

アドホック環境のためのマルチエージェントプラットフォーム Pervagent

新 留 憲 介[†] 渡 辺 亮^{††} 田 辺 克 宏^{††}
中 塚 康 介[†] 林 田 尚 子[†] 八 楨 博 史[†]

利用者の携帯端末の上で動作し、利用者の周囲の環境に関する情報をもとに、その時その場所に
応じた行動のプランを利用者に対して提示することによって、時々刻々と変化する状況に応じた行動
支援を提供できるエージェントシステムの開発について述べる。周囲から得られる時・場所・状況等
によって変化する情報に基づいて、適切に情報を選択、プランを生成し、プランの提示を行うための
アーキテクチャについて考察を行い、利用者から入力や行動の観察をもとにプラン生成を制御する構
成を提案する。また、これに基づいて構築したエージェントプラットフォーム Pervagent とその応用
についても述べる。

Pervagent: A Multiagent Platform for Ad-hoc Environment

KENSUKE SHINDOME,[†] RYO WATANABE,^{††} KATSUHIRO TANABE,^{††}
KOSUKE NAKATSUKA,[†] NAOKO HAYASHIDA[†] and HIROFUMI YAMAKI[†]

This paper describes the development of an agent system which supports user's activity by
proposing action plan generated ad hoc based on dynamically changing information about
surroundings. The architecture for an agent to select necessary information to generate plans
needed by the user at the time is proposed, where the agent controls the planning based
on the input from user and the observation of user behavior. Pervagent, an agent platform
implemeted based on the above architecture, and its application are also presented.

1. はじめに

近年、ユビキタス環境あるいはパーベイシブコン
ピューティングなどに代表されるように、街中など公
共のスペースにおいて人々が情報システムからのサー
ビスをうけられる環境が整いつつある^{1),2)}。そのよう
な環境で、利用者の移動や活動目標の変化などに応じ、
利用可能な情報・サービス・デバイスを適切に選択し、
利用者の行動支援を行えるような枠組の実現により、
街での行動をより豊かにするような環境のが望まれて
いる^{3),4)}。

本研究では特に、利用者の携帯端末の上で動作し、
利用者の周囲の環境に関する情報をもとに、その時そ
の場所に応じた行動のプランを利用者に対して提示す
ることによって、時々刻々と変化する状況に応じた行
動支援を提供できるエージェントシステムの開発をめ

ざす。ここでは、時・場所・状況等によって周囲から
得られる情報に基づいて利用者支援系が適切に行動選
択を行う必要がある環境を、アドホック環境と呼ぶ。
アドホック環境において適切に情報を選択、プランを
生成し、その時点で利用者にとってもっとも有益なプ
ランの提示を行うための方式について考察を行った。

エージェントは、自らが保持する利用者に関する行
動目標や制約に関する情報と、周囲からうけとった諸々
の情報をもとに利用者がとるべき行動プランを生成す
るプランをもつ。これをもとに利用者に対する行動プ
ラン提示を行うが、単純にプランを提示すればよいも
のではなく、生成されたプランをわかりやすく提示す
ることが必要であり、また利用者の意図と異なる提示
が行われた場合には、利用者からの直接入力やあるい
は利用者行動の観察に基づいて、適宜プランの動作を
制御し、新たな提案を行っていく必要がある。

本稿ではそれらの考察にもとづいて、アドホック環
境において利用者をサポートするエージェントのアー
キテクチャに関する提案を行う。

続いて、そのアーキテクチャに基づいて構成したエー
ジェントプラットフォーム Pervagent に関し、特に

[†] 京都大学大学院情報学研究所社会情報学専攻
Department of Social Informatics, Kyoto University
^{††} 京都大学工学部情報学科
School of Informatics and Mathematical Science in Fac-
ulty of Engineering, Kyoto University

エージェントがアドホック環境において周囲から受けとるべき記述と、それをを用いたプランニングに関して述べる。最後に、Pervegent 上に構成した避難誘導デモについて説明し、本研究で提案するアーキテクチャによって、アドホック環境における利用者支援が行われるかを示す。

2. アドホック環境におけるユーザ支援

2.1 アドホック環境

本研究においては、街中のショッピングゾーンや公共の施設の中などの開放型の空間において、近年普及がすすむパーベイシブコンピューティング環境が提供される状況を想定している。このようなオープンな情報環境の特徴として、常に変化すること、予め状況を知ることができないことなどが挙げられる⁵⁾。このように、刻々と変化し、その時々利用可能な情報やサービスをもとにした行動決定がもためられる環境を、我々はアドホック環境と呼ぶ。

利用者は、アドホック環境において様々なサービスを受けることができる。しかしながら、その環境において用意されているサービスやデバイスを予め知ることができず、その場所を訪問して初めて情報を所得することができ、そこから利用可能なサービスを選択しなければならない。本研究においては、利用者に必要なサービスの組み合わせを多くの中から選択するのを支援できるよう、利用者が所持する携帯端末においてエージェントを動作させることを想定する。

エージェントは、単に周囲からの情報を集約するだけでなく、利用者のもつコンテクスト、具体的には利用者がその場所にいる目的や利用者を取りうる行動に関する情報、および利用者の行動履歴を保持し、それらと外部からの情報をもとにして利用者の行動のプランを提示する。

これにより、たとえばそのデバイスと周囲に存在するデバイスが短距離無線を通じて通信することで、その空間のサービスについての情報を伝播させることができる。そこで、デバイスにおいてエージェントを動作させる。想定する例として、ユーザの買物を考える。利用者には買いたい商品のリストがあり、フロアには商品の配置情報があるので、その商品のコーナーへ誘導する。また、観光案内の例を考えると、ユーザは先程まで訪問してきた観光地のコンテクストがあり、近くの観光情報を取得することで次の場所を案内できる。

外部から得られる情報やサービスは利用者の移動や時間の経過に伴って変化する。また、利用者に関する情報も利用者行動に従って変化していく。それだけでな

く、利用者の行動目的も当然ながら変化していく。また解放型空間においては、エージェントがあらかじめ存在しうる外部の情報やサービスについて全てを知っておくことは困難であり、そのことから、その時その場所で得られた情報から、その時の利用者の行動目標にあわせた支援を行うための機構が必要となる。

2.2 アドホック環境における行動支援のためのエージェント構成

本研究で検討したエージェントアーキテクチャを図1に示す。

中央の長方形が利用者端末上のエージェントを表す。エージェント内にはフィルタ、プラナ、ユーザインタフェース、実行モニタ、およびエージェントコアの各モジュールから構成され、さらに利用者の行動履歴やとりうる行動に関する情報が蓄積されている。

アドホック環境を想定しており、周囲に存在する情報機器との短距離無線通信や、あるいは端末自身がつ広域ネットワークとの接続を通じて情報が入ってくる(1)。これらエージェント外部からの情報は多くの場合利用者の周辺に関する情報、たとえば駅の構内であればその駅の構造やそこに存在する各種のサービスについての情報であることが期待されるが、必ずしも利用者の行動目的に沿ったものである必要はない。

これら周囲から集められた情報と、携帯端末内に保持された利用者個人の情報 (User Profile)、およびエージェントコアによって推定された利用者の行動目標から、実際に利用者のための行動プラン作成に使用する情報を選択する。これを行うモジュールがフィルタ (Filter) である。これら選択された情報は、達成すべきゴールとともに、プラナ (Planner) に送られる (2)。

プラナにおいては、入力された情報をもとに利用者提案すべき行動プランが生成される。ここで注意すべきなのは、生成されるプランはあくまでも人間である利用者の行動の計画だということである。従って、生成されたプランは利用者に対して説明可能なものである必要がある。

生成された行動プランはユーザインタフェース (UI) と実行モニタ (Execution Monitor) に送られる (3)。ユーザインタフェースでは、行動プランを利用者が把握しやすい形、たとえば音声や画像などを用いて利用者に提示する (4)。

ここで提示された行動プランは、あくまでもエージェントが利用者に対して行う提案にすぎず、利用者がそれに従う必要はなく、むしろ提案された内容が利用者が本来もっている意図とはかけはなれていることが想定され、その場合プランに使用すべき情報やゴー

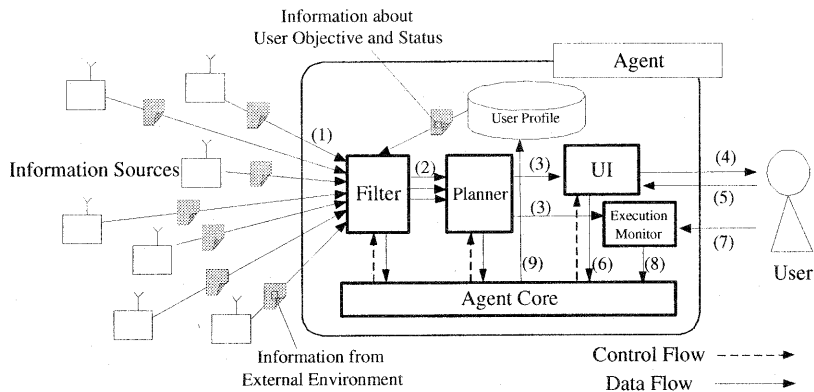


図1 アドホック環境における利用者支援エージェントの構成

ル設定を変更して対応する必要がある。

これについて、本研究では以下でのべるような2種類のアプローチをとる。ひとつは利用者からの直接入力による訂正である。利用者がユーザインタフェースに対して目標や利用すべき情報に関する訂正や補正を入力し(5)、ユーザインタフェースはエージェントコアに対して補正を通知する(6)。

もうひとつは、エージェントが利用者の行動を観察することにより行う訂正である。ここで考えるエージェントは利用者の携帯端末上に存在するため、たとえば位置情報などのセンサを用いることによって、利用者の行動をある程度継続的に観察することが可能である⁶⁾。得られた利用者行動と提示している行動プランとの比較を行うことによって、提示したプランを利用者がうけいれているかどうかを推定できると考えられる。実行モニタではセンサ入力による利用者行動の観察を行い(7)、プランから送られた行動プランとの比較により、利用者の行動が行動プランに沿っているかどうかの判定を行い、訂正が必要ならばその内容をエージェントコアに送る(8)。

ここまで述べたエージェントの動作を実際に制御するモジュールがエージェントコアである。各モジュールの動作状況や、上記の利用者からの入力および利用者の観察結果等から、フィルタで選択すべき情報の制御、プランの実行、ユーザインタフェースの動作制御を行う。また、利用者の行動から得られた利用者に関する情報については、以後のプランニングの入力として用いるため、利用者プロフィールとして保存する(9)。

このように、外部環境からあるいは内部に保持された情報から適切なものを選択、それによるプランを提示、利用者の行動からのプラン生成の変更を対話的にくりかえすことにより、エージェントは利用者の現在

状況に即した利用者支援を行うことができると考えている。

3. アドホック環境のためのエージェントプラットフォーム

3.1 Pervagent

上記の考察に基づき、アドホック環境のうち特に、環境に存在する各デバイスが短距離無線を通じて連携するパーベイシブコンピューティング環境を想定して、利用者を支援するエージェントを構成するためのプラットフォームとして Pervagent と呼ばれるシステムの開発を行なった。

パーベイシブコンピューティング環境では、利用者の移動にともなって、通信可能圏内に存在するデバイスが時々刻々変化する。そのような変化をエージェントに伝えるため、通信ノードである各デバイスにひとつずつノードマネージャと呼ばれるモジュールを置き、変化を常に監視する構成をとっている。また、現行の実装では、短距離無線機構としては Bluetooth を採用している。

Pervagent においては、利用者の携帯端末上のエージェントをはじめとして、環境内にあるデバイスなどの上にもエージェントがいるというモデル化を行い、システム全体をマルチエージェントシステムとして構築するアプローチをとっている。以下では、混同を避けるため、利用者の携帯端末上のエージェントを利用者エージェント、それ以外の、環境内あるデバイス上に存在し、環境に関する情報を提供するエージェントを環境エージェントと呼ぶこととする。

利用者エージェントが情報をうけると手順は現状では極めてシンプルなものとなっている。利用者の移動に伴い、利用者エージェントと環境エージェントとが

```

<?xml version="1.0"?>
<description>
  <service> <==== (A)
    <preconds> <==== (B)
      place place1
      ...
      stair place8 place9
      path place8 place6
      ...
      path place5 exit-a
    </preconds>
    <operators> <==== (C)
      move-path ?person ?place1 ?place2
      ..
      person ?person
      place ?place1
      path ?place1 ?place2
      ...
    </operators>
    <preconds> <==== (D)
      person me
      at me place5
    </preconds>
    <postconds> <==== (E)
      at me exit-a
    </postconds>
    <place> <==== (F)
      place5
    </place>
  </service>
  <event>
    <type>init_response_scenario_send</type> <==== (G)
  </event> <==== (H)
  <terminal>
    <name>e5</name> <==== (I)
    <address>192.168.0.1</address> <==== (J)
    <port>10015</port>
  </terminal>
</description>

```

図 2 環境記述の例

通信可能となると、環境エージェントは自分のもつ情報を利用者エージェントに送信する。ここで、環境エージェントのもつ情報を環境記述と呼ぶことにする。

以下では、Pervagent における環境記述と、それを用いたプランニングについて説明する。

3.2 環境記述

環境エージェントは環境記述を所持しており、利用者エージェントはこれを集めることで周囲の環境について知ることができる。想定するアドホック環境においては各主体ごとに必要な情報が異なり、その内容も多様である。このため、サービス記述は多種多様なエージェントが統一的に扱うことができるようポータビリティのある記述が望ましい。そこで、エージェントのサービス記述として XML を用いる。

環境記述の例として、後で述べるアプリケーションで用いた環境側にあるデバイスの環境記述を挙げる。

環境の環境記述の例を図 2 に示す。この環境記述は、アプリケーションにおいて“e5”(J)と名前のつけられた環境エージェントが所持する環境記述である。

基本的な要素として“service”と“event”と“terminal”がある。“event”要素の“type”要素(G)の種類により、この環境記述の内容が判別される。“service”は環境エージェントのもつサービスに関する記述であり、プランナの入力となる。“terminal”要素(I)は、環境記述を送信したエージェントのアドレスを記載する。この環境記述において、“service”要素(A)にある記述は、デバイスが存在する場所から他の場所へ至る経路に関する記述となっている。

“precond”(B,D)，“operator”(C)，“postcond”(E)とあるのは、プランナへの前条件、オペレータ、目標条件である。“postcond”(E)にて指定されている場所は、デバイスのある場所5から一番近い出口の条件である。

利用者エージェントがこの環境記述を受信すると、“event”要素の“type”要素(G)から送信依頼の返信であることが分かり、“service”要素(A)の前条件、オペレータ、目標条件を取得する。利用者の目的と合わせた上で目標状態を設定する。通常であれば利用者の目的を目標状態にするが、アプリケーションによっては環境側の目標状態を設定することになる場合もある。

このような環境記述により、エージェントは周囲の状況の変化を取得して、利用者に提示すべき行動プランを生成するためプランニングを行う。

3.3 プランニング

すでに述べてきたように、アドホック環境では利用者が移動するなどの要因により、その時・場所において初めて利用可能な情報やデバイスが決まるので、それぞれの場所において、その場所に特有の環境記述を集めることにより、その状況から可能な行動プランを生成する。

Pervagent でも、収集された環境記述からフィルタが適切な情報を選択し、それを用いてプランナが行動プランを生成し、ユーザインタフェースを通じて利用者の行動支援を実現している。

現段階の実装においては、プランナモジュールとしては線形プランナを採用している。集めた環境記述をフィルタにより選別し、その結果について XML から PDDL への変換を行い、しかる後に既存の線形プランナである Blackbox⁷⁾ へ入力することによってプランの生成を行っている。

線形プランナの適用に関してはあくまで実験的なものであり、今後も検討をすすめる必要がある。本研究の枠組においてプランニング機構に要求されるのは、主に(1)利用者に理解可能なプランを生成できること、(2)外部から得られた環境記述や利用者のプロフィールなど複数の情報を統合して扱えること、である。この他、

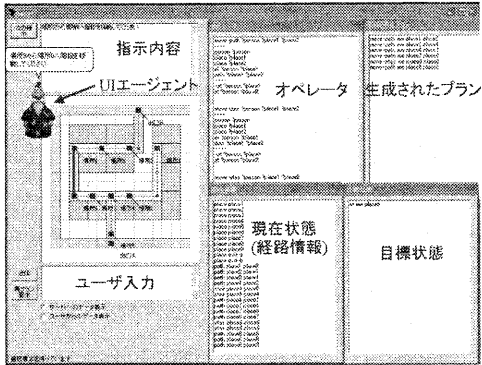


図3 ユーザインタフェース

アドホック環境では利用者の行動決定に本来ならば必要な情報が欠落することなどが想定されるが、それに対応するため、プランの成立に必要な条件を現状で与えられていない条件を利用者に示すことで、利用者の行動決定を支援する枠組についても考察をすすめる予定である。

4. 避難誘導アプリケーションの構築

アドホック環境における利用者支援に関する問題抽出のため、システムのアプリケーションとして、建物内からの避難誘導を想定したデモアプリケーションの構築を Pervagent 上で行った。災害時における避難においては、建物ごとの防災計画をもとに、避難する各人が、自分の役割等にあわせて行動を選択する必要がある。これを以上で述べてきたアドホック環境による利用者行動支援と重ね合わせると、

- 利用者エージェント：各利用者のもつ役割（一般、連絡係など）や利用者のとりうる行動（例：足の怪我などで階段を使いづらい、など）に関する情報を保持する。
- 環境エージェント：建物固有の防災計画、建物の構造、現在の出火状況など。

のようになる。

デモアプリケーションで用いたユーザインタフェースの概要を図3に示す。画面の左半分がユーザインタフェースであり、右半分はプランの実行の内部状態を表している。ユーザインタフェースのウィンドウの一番上のフォームはユーザへの指示をテキスト表示している。中部のフォームは避難経路を地図で表示しており、案内している経路は太い線で強調され、点滅して表示している。一番下のフォームはユーザからの入力を受け付ける。ここには再プランを要求するボタン

などがあり、またフォームでは直接サービス記述を入力して送信できるようになっている。MS Agent により、ユーザに対して音声とテキストによる案内も行われる。右のプランのウィンドウは、エージェントが実行しているプランにおける実行の内部状態である。オペレータと現在状態は、環境側のサービス記述から得たプランの入力であり、それらから生成されたプランが右上にある。目標状態は現在設定している目標地点を表している。

以下では、上述の機構がこのような状況でどのように動作するかを、デモシステムの動作を追うことにより説明する。

4.1 実行例

環境記述を提供するデバイスとして、その場所に設置された情報端末を想定する。内容としては、その場所からの避難経路と、役割に応じた行動内容に関する情報である。避難経路に関しては、それぞれの地点から隣接地点までの移動経路が一つのオペレータとなっており、利用者が行う行動の一単位となっている。また、防災計画には通常の避難と同時に、主にその場の職員について通報避難班や警備班、通報連絡班などといった役割が記されていることが多い。本デモシステムでは、たとえば「放送班ならば(1)放送室で放送し、その後(2)出口に向かう」という内容の記述が行われる。

災害がおきた状況であるという観察から、エージェントコアが目標状態として避難を設定すると、これらの環境記述とエージェントが持つ利用者に関する情報とをフィルタで選別し、避難における行動プランの生成を開始する。

利用者エージェントは、利用者に役割がなければ、環境側に記述された一番近い出口を設定する。一方、もし利用者のプロフィールに放送班とあれば、上述の環境記述にもとづいて目標に放送室を設定する。利用者は初期位置からスタートし、その位置にある端末上の環境エージェントから環境記述を得る。この環境記述には、たとえば最も近い出口は出口Aであることが記されているが、利用者エージェントは利用者が放送班であることを利用者プロフィールから得るのでまず放送室への誘導を開始する。エージェントコアは、プランの入力としてのオペレータや条件をフィルタからの出力として受け取り、プランに入力してプランを行う。生成されたプランはユーザが移動すべき経路となっている。プランはユーザインタフェースに渡され、ユーザに案内を行う。エージェントはユーザが移動したことをこれが実行モニターである。

センサ情報としては、移動にともなって通信可能な環境エージェントが変化したことを用いる。放送室に到着した後は、その場所から最も近い出口がたとえば出口 B であることをその場環境情報から取得して、そこから出るようにユーザに案内する。

以上が通常の行動支援となるが、たとえば、放送室に向かう途中において、利用者が最寄りの出口 A へ向かって移動を開始したとする。これは利用者エージェントの提示したプランとは異なる行動である。これは実行モニタにより検出され、エージェントコアがこれに対応するための再プランニングを開始する。本システムにおいては、この挙動から利用者が放送班としての目標達成を放棄し、一般人としての目標(単に脱出する)に目標を変更したものとみなし、最寄りである出口 A への案内を開始する。

本デモシステムにおいては上記の行動はかなりの部分がハードコーディングによるものであり、環境変化に応じた柔軟な対応という目標を達するには至っていない。今後、上述のプランニング方式の検討と同期して、エージェントによる目標選択手法に関する検討が必要である。

5. おわりに

ユビキタス環境やパーベイシブコンピューティングの普及に伴い、街の中でも様々な手段によって情報へのアクセスが可能となりつつある中で、それらの情報を最大限に活用して利用者の行動支援を行うエージェントについて、本稿ではそのアーキテクチャの構成に関する検討を行った。

エージェントは利用可能な情報を選択するフィルタ、プランを生成するプランナ、利用者へのプラン提示と入力受けを行うユーザインタフェース、利用者行動とプランとのずれを検出する実行モニタ、およびそれらを制御し適切な利用者サポートを実現するエージェントコアからなる。

これらが連動することにより、刻々と変化する情報を集約し、利用者の行動プランを生成、利用者に提示することにより利用者支援を行う。また、利用者に提示したプランと、利用者実際の行動との乖離を検出することで、エージェントは利用者の目標の推定を行い、新たなプラン生成を行う。これをくりかえすことによって、利用者にとって有益な支援をエージェントが対話的に入る枠組の提案を行った。

また、これらの検討をもとに、マルチエージェントプラットフォームである Pervagent の実装を行い、その上で災害時の避難を想定したデモシステムを構築す

ることで、本研究で枠組の検証と問題抽出を行った。

すでに述べたように、現段階においては、アーキテクチャの提案にとどまっており、そこでもちいるべきプランニング方式や、エージェントによる利用者の行動推定などは今後の課題として残っている。本研究で考えるアドホック環境においては環境記述から得られる情報が不完全であることが容易に想定され、そのような状況でも適切な行動プランを提案できるような、柔軟かつ頑健なプラン生成方式の検討を行っていく予定である。

謝辞

本研究の実施にあたり、御指導御助言を賜わりました京都大学大学院情報学研究科社会情報学専攻の石田亨 教授に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Satyanarayanan, M.: Pervasive computing: vision and challenges, *IEEE Personal Communications*, Vol. 8, No. 4, pp. 10-17 (2001).
- 2) Garlan, D. and Sousa, J.: Aura: an Architectural Framework for User Mobility in Ubiquitous Computing Environments, *Proceedings of the 3rd Working IEEE/IFIP Conference on Software Architecture 2002* (2002).
- 3) Haigh, K. Z., Phelps, J. and Geib, C. W.: An open agent architecture for assisting elder independence, *Proceedings of the first international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems: part 3*, ACM Press New York, NY, USA, pp. 578-586 (2002).
- 4) Ishida, T.: Digital City Kyoto: Social Information Infrastructure for Everyday Life, *Communications of the ACM*, Vol. 45, No. 7, pp. 76-81 (2002).
- 5) Raja, A., Lesser, V. and Wagner, T.: Toward robust agent control in open environments, *Proceedings of the fifth international conference on Autonomous agents*, pp. 84-91 (2000).
- 6) Pentland, A.: Looking at People: Sensing for Ubiquitous and Wearable Computing, *IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE*, Vol. 22, No. 1, pp. 107-119 (2000).
- 7) Kautz, H. and Selman, B.: BLACKBOX: A New Approach to the Application of Theorem Proving to Problem Solving, *Working notes of the Workshop on Planning as Combinatorial Search, held in conjunction with AIPS-98* (1998).