

ユーザ追従型モバイルエージェントフレームワーク “FollowingSpace”の提案と応用

谷澤佳道[†] 佐藤一郎^{††} 安西祐一郎[†]

ユビキタスコンピューティング環境における，移動するユーザへのサービス提供方法として，ユーザの移動を追従しながらネットワーク上を移動するモバイルエージェントを導入する．これは位置センサからの情報をもとに，ユーザ位置とその周辺に位置するコンピュータを特定し，ユーザ補助エージェントを移動させてサービスを提供するものである．本論文では，上記を実現するユーザ追従型モバイルエージェントフレームワーク FollowingSpace について述べる．また，FollowingSpace の有効性を確認するため，病院内で患者に追従し診察室まで案内を行うアプリケーションを構築した．これは CCD カメラにより患者の移動を認識し，院内各所に設置されたディスプレイとスピーカにより患者の誘導を行うものである．

A User Tracking Mobile Agent Framework “FollowingSpace”

YOSHIMICHI TANIZAWA,[†] ICHIRO SATOH^{††} and YUICHIRO ANZAI[†]

A mobile agent-based framework “FollowingSpace”, for supporting moving users from ubiquitous computing devices is presented. When a user moves to another location in a physical space, the framework allows mobile agents attached to the user to migrate to one of the nearest hosts from the current location of the user. Therefore, mobile agents can follow their user while the user moves around so that they can support the users intimately. This paper describes a prototype implementation of this framework and illustrates a practical user-assistant system based on this framework. The system tracks the movement of a patient by means of a CCD camera-based vision system and navigates a patient among suitable consultation rooms by showing suitable hosts located in the hospital.

1. はじめに

次世代情報技術としてユビキタスコンピューティング¹⁾とモバイルコンピューティングの2つの手法が注目されている．ユビキタスコンピューティングはビルや街にコンピュータやセンサを偏在させ，それらを通じて各種情報サービスを提供するものであり，特に位置や場所に依存したサービス提供に有効である．しかし，ここで利用されるコンピュータは組み込み用途のものが主であり，一般にプロセッサや記憶装置など計算資源の制限が大きい．このため，ユビキタスコンピューティング環境は社会インフラとしての利用が期待されながらも，特定のサービスに特化することが

多く，多目的に利用することが困難である．さらに各ユーザに固有の情報を保持することが難しいため，それぞれのユーザ個人に特化したサービスを提供することは困難となる．一方，モバイルコンピューティングはユーザ自身が携帯する機器，たとえばノート PC や PDA，携帯電話などを通じて各種情報サービスを提供するものであり，各機器はそれぞれのユーザしか利用しないことから，機器上で各ユーザ個人に特化したサービスを提供するソフトウェアが利用可能となる．ただし，単独で場所に依存したサービスを提供することは難しく，機器の携帯自身もユーザへの負担となる．

ここでは，両コンピューティングの利点・欠点が互いに補完関係であることに注目する．そして，ユビキタスコンピューティング環境において，モバイルコンピューティングと同様に個人に特化したサービスを提供する枠組みである FollowingSpace を提案する．これは，モバイルコンピューティングにおいてユーザがコンピュータを携帯する代わりに，そのコンピュータで動かすべくソフトウェアをモバイルエージェントし

[†] 慶應義塾大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Keio University

^{††} 国立情報学研究所
National Institute of Informatics
現在，株式会社東芝
Presently with TOSHIBA Corporation

て実現し、ユビキタスコンピューティング環境における偏在するコンピュータ間を移動させることにより、ユーザの物理的移動とネットワーク上の論理的移動とを関連づける方法を提供する。今後、ビルや街頭など生活や社会の至るところにコンピュータが存在し、それらはネットワークを通じて連係動作可能になると思われる。また、画像処理や RF (radio frequency) タグなどのセンシング技術の発展により、ユーザとその位置の特定ができるようになると考えられる。そこで、ここではユーザの位置を監視しながら、そのユーザが一番近いコンピュータに、そのユーザのエージェントを移動させる機構を実現する。FollowingSpace はアプリケーションに依存しない汎用的なフレームワークであるが、その有効性を確認するため、病院内を想定したユーザナビゲーションシステムを構築する。これは CCD カメラを用いて患者とその移動を認識し、院内各所に設置されたディスプレイとスピーカにより患者を目的の診察室まで誘導するシステムである。

以下、2章で本論文のアプローチを述べ、3章で提案する FollowingSpace のシステム構成について説明する。4章でアプリケーションである病院内患者案内システムについて述べる。5章で関連研究を述べ、6章で結論と今後の課題を述べる。

2. 方針

ここではユビキタスコンピューティング環境において想定される代表的なアプリケーションを例にとり、実現するうえでの問題点とフレームワークに要求される機能を議論する。

- シナリオ 1: パーソナルナビゲーションシステム
GPS 付きの携帯機器などによりユーザ位置を特定し、それをもとに現在地の情報を表示するサービスの利用が始まっている。これらのサービスはユーザが携帯電話や PDA、ノート PCなどを携帯する必要があるが、ユビキタスコンピューティング環境においては、街頭の公共情報端末や電子ポスターなどの偏在するコンピュータにその場所の地図や地域情報を表示することができ、この場合ユーザは機器を携帯する必要がない。しかし、このようなコンピュータ上に表示される情報は不特定者を対象とすることが多く、個々のユーザの要求を満足するものではない。たとえユーザの識別を行えたとしても、そのユーザに特化したサービスを提供するには、そのユーザのプロファイル、たとえば目的地、表示する地図の形態、表示言語などの情報が必要である。このとき、個々のコン

ピュータがこれらすべての情報を保持することは記憶容量の制限から困難である。このほか各コンピュータからアクセス可能なデータベースに一括して保持させる方法があるが、この方法ではデータベースアクセスがボトルネックとなりうるため、インタラクティブ性の高いサービスは望めない。さらにユーザ数が多い場合はスケーラビリティの問題が発生する。また、データベースとの通信切断には対応できない。

- シナリオ 2: パーソナルバックグラウンドミュージックサービス

ユビキタスコンピューティング環境では複数のコンピュータを利用したプロアクティブ性²⁾の高いサービスが可能となる。その一例としてバックグラウンドミュージックサービス³⁾がある。これはユーザがある部屋に入室すると、その部屋のオーディオ機器を使ってそのユーザの好みの楽曲を自動再生するものである。そして、そのユーザが別の部屋に移動した場合は再生を中断し、次の部屋ではその部屋のオーディオ機器により中断したところから楽曲の再生を再開する。この場合、ユーザごとに好みの音楽が異なるため、各ユーザの嗜好に関する情報を保持する必要がある、上述と同じ問題が発生する。さらに再生するプレイヤソフトウェア自体もユーザに応じて変更する必要がある。また、相違な装置を使いながら楽曲を継続的に再生することや、オーディオ機器の追加や電源遮断に柔軟に対応したりすることも求められる。

本論文で提案する FollowingSpace は上記のようなアプリケーションを実現する汎用的な枠組みである。FollowingSpace のキーアイデアは、モバイルエージェントを利用しそのモバイルエージェントとユーザに空間的なリンクを提供することにある。モバイルエージェントはコンピュータ間を移動する自律的なソフトウェアであり、ここでは各ユーザの個人情報やソフトウェアを保持し、ユビキタスコンピューティング環境を移動するユーザに対し、環境中のコンピュータを移動しながら、そのユーザ個人に特化したサービスを提供するアシスタントとして動作する。

2.1 ディレクトリサービス機構

ユーザは物理空間を移動するのにに対し、モバイルエージェントはネットワーク上のコンピュータ間を移動するものである。ここでは図 1 に示すようにユーザの物理的位置に最も近いコンピュータでモバイルエージェントを移動させて、そのサービスを提供する方法を考える。ユーザ移動時にモバイルエージェント

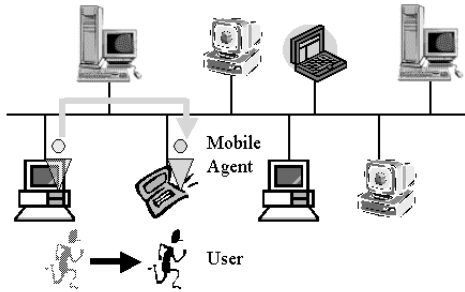


図1 FollowingSpace の概念
Fig.1 FollowingSpace approach.

は移動先コンピュータを特定する必要がある。ここでは、それぞれのコンピュータの計算能力とあらかじめ与えた空間モデルに従って、ユーザの近傍かつサービス提供に最適なコンピュータを選択することとする。ただし、個々のエージェントがシステムを構成するコンピュータをすべて把握することは困難であることから、エージェントにその移動先コンピュータの候補となりうるコンピュータの情報を知らせるディレクトリサービス機構を実現する。

一般に物理的な位置情報とネットワーク的な位置情報を対応づけるこれらのディレクトリ機構は、システム内のサーバで情報を一元管理することにより実現することが多い^{4),5)}。これらの手法は、管理が容易であるが、サーバがボトルネックとなる可能性がある。加えて、ユビキタスコンピューティング環境のような動的なシステムにおいては、システムを構成するコンピュータの移動や追加、削除などのネットワーク構成の変更が頻繁することから、このような一局集中管理は不向きである。そこで FollowingSpace では、ディレクトリ機構を各コンピュータに分散し、エージェントの移動先の候補となるコンピュータの情報を重複して保持するディレクトリ機構を実現した^{6),7)}。これによりエージェントはネットワークにアクセスすることなく、ローカルコンピュータを参照することでシステム内の他のコンピュータの情報を取得でき、移動先の特定に利用できる。

次に、上述以外の機能要求とその解決方法を列挙する。

インタラクティブ性：

特定のサービスの提供に必要なデータやプログラムはモバイルエージェントとしてユーザ近辺のコンピュータに移動して、そこで動作する。したがって、通信遅延は十分小さくなり、インタラクティブなサービス提供が可能である。

拡張可能性：

ユビキタスコンピューティング環境では、コンピュータの配置位置や稼働状況はつねに変化することが予想される。また、ネットワークの形態やプロトコルとしてここで取り上げる以外の方法もありうる。FollowingSpace では、ディレクトリサービス機構自体もモバイルエージェントとして実現することで、エージェントの移動を通じてシステム構成の動的変更に柔軟に対応可能とする。

スケーラビリティ：

FollowingSpace では、各ユーザに関するデータは対応するモバイルエージェント内に保持される形で分散管理される。ユーザに関する情報の統一的な管理は難しくなるが、システム内にデータの集中管理を行うデータベースを設置する必要はなく、スケーラビリティが高い。

計算資源の制限：

ユーザ移動に合わせてモバイルエージェントを移動させることにより、個々のユーザに特化したソフトウェアやデータは、ユーザが近傍に位置するときだけ各コンピュータに配置される。記憶容量の小さな組み込み機器などのコンピュータを含むシステムでも、エージェントを入れ替えることにより多様なサービスを実現できる。

位置センシングシステムへの非依存性：

現在、多様な位置センシングシステムが提案されている⁸⁾。しかしこれらは、たとえば精度や位置の通知方法などの点で異なっている。FollowingSpace は特定の位置センシングシステムに依存しない、様々なシステムと親和性の高い構成とする。また、モバイルエージェントシステムに関しても特定のシステムに依存しないものとする。

3. システム設計・実装

図2に FollowingSpace のシステム構成を示す。部屋や建物内に分散配置されるコンピュータは、位置センサやディスプレイなどの実世界環境へのインタフェースを監視・制御するとともに、モバイルエージェントのプラットフォームを提供する。こうしたコンピュータを以下でホストと呼ぶことにする。本研究では、このモバイルエージェントの実現システムとして Java 言語により実装された AgentSpace⁹⁾を利用する。なお、この実装ではホストはネットワークにより接続され、ホストの停止やネットワークの切断などはないものとする。

ソフトウェア構成は、ユーザに各種サービスを提供

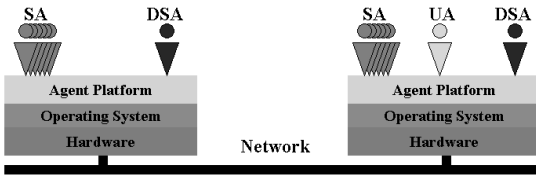


図2 FollowingSpace のシステム構成
Fig.2 System architecture of FollowingSpace.

するモバイルエージェント User Agent (UA) と、コンピュータ上のサービスをモデル化するモバイルエージェント Service Agent (SA), システムを構成するホストの情報を保持し UA の移動先ホストを特定するモバイルエージェント Directory Service Agent (DSA) の、3 種類のエージェントからなる。UA はサービスごとに複数存在し、1 人のユーザは複数の UA を持つことができる。また、DSA は各ホストに 1 つずつ存在しディレクトリサービスを実現する。構成要素をすべてエージェントとすることで、シンプルで扱いやすいシステムとなる。

UA は対応するユーザの個人情報を保持しており、ユーザの物理的位置に一番近いホストで動作し、ユーザにサービスを提供するエージェントである。UA はローカルホスト上の SA と通信してその機能を利用し、サービス提供を実現する。この際、UA は SA に対しユーザの個人情報を一部公開することで、ユーザに特化したサービスとすることができる。

UA は移動の際、位置センシングシステムをモデル化する SA により得られるユーザの位置情報をもとに、ローカルホスト上の DSA に移動先ホストを問い合わせる。DSA はシステムを構成するホストの各種情報を保持しているため、UA がサービス提供を行ううえで最も適切な移動先ホストの情報を提供できる。この情報を利用して移動することにより、UA はつねにユーザ近傍のホスト上で動作することが可能となる。

以下にこれら 3 種類のエージェントについて述べる。

3.1 Directory Service Agent (DSA)

DSA は近辺に存在するホストの情報をそれ自身のデータベースに保持し、ユーザの移動に際してはそのユーザに対応した UA に移動先を提示する。ホストに関するデータはホスト情報と呼ぶ 3 つの項目からなり、これは物理的な位置情報、ネットワークアドレス、そのホストが提供するサービスの情報である。本研究はユーザ追従型のアプリケーションを対象としているため、UA の移動先候補となるホストは、システムを構成する全ホストではなく、ユーザの物理的位置などによりある程度制限することが可能となる。よってここ

では、あるホストからの物理的な距離が所定の値以下となるホストを、そのホストの周辺ホストであると定義し、これを UA の移動先候補とする。DSA はこの周辺ホストのホスト情報を UA に提供する。

周辺ホスト上の DSA どうしは peer-to-peer 方式により通信を行い、他の DSA からの問合せに対して該当するホスト情報を送信することができる。ただし、他の DSA が管理するホスト情報はオンデマンドに要求することとし、サービスの追加や削除、ホストの追加や削除が発生した場合でも、正しいホスト情報が取得できるようにする。

以下に DSA の機能の詳細を述べる。

- UA の移動先ホスト特定の支援

UA は以下に示すメソッドを利用してホスト情報を得て、移動先を選択する。

- getNearHost()

ユーザの最も近くに存在する周辺ホストのホスト情報を返す。

ホストの選定基準は関数として明示的に定義可能であるが、以下では最も単純な 2 地点間距離に基づいた場合の関数例を示す。ここで、ユーザの位置を $user$ 、システム内のホストの位置を $host_i$ ($i = 0, \dots, N$)、ある 2 地点間の距離を求める関数を $distance(user, host_i)$ とすると、あるユーザを追従する UA の存在すべきホストは、以下の式により求められる。

$$\min_{i=0,1,\dots,N} (distance(user, host_i))$$

UA が移動先を決定する際、ローカルホストを $host_0$ 、周辺ホストを $host_1, \dots, host_n$ としたとき、以下の式により求められるホストに移動するのが一般的であり、このホストのホスト情報が返される。

$$\min_{i=1,\dots,n} (distance(user, host_i))$$

- getServiceHost(Service s)

サービス s を保持する SA が存在する周辺ホストのホスト情報を返す。

- getHost(Angle a)

周辺ホストのうち、Angle a の方向に最も近いものを返す。

- getHostList()

保持している周辺ホストのホスト情報をすべて返す。

- UA のサービス発見の支援

UA はメソッド getServiceAgents(Service s)

により、ローカルホスト上に存在する複数のエージェントの中から、サービス s を保持する SA を特定する。

3.2 Service Agent (SA)

SA は各ホストが提供するサービスを保持・管理するモバイルエージェントである。サービスとはシステムがユーザに対して提供する機能の単位であり、UA に対する情報提供、デバイス制御のほか、位置センシングシステムにより得られる位置情報の提供などがある。SA は提供する個々のサービスの詳細に依存しない API を提供する。SA が提供するサービスに関する情報をサービス情報と呼び、これは、ローカルホスト上の DSA にホスト情報として登録される。UA がローカルホスト上の DSA よりサービス情報を取得し、SA と通信を行うことで、ユーザに対してのサービス提供が実現される。

3.3 User Agent (UA)

UA は、割り当てられたユーザに追従して移動するモバイルエージェントであり、対象となるユーザに関する情報を保持する。SA にユーザ情報を通知して、SA のサービスを利用することにより、ユーザに特化したサービスを提供する。以下にユーザ移動時の UA の動作を示す(図 3)。

- (1) DSA によりユーザの位置センシングサービスを提供する SA を発見する。
- (2) SA により、ユーザの位置および移動の監視を依頼する。
- (3) SA よりユーザの移動を検出し位置情報を取得すると、DSA を利用しユーザ位置と UA が利用したいサービスに基づいて、最も適切な移動先ホストを特定する。

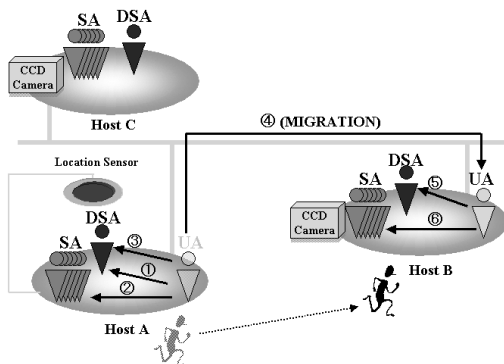


図 3 ユーザ移動時の UA (User Agent) の動作

Fig. 3 Behaviors of a UA (User Agent) when its user moves.

- (4) 特定したホストに移動する。
- (5) DSA により位置センシングサービスを提供する SA および利用したいサービスを提供する SA を発見する。
- (6) SA と通信を行い、ユーザ位置・移動の監視を依頼するとともに、ユーザに対しサービス提供を開始する。

3.4 動的コンフィギュレーション

FollowingSpace は、提供するサービス内容の変更やホストの増減に動的に対応可能である。以下にその手法について述べる。

● サービス情報の変更への対応

SA は起動時や移動時などサービス情報の更新があった場合、ローカルホスト上の DSA に対しこれを通知する。新しいサービスを生成した際はメソッド `serviceHello()` によって、サービス情報の登録を依頼する。一方サービスを削除した際はメソッド `serviceBye()` によって、サービス情報の削除を依頼する。DSA はメソッド `DSAUpdate()` により、ローカルホストのホスト情報を更新した後、その更新を周辺ホスト上の DSA に通知する。通知を受けた DSA は周辺ホストのホスト情報を更新する。

なお、サービス情報を登録する際、各サービスごとに TTL (Time To Live) が設定される。TTL は徐々に減じられ、ゼロになったらそのサービス情報は削除される。よって SA は定期的にメソッド `serviceUpdate()` により TTL を更新する必要がある。

● ホストの追加・削除への対応

追加されたホスト上の DSA はメソッド `DSAHello()` により、まずローカルホストのホスト情報を設定し、次にシステムを構成する各ホスト上の DSA にこのホスト情報を通知する。ホスト情報を受け取った各 DSA は、そのホストとの距離などの情報をもとに、それが周辺ホストであるかどうかを判断する。周辺ホストであればこの情報により周辺ホスト情報を更新し、自身のホスト情報を追加されたホスト上の DSA に対しリプライする。周辺ホストからの情報でなければ、ホスト情報を受け取った DSA はこのホスト情報を破棄する。追加されたホスト上の DSA はこのリプライに含まれるホスト情報をもとに周辺ホストの情報を設定する。

また、DSA はホストが削除される際には、メソッド `DSABye()` により周辺ホスト上の DSA に通知

する．この通知を受けた DSA は周辺ホストの情報から対応するホスト情報を削除する．

4. アプリケーション：病院内患者案内システム

本章では FollowingSpace の有効性を確認するため、構築したアプリケーションについて述べる．

4.1 シナリオ

病院内において、患者を診察室や病室へ案内する．患者が病院の受付において診察券を提示すると、病院内の廊下などに設置されたディスプレイやスピーカなどのインタフェースを利用し患者を適切な診察室へと案内してゆく．患者ごとに目的地である診察室は異なる．また、患者の病状や状態によっては、案内時に用いるディスプレイ表示やスピーカで再生する音声も変更する．

4.2 病院内患者案内システムの構成

構築したシステムを図 4 に示す．ここでは位置センシングシステムとして複数台の CCD カメラ (SONY EVI-D30) を用いた．これは画像認識で物体の移動を特定するものであり、これによりユーザの移動を検出する．3 台の PC (PC-1, PC-2, PC-3) にそれぞれ CCD カメラ、スピーカ、ディスプレイを接続し、システムを構築した¹⁰⁾．診察券は IC カードで実現した．システムを構成するモバイルエージェントは、DSA に加え、2 種類の SA (音声エージェント、カメラエージェント) と、UA (患者エージェント) である．音声エージェントおよびカメラエージェントは各ホストに 1 つずつ存在する．患者エージェントは各患者ごとに用意され、PC-1 に保存されている．以下にこれら

のエージェントについて述べる．

- 音声エージェント (Voice Agent)

音声エージェントは個々の音声再生機構の詳細を抽象化するインタフェースとなるエージェントである．エージェント間通信を通じて患者エージェントから患者の移動方向に関する情報とプロフィール情報 (性別、年齢、聴力など) を受け取り、それに応じて案内用の音声を再生する．個々の音声再生機構に応じて音声エージェントを用意することにより、その機構を利用することができる．本実装では、音声エージェントはあらかじめ内部に音程や再生速度、音量が異なる複数の患者案内用音声データを保持しており、患者エージェントから通知される患者のプロファイル情報に応じて音声データを選択し、再生している．

- カメラエージェント (Camera Agent)

カメラエージェントは、カメラ制御ソフトウェアと通信を行い、その状態を監視、制御するエージェントである．患者エージェントからの依頼によりカメラに患者の追跡を行わせ、患者があらかじめ設定された閾値よりも右、もしくは左に移動したことを認識すると、患者エージェントへの通知を行う．本エージェントにより位置センシングシステムであるカメラや画像処理技術の詳細を隠蔽している．このため、FollowingSpace 自体は特定の位置センシングシステムに依存しておらず、RF ベースのシステムを含む他の位置センシングシステムも容易に利用できる．なお、ここで使用したカメラ制御ソフトウェア¹¹⁾は、カメラから得られた画像に対して背景差分処理を行うことで、オブジェクト (患者) の位置および移動を認識している．

- 患者エージェント (Patient Agent)

患者エージェントは、患者の移動すべき診察室に関する情報と患者の病状に関する情報を保持し、患者の移動に追従するエージェントである．各ホストでは、患者を誘導するための矢印をディスプレイに表示する．また、音声エージェントに対して患者に合わせた案内音声の再生を、カメラエージェントに対して患者の移動検出を要請する．カメラエージェントからの通知を受けると DSA を参照し、患者に追従するためホスト間を移動す

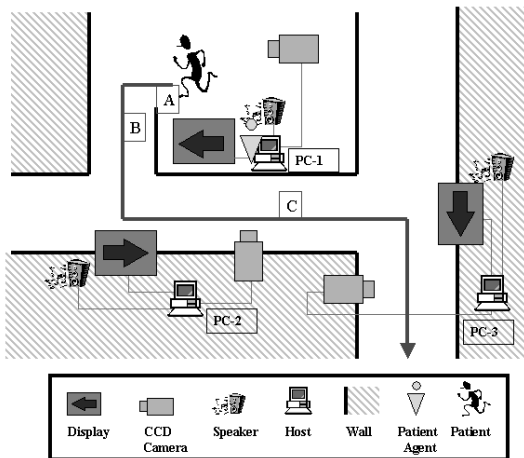


図 4 病院におけるカメラおよびコンピュータの配置

Fig. 4 Allocation of cameras and computers in a hospital.

この実装では受付 (図 4 の A 地点) においてユーザ (患者) の個人特定を行うことを想定しており、位置センシングシステムではユーザの個人特定は行っていないが、FollowingSpace 自体は個人特定を行うシステムも利用可能である．

る。なお、診察室においては電子カルテとして機能する。

患者エージェントは以下のように動作し、患者を診察室まで案内する。

- (1) 患者の行き先方向を示す矢印を表示する。
- (2) 音声エージェントに案内用音声の再生を依頼する。
- (3) カメラエージェントに患者の追跡を依頼し、通知を待つ。
- (4) カメラエージェントから、患者の移動の通知を受ける。
- (5) DSA を参照し患者の近くのホストへ移動する。
- (6) (1) にもどり動作を繰り返す。

4.3 評価および考察

図 4 に示すように、患者を受付である A 地点から、B 地点、C 地点を経由して、目的の診察室への案内を行った。A 地点において患者が診察券を提示すると PC-1 に対応する患者エージェントが読み出され、ディスプレイとスピーカにより患者の誘導を開始する。PC-1 上のカメラは患者の移動を監視し、患者が B 地点まで移動するとカメラエージェントを通じて患者の移動が患者エージェントに通知される。患者エージェントは DSA に問い合わせ、移動先ホスト PC-2 を特定し移動する。PC-2 においても患者エージェントはディスプレイおよびスピーカにより患者を誘導し、患者が C 地点まで移動すると PC-3 に移動する。PC-3 でも同様に患者の誘導を行う。患者エージェントによるナビゲーション画面を図 5 に、患者誘導の様子を図 6 に示す。

本アプリケーションの性能を定量的に評価するため、患者エージェントを PC-2、PC-3 間で移動させ、要する時間を測定した。ここで、PC-2 は、CPU 1.4 GHz、Memory 256 MByte、OS Windows2000、Java1.2、PC-3 は、CPU 700 MHz、Memory 512 MByte、OS Windows98、Java1.2 であり、PC-2 と PC-3 は 100 Mbps Ethernet で接続されている。また、患者エージェントのサイズは 15 kByte である。患者エージェントがローカルホスト上の DSA を参照してから次のホストに移動する場合の移動時間は、平均 100 msec であった。一方、DSA を参照せずに移動する場合の移動時間は、平均 90 msec であった。このことから、DSA により移動先ホストを決定することによる、エージェント移動時間のオーバーヘッドは 10 msec 程度であるといえる。ところで、患者が移動してから、実際に道案内を行うまでには、エージェント移動以外にも、患者の移動検出やディスプレイ描画などの処理が必要で

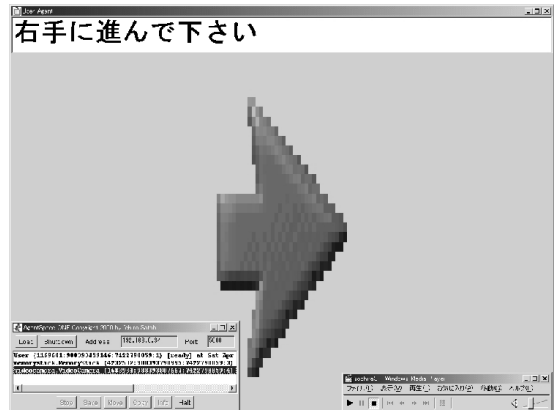


図 5 患者エージェントによるナビゲーション画面

Fig. 5 Screenshot of the user navigation of a Patient Agent.



図 6 壁埋め込み型コンピュータによる患者誘導

Fig. 6 A Patient Agent running on a wall-mounted computer near from its patient.

ある。これらにかかる時間を含めたユーザレベルでの応答時間を測定したところ、約 1,100 msec であった。

FollowingSpace では、ユーザ、サービスをそれぞれモバイルエージェントとして表現する。移動するユーザの情報そのものをモバイルエージェントとしてコンピュータ間移動させるため、実世界の自然なモデリングとなっている。よってユーザに関する記述は UA に、サービスに関する記述は SA に完全に分けることができ、ロケーションアウェアかつユーザアウェアなシステムの記述が容易に行えた。また、サービスの提供自身はローカルホスト上のエージェント間通信として行われるため、ネットワークを意識した記述は必要なかった。

次に FollowingSpace における位置情報管理手法について考察する。ホストの物理的位置情報に関しては、システム起動時に登録を行った。DSA の機能により、他のホストのホスト情報は動的に再構成されるため、

システム全体の位置情報の管理を行う必要はなかった。このため、ホストやサーバ X の追加などシステム拡張の際、特別な処理はまったく必要ない。また、ユーザの位置センシングシステムとしては CCD カメラを用いたが、CCD カメラ固有の処理は SA であるカメラエージェントにすべて隠蔽されている。異なる位置センシングシステムも同様にエージェントとしてモデル化することで統合利用が可能となると考えられる。

最後に FollowingSpace の有効性について議論する。本研究の最終目標は病院やオフィスなどのビル内だけでなく、街中など数多くの人々が集まる環境にも対応することにある。よって、利用者数が増えた場合のボトルネックを避けるため、特定サーバなどにおいて、ユーザデータを集中的に管理すべきではなく、ホストどうしの相互の連携によりシステムを維持することが望ましい。また、ユーザ位置に基づくサービスは本論文で示した道案内システム以外にも多様な応用が今後登場すると思われる。したがって、初期に想定した用途だけでなく、様々な用途に利用できることが望まれる。本研究では、UA だけでなく、SA や DSA などモバイルエージェントにより実装されていることから、これらのエージェントを入れ替えることにより、新たな機能を導入することができる。たとえば現在の実装では、UA はサービス名を DSA に送り、その名前に関連付けられた SA を DSA から受け取っているが、今後 XML などによるサービスのメタ記述が可能になった場合は、そのメタ記述に対応した DSA を各ホストに移動させることにより容易に拡張することができる。

5. 関連研究

本章では関連研究について述べる。ユビキタスコンピューティング環境において個人ユーザに特化したサービスを提供するシステムを取り上げ、FollowingSpace との差異を議論する。

AT&T および Cambridge 大学の Sentient Computing¹²⁾ は赤外線または超音波タグによりユーザの識別と位置認識を行いながら各種サービスを提供するものである。特に VNC¹³⁾ を利用して、あるユーザのソフトウェアをそのユーザの近くのコンピュータに転送することにより、FollowingSpace と同様、コンピュータを保持しないユーザ個人に特化したサービスを提供することができる。しかし、VNC はサーバ上で実行されるソフトウェアのデスクトップ画像データを遠隔コンピュータに転送する方法であることから、ユーザが移動してもそのユーザに対応したソフトウェ

アは 1 つのサーバ上で実行される。この結果、通信コストが大きくなり GUI において必須となる応答性に問題が生じる。また、ユーザ数が多くなるとサーバがボトルネックとなるなどスケーラビリティに乏しい。一方、FollowingSpace は集中管理を仮定せず、またユーザに対応したエージェント自体がつねにユーザの近くのコンピュータに移動することから、通信遅延などの影響が少ない。

なお、同大学は CORBA にオブジェクト移動機能などを付加し、オブジェクトのライフサイクルとロケーションを管理する LocALE システムを提案している。これにより、FollowingSpace と同様にユーザの移動とともにそのユーザにサービスを提供するオブジェクトをユーザとともに移動させることができる。ただし、システム自体はロケーションアウェア性を持っておらず、またオブジェクトも CORBA 上のオブジェクトを基本としているため、ユビキタスコンピューティングのようにコンピュータの計算能力に制限が多い場合、十分に対応できるとはいえない。また、ハードウェアや OS が相違するプラットフォーム間では移動が困難である。

Bates ら¹⁴⁾ ではユーザ追従型アプリケーションの実現方法として、本研究と同様にユーザ移動とともにプログラム移動を行っている。しかし Bates らはマルチメディアアプリケーションを前提にしており、さらに移動対象は Scheme プログラムによるユーザインタフェース部分となり、アプリケーション全体の移動は考慮していない。また、ユーザ移動時にプログラムをどのホストに移動させるかなど、物理空間とネットワーク空間との関連付けは示されていない。一方、本論文の枠組みは実装に Java 言語を利用することによって、広範なプログラムを移動させることができ、さらにユーザ位置とコンピュータ位置の空間的な関係を考慮している。

NetChaser¹⁵⁾、f-Desktop¹⁶⁾ は移動ユーザをサポートするため、デスクトップ環境の移送を実現するモバイルエージェントの研究を行っている。NetChaser はユーザの移動後も移動前のネットワーク環境を透過的に利用できるようにすることを目的としている。モバイルエージェントは各ユーザプロファイルを保持し、メールやブラウザなどの個人特化プロキシとなるが、汎用的なアプリケーションには対応していない。f-Desktop も同様であるが、エージェントがユーザの移動に追従するのではなく、ユーザがエージェントを呼び出すことにより、エージェント移動のタイミングや移動先を指定する方式を採用している。どちらもロ

ケーションウェアなサービスは考慮していない。

このほか、ユビキタスコンピューティングを前提にした移動ユーザ補助システムとして、EasyLiving¹⁷⁾、CoolTown¹⁸⁾がある。EasyLiving は部屋単位での知的情報環境の構築を提案している。これはコンピュータビジョンを用いてユーザ位置を把握しながらサービス内容を変更する枠組みである。ただし、特定のデータベース上で集中管理することが前提となっており、またオブジェクトやエージェントの移動性は提供しない。また、CoolTown は人、物、場所と Web 空間とを連動させるものであり、場所に応じたサービスを提供することができるが、各ユーザが PDA などの端末を携帯することが前提となっている。さらに提供されるアプリケーションも Web ブラウザ上のものに限られる。

6. おわりに

本研究ではユーザ追従型モバイルエージェントフレームワーク FollowingSpace の提案を行った。これは、ユビキタスコンピューティング環境における、移動するユーザへのサービス提供方法として、ユーザの移動を追従しながらネットワーク上を移動するモバイルエージェントを導入するものである。位置センサからの情報をもとに、ユーザ位置とその周辺に位置するコンピュータを特定し、そのユーザに対応したエージェントをユーザの近傍にあるコンピュータに移動させてサービス提供を実現する。また、アプリケーションとして病院内で患者に追従し道案内を行うシステムを構築し、FollowingSpace の有効性の検証を行った。このシステムは CCD カメラにより患者の移動を認識し、院内各所に設置されたディスプレイとスピーカにより患者の誘導を行うものである。

最後に今後の課題を述べる。現在は位置センシング手法として CCD カメラによる画像認識を利用しているが、今後は RF タグなどの多様な位置センシング技術にも対応する必要がある。また、ユビキタスコンピューティングにおける計算環境は多様であるため、ユーザとともに移動するエージェントが実行されるコンピュータは均一ではない。このため移動先コンピュータの特性記述が必要であり、その方法として CC/PP¹⁹⁾を利用した方法を検討している。また、エージェント自体にも動的適応性を導入して移動先コンピュータに最適化させる方法が要求される。

謝辞 本研究の一部は日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業の補助を受けて行われ、慶應義塾大学大学院理工学研究科、国立情報学研究所の多くの方によ

り進められてきた。ここに感謝する。

参考文献

- 1) Weiser, M.: The Computer for the Twenty-First Century, *Scientific American*, 265, Vol.3, pp.94-104 (1991).
- 2) Tennenhouse, D.: Proactive computing, *Comm. ACM*, Vol.43, pp.43-50 (May 2000).
- 3) Rhodes, B.J., Minar, N. and Weaver, J.: Wearable Computer Meets Ubiquitous Computing: Reaping the best of both worlds, *Proc. 3rd International Symposium on Wearable Computers*, pp.141-149 (1999).
- 4) Haahr, M., Cunningham, R. and Cahill, V.: Supporting CORBA Applications in a Mobile Environment, *Proc. International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBI-COM'99)*, pp.36-47 (1999).
- 5) Maass, H.: Location-Aware Mobile Applications based on Directory Services, *Proc. International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM'97)*, pp.157-173 (1997).
- 6) 谷澤佳道, 佐藤一郎, 安西祐一郎: ユーザ追従型モバイルエージェントのナビゲーション機構, 日本ソフトウェア科学会第 17 回大会 (2000).
- 7) Tanizawa, Y., Satoh, I. and Anzai, Y.: A Mobile Agent-Based Framework to Support Personal Mobility, *Proc. 2nd International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking & Parallel/Distributed Computing (SNPD01)*, pp.144-151, the International Association for Computer and Information Series (2001).
- 8) Hightower, J. and Borriello, G.: Location Systems for Ubiquitous Computing, *IEEE Computer*, Vol.34, No.8, pp.57-66 (2001).
- 9) 佐藤一郎: AgentSpace: モバイルエージェントシステム, 第 7 回マルチ・エージェントと協調計算ワークショップ (MACC'98) (1998).
- 10) 谷澤佳道, 佐藤一郎, 安西祐一郎: モバイルエージェントの実世界応用と携帯端末の利用, 情報処理学会第 103 回マルチメディア通信と分散処理研究会 (2001).
- 11) 岩野雅俊: 複数台 APS カメラを用いた人体追跡, 慶應義塾大学大学院理工学研究科計算機科学専攻修士論文 (2000).
- 12) Harter, A., Hopper, A., Steggeles, P., Ward, A. and Webster, P.: The Anatomy of a Context-Aware Application, *Proc. International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM'99)*, pp.59-68 (1999).
- 13) Richardson, T., Stafford-Fraser, Q., Wood, K.R. and Hooper, A.: Virtual Network Com-

- puting, *IEEE Internet Computing*, Vol.2, No.1, pp.33–38 (1998).
- 14) Bates, J., Halls, D. and Bacon, J.: A Framework to Support Mobile Users of Multimedia Applications, *ACM Journal on Mobile Networks and Applications*, Vol.1, No.4, pp.409–419 (1996).
- 15) Di Stefano, A. and Santoro, C.: NetChaser: Agent Support for Personal Mobility, *IEEE Internet Computing*, Vol.4, No.2, pp.74–79 (2000).
- 16) Takashio, K., Soeda, G. and Tokuda, H.: A Mobile Agent Framework for Follow-Me Applications in Ubiquitous Computing Environments, *International Conference on Distributed Computing System Workshop*, pp.202–207 (2001).
- 17) Brumitt, B., Meyers, B., Krumm, J., Kern, A. and Shafer, S.: EasyLiving: Technologies for Intelligent Environments, *Proc. 2nd International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing*, pp.12–27 (2000).
- 18) Pradhan, S., Brignone, C., Cui, J-H., McReynolds, A. and Smith, M.T.: Websigns: Hyperlinking Physical Locations to the Web, *IEEE Computer*, Vol.34, No.8, pp.42–48 (2001)
- 19) World Wide Web Consortium (W3C): Composite Capability/Preference Profiles (CC/PP) (1999). <http://www.w3.org/TR/NOTE-CCPP>

(平成 14 年 3 月 25 日受付)

(平成 14 年 10 月 7 日採録)



谷澤 佳道 (正会員)

平成 12 年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。平成 14 年同大学大学院理工学研究科開放環境科学専攻前期博士課程修了。現在、株式会社東芝勤務。通信ソフトウェアに関する研究開発に従事。



佐藤 一郎 (正会員)

平成 3 年慶應義塾大学理工学部電気工学科卒業。平成 8 年同大学大学院理工学研究科計算機科学専攻後期博士課程修了、博士(工学)。同年お茶の水女子大学理学部情報科学科助手、平成 10 年同学科助教授。平成 13 年より国立情報学研究所助教授。分散システムの研究に従事。IEEE, ACM 各会員。



安西祐一郎 (正会員)

昭和 49 年慶應義塾大学大学院博士課程修了。昭和 63 年より慶應義塾大学理工学部教授。平成 13 年より慶應義塾長。この間昭和 56~57 年カーネギーメロン大学客員助教授。計算機科学、認知情報処理過程の研究に従事。工学博士。電子情報通信学会, 日本認知科学会, ACM, IEEE 等会員。