 LAN ステーションが Web ブラウザからアクセス可能な設定インターフェースを備えている^{††}. それらのインターフェースの多くは、現在接続中の無線ランカードの MAC

[§] 現段階ではユーザ位置、環境等はシミュレーションにより作成したものをを用いている.

** MAC Address は存在するすべてのネットワークカードに割り振られた一意な 48 ビットの ID である.

†† デモシステムではメルコ社製エアステーション <http://www.airstation.com/> を利用した.

Address を表示するサービスを提供している. そこで、本システムでは、まず、現在接続中の無線ランカードを知るため、この設定インターフェースへの接続する HTTP ラッパーエージェントを作成した. ラッパーエージェントは、得られた HTML ドキュメントから MAC アドレスを切り出し、切り出した MAC アドレスとエアステーション ID をエージェント通信言語のフォーマットに変換し、時空間推論エージェントに送る. 同時に、無線ランステーションの空間的な位置情報を空間情報データベースに格納し管理する. 時空間推論エージェントは両者の情報を付き合わせることで、無線ランに接続しているユーザの位置を管理できる. さらに、この無線 LAN 監視システムを AgentCities のネットワークと接続し (図 6 参照)、遠隔地に存在するエージェント間で位置情報を通信しあう実験 (バルセロナ=東京間の位置追跡) を行った.

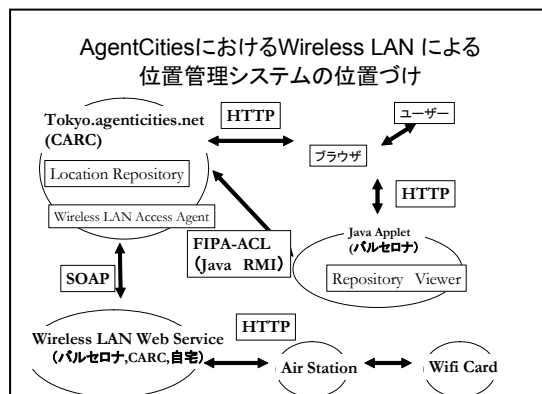


図 6 AgentCities ネットワークとの接続

実験中の空間情報データベースが示した、無線 LAN カードの MAC Address のモニター画面のスナップショットを図 7 に示す.



図 7 無線 LAN による位置情報管理システムのモニター画面

ここでは、無線 LAN というポピュラーなデバイスから得られる位置情報コンテンツを、CONSORTS を用いて広域に流通させることで、グローバルな位置追跡システムが実現できる可能性を示した。この結果は、アプリケーションレベルでのエージェントの連携によって、ユビキタス環境におけるさまざまな情報を集約し、流通させることで、大規模なインフラを構築することなしに、興味深いサービスが提供できる可能性を示唆するものと考えている。

5. おわりに

本稿では、ユビキタス環境から得られる実世界の情報とインターネット上の意味情報をエージェントによって流通させるという、新たなコンテンツ流通形態の可能性を示した。

無線 LAN 位置追跡システムで示したように、ユビキタス環境から得られる多数の実世界情報を、エージェントが適切に加工・集約し、エージェント同士が相互に情報交換を行うことで、大掛かりなセンサーインフラが無くとも興味深いサービスが実現できる可能性がある。今後は、ユビキタス環境のより詳細な知識記述をエージェントに与えることで、高度な知的情報支援の実現を目指したい。

6. 謝辞

本研究は科学技術振興事業団「戦略的基礎研究推進事業・高度メディア社会の生活情報技術・人間中心の知的情報アクセス技術」の研究費により行われたものである。

7. 参考文献

- [1] Mark Weiser. The computer for the 21st century. *Scientific American*, 94-104, Sep 1991.
- [2] Roy Want and Andy Hopper, Active Badges and Personal Interactive Computing Objects, *IEEE*

- Transactions on Consumer Electronics*, 38(1):10-20, February 1992.
- [3] Roy Want, Bill N. Schilit, Norman I. Adams, Rich Gold, Karin Petersen, David Goldberg, John R. Ellis and Mark Weiser., The PARCTAB Ubiquitous Computing Experiment, *Technical Report CSL-95-1*, Xerox Palo Alto Research Center, March 1995.
 - [4] QoSDream, <http://www-lce.eng.cam.ac.uk/qosdream/>, 2003
 - [5] 南 正輝, 杉田 馨, 森川 博之, 青山 友紀, "ユビキタス環境に向けたインターネットアプリケーションプラットフォーム," *電子情報通信学会論文誌*, vol. J85-B, No. 12, pp. 2313-2330, December 2002.
 - [6] William Adjie-Winoto, Elliot Schwartz, Hari Balakrishnan, Jeremy Lilley, The design and implementation of an intentional naming system, *Proc. 17th ACM SOSP*, Kiawah Island, SC, 1999.
 - [7] 石井かおり, 由良淳一, 徳田英幸, "SmartTerminal 構築のための基盤機構の実装", *情報処理学会情報家電コンピューティング研究グループ第5回研究会報告 (5)* pp.15-20, 2003
 - [8] Tim Berners-Lee, James Hendler, and Ora Lassila. The Semantic Web. *Scientific American*, 2001.
 - [9] Web Services Activity, <http://www.w3.org/2002/ws/>, 2002.
 - [10] Resource Description Framework (RDF), <http://www.w3.org/RDF/>, 2002.
 - [11] James Hendler and Debora L. McGuinness. DARPA Agent Markup Language. *IEEE Intelligent Systems*, 15 (6), 72-73, 2001.
 - [12] Nick Jennings, An agent-based approach for building complex software systems. *Communications of the ACM*, 44 (4): 35-41, 2001.
 - [13] Pattie Maes, Agents that Reduce Work and Information Overload. *Communications of the ACM*, 37(7): pp.31-40, ACM Press, July 1994.
 - [14] Koichi Kurumatani. Social Coordination in Physically-Grounded Agent Architecture, to appear in *Proc. of Landscape Frontier International Symposium*, 2002.
 - [15] Koichi Kurumatani. User Intention Market for Multi-Agent Navigation - An Artificial Intelligent Problem in Engineering and Economic Context, *Proc. of the AAAI-02 Workshop on Multi-Agent Modeling and Simulation of Economic Systems*, pp.1-4, AAAI Press, 2002.
 - [16] The Foundation for Intelligent Physical Agents, <http://www.fipa.org/>, 2002.
 - [17] AgentCities Network, <http://www.agentcities.net/>, 2002.
 - [18] Java Agent DEvelopment Framework (JADE), <http://sharon.cselt.it/projects/jade/>, 2002
 - [19] Google Web APIs, <http://www.google.com/apis/>, 2003