実世界指向分散ヒューマンインタフェースシステムのための マルチエージェント・インタフェースアーキテクチャ

岩倉 裕子[*]，白石 陽[†]，中内 靖[‡]，安西 祐一郎[§]

概要

本論文ではユーザの行動の不確実性に対応した実世界指向分散ヒューマンインタフェースシステムAIDA(Architecture for Interfacing Distributed Agents) を提案する．AIDA は移動ロボット，計算機など，分散インタフェースの構成要素をエージェントとしたマルチエージェントモデルに基づいており，エージェント間の協調によりユーザの位置の不確実性への対応を可能としている．また，各エージェントを確信度を利用した行動ベースアーキテクチャに基づいて設計することにより，ユーザの注意の向きの不確実性への対応を可能としている．さらに本論文では，AIDA を用いて研究室案内システムを設計・実装し，実験により AIDA の有効性を確認した．

abstract

In this paper, we propose a real-world oriented distributed human interface system named AIDA. (Architecture for Interfacing Distributed Agents) AIDA supports human activities in a real-world (i.e. in offices, in houses) without restricting user's physical activities. AIDA is based on multiagent model in which each interfacing element (i.e. mobile robots, workstations) cooperates with each other for providing context-awared support to a user. An agent is constructed by a set of behavior modules for providing reactive responses to a user. Also, with AIDA, the system can adapt to the uncertainty of user's position and the user's attention that may change as time passes. We developed a laboratory guiding system based on AIDA. And we have confirmed the efficiency of AIDA by experiments.

1 はじめに

近年, 計算機の高速化ならびに計算機ネットワークの発展にともない，電子化された情報を共有・伝送するなどして人間の共同作業を支援するシステムが活発に開発されている．しかしながら，例えば文書の作成では，作成した文書を郵送しようとすると，文書をプリンタから印刷した後に，封筒を探し，切手を探して投函する必要がある．計算機，プリンタ，封筒，切手などの置き場所が離れている場合 (図 2参照)，計算機の前からプリンタの設置場所に移動したユーザに，プリンタ近くの計算機が封筒の所在をアドバイスし，さらに封筒の引出し近くの計算機が切手の所在をアドバイスしたり，場合によっては移動ロボットが誘導するなど，ユーザを取り巻く環境全体が，移動するユーザを連続的かつ適切に支援できることが望まれる．

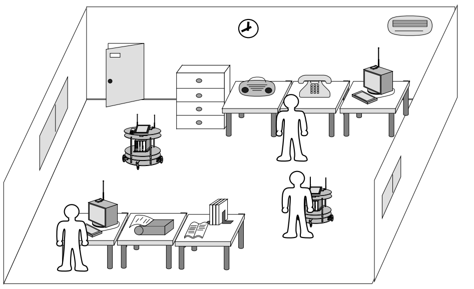

図 1: 実世界指向分散ヒューマンインタフェースシステムの概念図

このような支援を可能とするインタフェースシステムを構築するためには，システムは以下の側面を具備する必要があると考えられる．まず，実世界を移動するユーザと任意の場所でインタラクションを行なうことのできるように，システムの構成要素 (インタフェース) を環境に分散させた実世界指向分散HIS (Human Interface System) であることが望まれる．また，実世界において移動するユーザの活動を妨げないよう，システムからユーザへの情報の提示において携帯端末などの携行を仮定しない，非拘束型 HIS であることが望まれる．

特に分散 HIS を非拘束型で実現するためには，環境内を移動するユーザの位置を検出し，ユーザの位置ならびにそれまでシステムとユーザがインタラクションを行なった履歴などのコンテキスト (以下，単にコンテキストと呼ぶ) を考慮した適切な対応ができる必要がある．この際，センサから取得される情報には不感領域ならびに不確実性が含まれるためユーザを見失う場合がある．そこで，位置的に固定されたセンサによりユーザが検知された場合に，そのユーザに対応できるだけでなく，インタフェース自身が

---

[*] 慶応義塾大学大学院理工学研究科

[†] 慶応義塾大学大学院理工学研究科

[‡] 防衛大学校機械工学教室

[§] 慶応義塾大学理工学部

能動的に移動でき，見失ったユーザを探索したり誘導できることが望まれる．このように，分散HISはユーザの位置の不確実性に対応できる必要がある．また，あるインタフェースがその正面に現れたユーザにインタラクションを行なっているつもりが，途中でユーザの注意が他に向けられて，インタフェースが提示する情報をユーザが見ていない，あるいは聞いていない場合が考えられる．このような場合，システムがユーザの注意の有無を判断でき，注意が失われている場合にはユーザに注意を喚起できることが望まれる．このように，分散HISはユーザの注意の向きの不確実性に対応できる必要がある．以上に述べた実世界指向分散HISの要件を表1にまとめる．

表1: 実世界指向分散HISの要件

1. 非拘束型であること
2. コンテキストの考慮
3. ユーザの位置の不確実性への対応
4. ユーザの注意の向きの不確実性への対応

一般に，実世界指向インタフェースは環境にインタフェースを分散させる遍在型によるアプローチとユーザが何らかの装置を装着する携帯型によるアプローチの二通りがある．また携帯型によるアプローチはさらに，携帯端末を保持する携帯端末型と眼鏡のように装着するウェアラブル型に分類される[1]．携帯端末型ではNaviCam[2]ならびにCyberguide[3]などが提案されており，これらのシステムではユーザが確実に携帯端末を持ち歩くがゆえに，ユーザの位置をより確実に把握でき，またユーザが現在何に興味を示しているのかなどユーザの注意の向きを明示的に入力してもらえるなどの利点がある．しかしながら，携帯型端末を常時携行することは，実世界において移動し，両手を使って作業を行なうユーザの自由な活動を阻害する欠点がある．一方，ウェアラブル型としてVu-MenuならびにNavigator[4]などが提案されているが，現状ではヘッドアップディスプレイならびに腰にコンピュータを装着することになっている．将来，遍在型と端末型のどちらのデザインがユーザに受け入れられるか議論のあるところであるが，本研究では実世界におけるユーザの行動を束縛しないこと，またユーザに特別な装置の装着を課さないとが重要であると考え，遍在型システムにより実現することとした．

一方，遍在型によるアプローチとしてUbicomp (Ubiquitous Computing)[5, 6]という概念が提案されている[1]．この概念のもと，部屋にノート型端末装置，黒板大のディスプレイなどを配置し，これらの間での情報共有を実現したシステムが作成されている[6]．コンテキストの考慮に関してはUbicompならびにCyberguideにおいて，システムがユーザ行動の履歴を保持し，システムがその情報を参照してユーザに応対することを可能としている．しかしながらこれらのシステムでは，センサの不感領域にいるユーザを能動的に探して支援を行うようなユーザの位置の不確実性への対応，ならびにシステムが提示する情報に興味を失ったユーザに対して，積極的に働きかけるようなユーザの注意の向きの不確実性への対応については考慮されていない．

そこで本研究では，様々なセンサを取り付けた，複数の計算機ならびに移動ロボットを環境内に分散配置し，非拘束的に[2]ユーザならびに実世界の情報を能動的に取得させ，また，これらをネットワークを介して協調させることにより，移動するユーザとのインタラクションを可能とした実世界指向分散HISを提案する．

本論文の構成は以下の通りである．まず第2章にて実世界指向分散HISのためのシステムアーキテクチャAIDA (Architecture for Interfacing Distributed Agents)を提案する．第3章ではAIDAに基づいて作成した，計算機ならびに移動ロボットによる研究室案内システムを紹介する．さらに第4章ではAIDAの有効性を検証するために行った，研究室案内システムを用いた実験について説明し，第5章において実験に基づく考察を述べる．そして最後に結論を述べる．

2 アーキテクチャAIDAの提案

2.1 AIDAの設計方針

表1に示した要件に基づき，実世界指向分散HISのためのシステムアーキテクチャAIDAを設計した．以下のその設計方針を述べる．

マルチエージェントシステムの利用

インタフェース群の協調的な振舞を可能とし，かつ個々のインタフェースが自律的にインタフェースとして機能できるようにするため，システムを構成する個々のインタフェースを自律性をもったエージェントととらえたマルチエージェントシステムとして扱うこととした．個々のエージェントは実世界で分散して存在するため，ユーザの存在などの情報を互いに通信しあうことにより，ユーザの位置の不確実性に対応できると考える．

行動ベースアーキテクチャと確信度の利用

個々のエージェントがユーザとインタラクションを行う際，ユーザがとりうる複数のコンテキストを保持し，これらを切り替えられる必要がある．そこで，複数のコンテキストを行動モジュールとして表現することのできる，SSA (Subsumption Architecture)[8]を代表とする行動ベースアーキテクチャに基づいてシステムを構築することとした．

---

[1] Ubicompの概念のもとに実現されているシステムでは，ペン入力可能なPARC Tab[7]と呼ばれる携帯端末も利用されており，ユーザはTabを携帯して支援を受ける場合がある．しかしながら，Ubicompでは遍在するコンピュータによる支援を主な目的としているため本論文では遍在型であると位置付けた．

[2] 実際のシステムでは，ユーザにIDペンダントを胸に着けてもらう．IDペンダントを用いずに画像処理により，全く非拘束的にユーザを認識する手法も考えられるが，現状では実現困難であると判断した．

また，コンテキストは以下のような状況で切り替える必要があると考えられる．1)あるインタフェースの前に突然現れたユーザがセンサにより検知された場合，2)あるインタフェースがインタラクションを行っていたはずのユーザが他の場所で発見されたことなどが他のエージェントからの通信により伝えられた場合，そして3)あるインタフェースがユーザに説明している途中に，ユーザのインタフェースに対する注意の向きが失われた場合である．そこで本研究では各行動モジュールの発火条件として，1)に対応するために，SSAと同様に，センサ情報を利用し，2)に対応するために，他のエージェントからの通信情報を利用し，そして3)に対応するために，ユーザが注意を向け続けているか否かを判断する指針として新たに確信度を導入した．本論文ではユーザの注意は時間経過とともに薄れる可能性があると仮定[3]し，確信度を時間関数beliefにより扱うこととした．各行動モジュールはこれらの3種類の情報を発火条件とすることにより，コンテキストを即応的に切り替えられると考える．

またこのような方針に基づくことにより，アプリケーションの開発では，想定されるコンテキストのセグメントを行動モジュールとして用意し，コンテキスト切り替えのタイミングを発火条件として設定すればよく，アプリケーションの設計・開発が容易になることが期待される．

自律移動ロボットの導入

センサの不感領域に存在するユーザに対応するためには，位置固定型の端末装置では対処することができない．能動的に移動することにより，ユーザを探索できることが必要である．そこで本研究ではインタフェースとして自律移動ロボットを導入し，ユーザを探索ならびに誘導することとする．

ユーザエージェントの利用

ユーザとインタフェースのインタラクションの履歴など，コンテキストを考慮したインタフェースを実現するために，本研究では，ユーザ毎にユーザエージェントを作成し，各ユーザとのインタラクションの履歴を保持させることとした．

2.2 AIDA

2.2.1 AIDAのマルチエージェントモデル

上記の設計方針に基づき実世界指向分散HISのためのシステムアーキテクチャAIDAを設計した．AIDAのマルチエージェントモデルでは，システムはユーザとのインタラクションの履歴を管理するために個々のユーザ毎に用意されるユーザエージェント(UA: User-Agent)，ならびにユーザとインタラクションを行うインタフェースエージェント(IA: Interface-Agent)群から構成される．UAは各ユーザの位置の履歴，ならびにIAとのインタラクションの履歴を管理する．一方，IAは実際には計算機やロボットといった機器に相当し，独立したモジュールとして自律的にユーザとインタラクションを行う．IAどうしあるいはIAとUAが協調することにより，全体として分散インタフェースを提供する．以下にそれぞれのエージェントについて説明する．

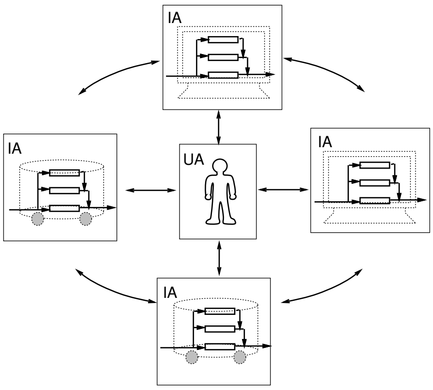

図2: AIDAのマルチエージェントモデル

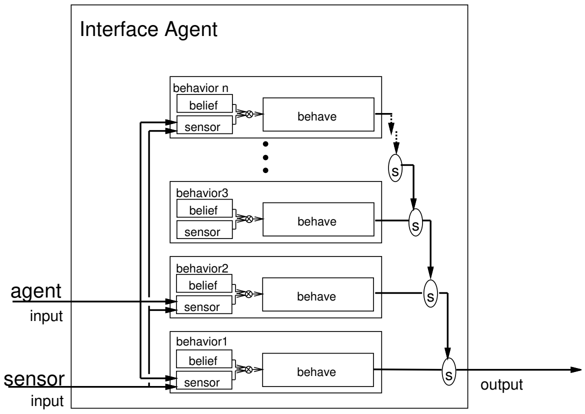

図3: インタフェースエージェントのモデル

2.2.2 インタフェースエージェント

IAのモデルを図3に示す．個々のIAは並行実行可能な行動(behavior)モジュールから構成される．各行動モジュールは，センサ(超音波センサ，赤外線センサ，キーボード入力など)ならびに他のエージェントから送られるデータ(ユーザの履歴情報や他のエージェントからのタスクの依頼など)を入力とし，発火条件を満たすかどうかをif–thenルールにより判断するセンサ部，確信度(時間関数belief)に基づき発火条件を満たすかどうかを判断する確信度部，これらの情報をもとに行動を決定し，アクチュエータへの駆動命令，ディスプレイへの表示命令などの制御命令を出力する行動部から構成される．

ここで，各行動モジュールはセンサ部ならびに確信度部の両方の発火条件が満たされた場合のみ発火(活性化)する．また各行動モジュールの出力には包摂(subsume)性を持たせることが可能であり，図3の場合，より上位の階層の行動モジュールが高い優先順位を持つことになる．このため複数の行動モジュー

---

[3] 人間の注意が時間経過とともに薄れるという仮説を支持する例として，注意の勾配説[9]があげられる．

ルが発火した場合，より上位の階層の行動モジュールが，より下位の行動モジュールの発火を抑制することになる．

確信度部では，時間関数 belief によってその確信度が計算される．belief 関数の一般式を以下に示す．

$$b_{i_{t_{j+1}}} = \begin{cases} b_{i_{t_0}} & \text{(initial value)} \\ b_{i_{t_j}} + a_i & (0 \le b_{i_{t_j}} + a_i \le 1) \\ b_{i_{t_j}} & \text{(otherwise)} \end{cases}$$

ここで $b_{i_{t_j}}$ は，behavior i の時刻 t_j における belief 関数の値である．時刻 t_j の刻み幅はセンサなどから情報を取得する際のサンプリング周期である．また a_i は belief 関数の時間経過にともなう変化の割合を決定するパラメタであり，絶対値が大きいほど確信度は急激に増加あるいは減少する．本研究では，各 belief 関数は ID センサによりユーザの存在が認識された場合に初期化されることとした．また，行動モジュールが発火するための確信度の閾値を 0.5 とする．

以下に belief 関数により，時間経過にしたがって発火する行動モジュールの切り替えが行われる様子を説明する．例として，以下に示す 3 つの行動モジュールから構成される，情報提示を行う計算機による IA を仮定する (図 4参照)．また，ユーザの IA に対する注意の有無に関しては，ユーザの胸に取り付けた ID ペンダントの情報が取得できるか否[4]かによって判断する．

behavior3 ：情報提示行動

センサ部 ： ID センサ (認識された場合)

確信度部 ：

$$b_{3_{t_{j+1}}} = \begin{cases} 1 & \text{(initial value)} \\ b_{3_{t_j}} - a & (0 \le b_{3_{t_j}} - a \le 1) \\ b_{3_{t_j}} & \text{(otherwise)} \end{cases}$$

行動部 ：ユーザに情報を提示

behavior2 ：ユーザ探索行動

センサ部 ： ID センサ (認識されなかった場合)

他の IA からのユーザの認識情報

確信度部 ：

$$b_{2_{t_{j+1}}} = \begin{cases} 0 & \text{(initial value)} \\ b_{2_{t_j}} + \frac{a}{2} & (0 \le b_{2_{t_j}} + \frac{a}{2} \le 1) \\ b_{2_{t_j}} & \text{(otherwise)} \end{cases}$$

行動部 ： 他の IA にユーザの認識情報を依頼

behavior1 ：注意確認行動

センサ部 ： ID センサ (認識されなかった場合)

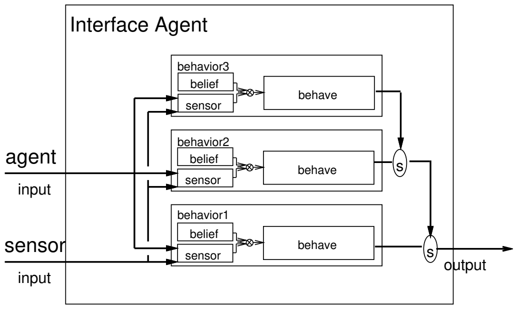

図 4: インタフェースエージェントの構成例

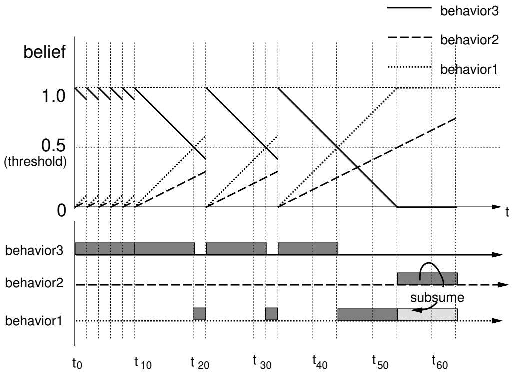

図 5: belief 関数と発火する行動モジュールの様子

キーボード

確信度部 ：

$$b_{1_{t_{j+1}}} = \begin{cases} 0 & \text{(initial value)} \\ b_{1_{t_j}} + a & (0 \le b_{1_{t_j}} + a \le 1) \\ b_{1_{t_j}} & \text{(otherwise)} \end{cases}$$

行動部 ： 質問提示によるユーザへの注意の喚起

この IA がユーザを認識して動作し始めた時の belief 関数の変化の様子を図 5(上図) に，また確信度にしたがって変化する行動モジュールの発火の様子を図 5(下図) に示す．

時刻 t_0 ~ t_{10} では，ID センサによりユーザの注意が IA に向けられていることが確認されているため，全ての行動モジュールの belief 関数の初期化が毎時刻行われている．この間，行動モジュールの切り替えは行われず，情報提示行動によりユーザへの説明が行われている．

時刻 t_{10} ~ t_{20} では，ID センサにより情報が取得できず，ユーザの注意が IA に向いていることが確認できていない．したがって，belief 関数は初期化されず，上述した式にしたがって確信度が変化している．時刻 t_{20} において behavior 3 の確信度が閾値以下に

---

[4] ID ペンダントの情報を取得できない場合，ユーザは IA の前にいない，あるいは異なる方向を向いており，IA が提示する情報に注意して見るあるいは聞いていないと仮定した．しかしながら，ユーザが IA の前におり，注意して聞いているにも関わらず ID ペンダントの情報を取得できない場合も考えられる．本研究ではこのような場合，システムがユーザの注意を喚起する情報提示を行なうことにより，ユーザの注意の有無を確認できるようにしている．

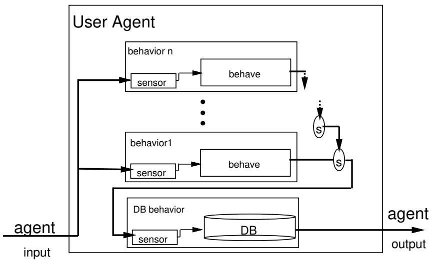

図 6: ユーザエージェントのモデル

なり，behavior 1 の確信度が閾値以上になるため注意確認行動が発火し，発火する行動モジュールの切り替えが行われている．注意確認行動の結果時刻 t_{22} において，ID センサよりユーザが IA に向いていることが確認されたため，belief 関数の初期化が行われている．そこで，再度 behavior 3 が発火することにより，情報提示行動が説明を再開している．

さらに時刻 t_{34} ~ t_{44} においても，ID センサよりユーザの注意が確認されなかったために，時刻 t_{44} において上記と同様にユーザの注意を確認する behavior 1 に行動が切り替わっている．しかしながらこの場合，ユーザの注意を確認することができなかったために，時刻 t_{54} において behavior 2 が発火し，behavior 1 より優先度が高いことから behavior 2 に行動が切り替わっている．そこで behavior 2 により他の IA の前にユーザが現れていないかの探索依頼を他の IA に送信している．

このように AIDA では，確信度を用いることにより，ユーザの注意の向きを予測し，発火する行動モジュールを適切に切り替えることができるようになっている[5]．また，各行動モジュールは並行動作可能な比較的単純な構造として実現できるため，センサ部より取得される，外界の状況の変化に対して即応的に反応することが可能となっている．

2.2.3　ユーザエージェント

UA の構造は基本的には IA と同様に行動モジュールから構成される．UA はユーザに関する情報を管理し，情報の更新と他のエージェントに情報の送信を行う．そのため UA は図 6に示すように，DB (Data Base) 行動モジュールを特別に持つこととした．DB 行動モジュールはセンサ入力として DB の更新，検索，他のエージェントへの送出命令などを入力として受け取り，動作部がこれらを実行する．また，UA は直接ユーザとインタラクションを行なわないことから，確信度部を持たないこととした．独立したデータを複数の DB 行動モジュールに分散して管理することにより，他の複数のエージェントからの要求に素早く応答することが可能となる．

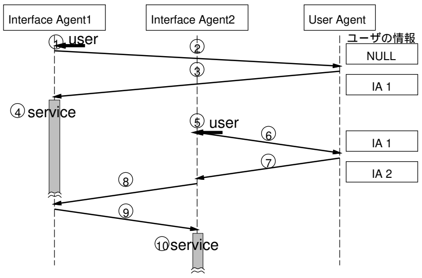

図 7: エージェント間の協調の様子

UA を利用することにより，複数の IA がコンテキストを考慮したインタラクションを行う様子を図 7に示す．ここで UA は，あるユーザに関して，複数の IA がそれまでに行ってきたインタラクションに関する履歴情報を管理していることとする．以下に，図 7に示した番号にしたがって，システムの動作を説明する．

1. IA 1 の ID センサにより，IA 1 の正面にユーザの出現が確認される．
2. IA 1 は ID センサの値より，対応するユーザの UA にユーザ情報を問い合わせる．
3. UA はユーザ情報を IA 1 に伝える．
4. UA の管理するユーザ情報が存在しないことから IA 1 は初めて訪れたユーザとしてサービスを開始する．
5. ユーザが移動し IA 2 の正面に現れる．(IA 1 はユーザが移動してしまったことを検知できずにサービスを継続している．)
6. IA 2 は UA にユーザ情報を問い合わせる．
7. UA はユーザ情報を IA 2 に伝える．
8. UA のユーザ情報が IA 1 によってサービスを受けていたことを示している．そこで，IA 2 は IA 1 に対して，ユーザが移動してしまい IA 1 の前にユーザはいないことを伝える．
9. IA 1 は継続していたサービスを中断し，IA 2 に対して了解したことを伝える．
10. IA 2 はユーザに対して，IA 1 がそれまでに行ったサービスを考慮し，サービスを開始する．

3　研究室案内システムの設計と実装

3.1　研究室案内システム

AIDA の有効性を示すため，AIDA に基づいて研究室案内システムを作成した．研究室案内システムの概要を図 8に示す．

---

[5] 従来手法においてもタイマ割り込みにより，時間経過とともにコンテキストを切り替える手法も考えられる．しかしながら，コンテキスト間の優先順位を考慮しようとすると，その管理は非常に繁雑になると考えられる．本手法ではシステムレベルで，割り込みのタイミングならびにコンテキストの優先順位の取り扱いを可能としている．

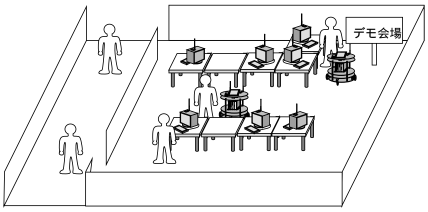

図 8: 研究室案内システムの概要

研究室案内システムでは，訪問者 (ユーザ) に対して，入口付近において研究室の概要を説明し，研究室内奥に位置するデモ会場へ誘導して研究説明などを行う．この際システムは，移動するユーザの位置の不確実性，ならびに誘導中あるいは説明中におけるユーザの注意の向きの不確実性に対応できることが望まれる．また，任意の順序でデモ会場を訪れるユーザに対して，それまでにそのユーザにどこまで説明したか，などの履歴情報に基づいて適切な説明を行えることが望まれる．

我々は研究室案内システムの構築にあたり，ユーザの認識を行うために赤外線発信器を ID ペンダントとしてユーザの胸に着けてもらうこととした．また，システムを構成する IA として，通路を移動しユーザを誘導または探索する自律移動ロボット (ロボットエージェント)，ユーザに情報を提供する計算機 (計算機エージェント)，そして環境モニタシステム (環境モニタリングエージェント) の 3 種類を用いることとした．以下に本システムで用いる IA ならびに UA の設計について説明する．

3.2 設計

3.2.1 ロボットエージェント (RA)

RA は研究室内を自由に移動することができ，その近くに現れたユーザのデモ会場までの案内，他のエージェントに依頼されるユーザの探索，依頼された場所までの移動などを行う．RA はセンサ部に，ユーザ認識のための ID レシーバ，外界認識のための赤外線距離センサ，超音波距離センサ，移動距離測定のためのエンコーダ，ならびに他のエージェントからの通信情報を入力として用いる．また行動部の結果として，モータ駆動命令，音声合成を用いたスピーカ出力命令，通信機器に対して制御命令を出力する．以下に各行動モジュールについて説明する (図 9参照)．

behavior 4: guide a user
ID レシーバよりユーザ ID を受信 (ユーザの存在を認識) すると発火し，音声合成装置よりユーザに誘導することを伝え，モータを駆動して移動し，ユーザを誘導する．

behavior 3: make request
ユーザ誘導中にユーザ ID が受信されなくなる (ユーザを見失う) と発火し，通信機器を介して他の IA にユーザ支援継続の要求を送る．

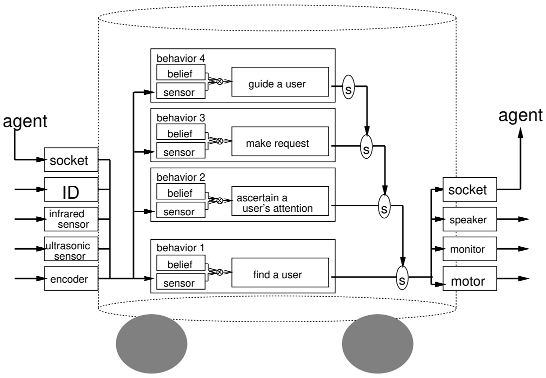

図 9: ロボットエージェントの構成

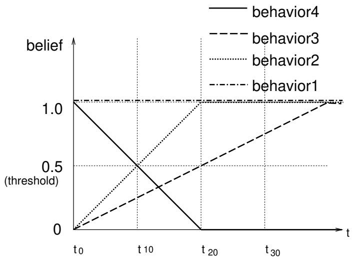

図 10: ロボットエージェントの belief 関数

behavior 2: ascertain a user's attention
ユーザ誘導中にユーザ ID が受信されなくなると発火し，音声合成装置よりユーザに話しかけ，ユーザの注意が RA に向いているかどうかを確認する．

behavior 1: find a user
他の IA からユーザ誘導の要求が到着した場合，またはユーザ誘導中にユーザ ID が受信されなくなると発火し，モータを駆動して移動し，ユーザを探す．

ここで，各行動モジュールの belief 関数は図 10に示すように変化するものとする．

3.2.2 計算機エージェント (CA)

CA は各デモ会場ならびに通路に配置され，ユーザを認識すると，モニタやスピーカを通して，そのデモ会場における研究説明ならびにユーザの誘導を行う．CA はセンサ部に，ID レシーバ，ユーザの注意を確認するためのキーボードを入力として用いる．また行動部の結果としてモニタ，スピーカ，通信機器に対して制御命令を出力する．以下に各行動モジュールについて説明する (図 11 参照)．

behavior 3: explain to a user
ID レシーバよりユーザ ID を受信 (ユーザの存

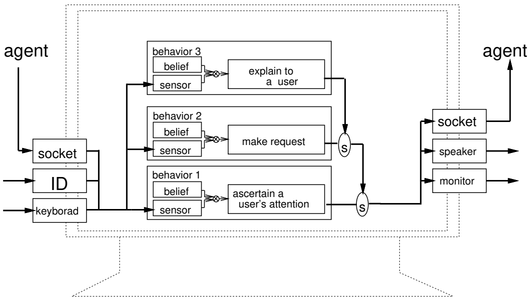

図 11: 計算機エージェントの構成

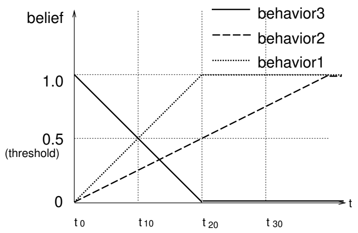

図 12: 計算機エージェントの belief 関数

在を認識) すると発火し，音声合成装置よりユーザに研究説明を始めることを告げ，研究説明を行う．

behavior 2: make request

研究説明が終わるか，もしくは説明中にユーザ ID が受信されなくなる (ユーザを見失う) と発火し，通信機器を介して他の IA にユーザ支援継続の要求を送る．

behavior 1: ascertain a user's attention

説明中にユーザ ID が受信されなくな n ると発火し，音声合成装置よりユーザに話しかけ，ユーザの注意が CA に向いているかどうかを確認する．

ここで，各行動モジュールの belief 関数は図 12に示すように変化するものとする．

3.2.3 環境モニタリングエージェント (EMA)

EMA は通路ならびに部屋の入口などに配置され，ユーザがその付近に存在するかどうかを監視する．ユーザを認識することにより，UA に情報を伝えたり，他の IA にユーザを支援するよう要求する．EMA はセンサ部に，ユーザ認識のための ID レシーバを入力として用いる．また行動部の結果として通信機器に対して制御命令を出力し，他のエージェントに通信情報を送信する．以下に各行動モジュールについて説明する (図 13参照)．

behavior 2: make request

ID レシーバよりユーザ ID を受信 (ユーザの存在を認識) すると発火し，通信機器を介して他の IA にユーザ支援継続の要求を送る．

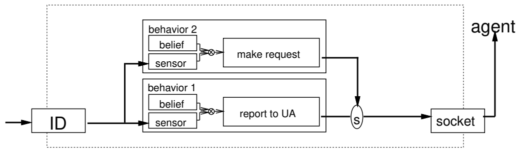

図 13: 環境モニタリングエージェントの構成

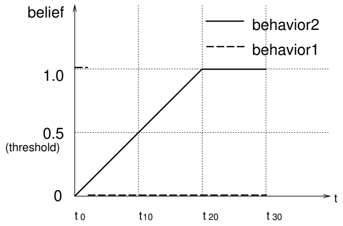

図 14: 環境モニタリングエージェントの belief 関数

behavior 1: report to UA

ID レシーバよりユーザ ID を受信すると発火し，通信機器を介して対応する UA にユーザの存在を伝達する．

ここで，各行動モジュールの belief 関数は図 14に示すように変化するものとする．

3.2.4 ユーザエージェント (UA)

UA は訪問者の数だけ生成され，各ユーザに関する行動の履歴，説明をどこまで受けたかの履歴などの情報を管理する．UA はセンサ部として他のエージェントからの送信情報を入力として用い，行動の結果として通信機器に対して制御命令を出力する．以下に各行動モジュールについて説明する (図 15参照)．

behavior 2: store user information

IA からユーザ情報が到着すると発火し，DB 行動モジュールに書き込み命令を送る．

behavior 1: report user information

IA からユーザ情報に関する問い合わせが到着すると発火し，DB 行動モジュールに検索，送出命令を送る．

DB behavior:

他の行動モジュールからの要求を検知すると発火し，DB の更新，追加，検索などを行い，必要に応じて通信機器を介して他の IA に情報を送出する．

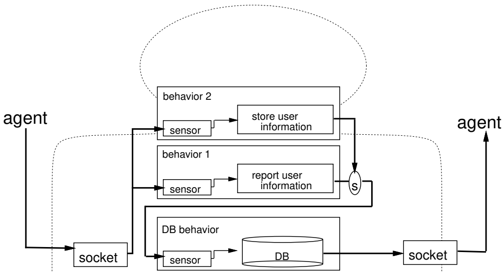

図 15: ユーザエージェント

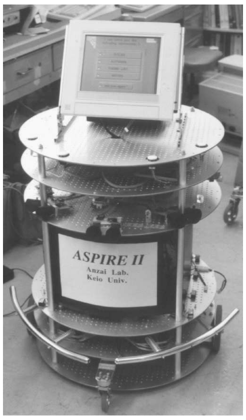

図 16: 自律移動ロボット *ASPIRE-II*

3.3 実装

ユーザ認識に用いる ID ペンダントならびに ID レシーバとして，当研究室で開発した可搬型の赤外線 ID 送信器と赤外線 ID レシーバを用いた [10]．赤外線 ID レシーバの情報は計算機では RS-232C を介して，またロボットからは専用処理ボードを介して取得される．また，エージェント間の通信にはソケット機構を用いた UDP によるプロセス間通信を利用した．以下に，各エージェントの実装について説明する．

ロボットエージェント (RA)

RA は当研究室で開発した自律移動ロボット *ASPIRE-II* 上に実装した [11](図 16参照)．*ASPIRE-II* は機能別の並列計算機能を有しており，赤外線距離センサ，超音波センサ，ID レシーバの情報を並列に計測するように実装した．また，音声合成装置としてNTT データ通信製しゃべりん坊を用い，予め発話データをセグメント化しておき，必要に応じて発話させるようにした．

計算機エージェント (CA)

CA として 3 台の SUN WS を用いて実装した．各 WS には ID レシーバをシリアルポートに接続することによりユーザ ID が取得できるようにした．また，情報提示のためには WWW ブラウザを利用し，テキストならびに画像を用いた．さらに，音声発話装置として発話パターンを予め audio ファイルとして用意しておき，audio device に送出することにより実装した．

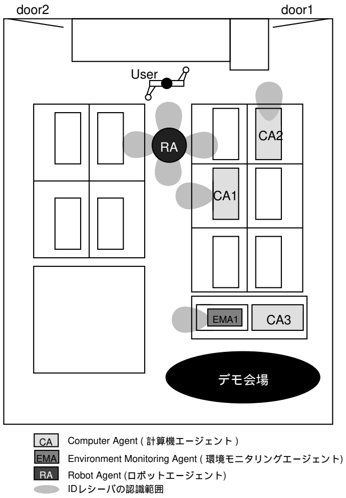

図 17: 実験環境

環境モニタリングエージェント (EMA)

EMA として，ID レシーバを (CA とは別に用意した) SUN WS に接続して実装した．

ユーザエージェント (UA)

UA には，EMA で用いた WS を併用した．

上述した各エージェントのプログラムは C 言語を用いて開発し，各行動モジュールは C の関数としてエミュレートした．なお RA に関しては，*ASPIRE-II* 用に開発したリアルタイム OS[12] 上の並行動作可能なプロセスとして実装した．

4 実験

実装した研究案内システムの有効性を確認するために実験を行った．実験環境は図 17に示すとおりであり，1 台の RA，3 台の CA，1 台の EMA を図のように配置した．また，設定した研究室案内のシナリオは以下の通りである．door1 より入室したユーザは，まず CA2 により挨拶をされ，研究室の概要を説明される．引続き RA によりデモ会場に誘導され，デモ会場において CA3 により研究発表の説明を聞く．

複数の被験者にシステムを利用してもらい，案内される様子をビデオで記録した．ユーザの誘導においてユーザの位置の不確実性にシステムが適切に対処できている様子を表 2に示す．また，説明中におけるユーザの注意の向きの不確実性にシステムが適切に対処できている様子を表 3に示す．

表 2: ユーザの誘導に関する実験結果

(case 1.1) ユーザ 1 が入室してからデモ会場に至るまで
(1) ユーザ 1 は door1 から入室した． (2)CA2 はユーザ 1 を認識し，ユーザ 1 に研究室の概要を説明した． (3)CA2 はユーザ 1 をデモ会場まで誘導するため RA を呼んだ． (4)RA は CA2 付近のユーザ 1 を認識し，ユーザ 1 にデモ会場まで誘導することを告げた． (5) ユーザ 1 は RA について行き，デモ会場に至った.(図 18)
(case 1.2) ユーザ 2 が入室してからデモ会場に至るまで
(1)，(2)，(3)，(4) はユーザ 1 と同様． (5)RA は誘導を始めるが，ユーザ 2 は RA について行かなかった． (6) デモ会場への通路の途中に存在する CA1 がユーザ 2 にデモ会場までの道筋を示した地図を提示した． (7) ユーザ 2 は地図を見ることによりデモ会場に至った．
(case 1.3) ユーザ 3 が入室してからデモ会場に至るまで
(1) ユーザ 3 は door2 から入室した． (2)CA1 がユーザ 3 を認識し，ユーザ 3 のコンテキストを管理する IA に履歴情報を問い合わせた． (3) その結果，ユーザ 3 は既に研究室概要を聞いたことがあることが判明したため，概要説明を行わずにデモ会場まで誘導するため RA を呼んだ． (4)RA は CA1 付近のユーザ 3 を認識し，ユーザ 3 にデモ会場まで誘導することを告げた． (5) ユーザ 3 は RA について行き，デモ会場に至った．
(case 1.4) ユーザ 1，2，3 がデモ会場から退室するまで
(1) デモ会場での発表が終わる． (2) それぞれのユーザはもと来た通路を戻る． (3) 通路の途中にいる CA1 はユーザに「さようなら」を告げ，出口までの地図を提示した.

表 3: ユーザの注意の変化に関する実験結果

(case 2.1) ユーザ 1
(1)CA3 はユーザ 1 を認識し，発表を始めた． (図 19) (2) ユーザ 1 は発表を聞いていた． (3) 発表の途中，CA3 はセンサよりユーザ 1 の ID 情報を取得できなくなったため，ユーザ 1 が発表を聞いているか確かめるため，名前を入力するように促した． (4) ユーザ 1 は発表を聞いていたので，CA3 の指示にしたがい名前を入力した． (5)CA3 はユーザ 1 が発表を聞いていることが確認されたので発表を続けた．
(case 2.2) ユーザ 2
(1) はユーザ 1 と同様． (2) ユーザ 2 は途中で発表を聞くのをやめてしまった． (3) はユーザ 1 と同様． (4) ユーザ 2 は発表を聞いていなかったので，CA3 からの指示が聞こえなかった．したがって名前の入力は行われなかった． (5)CA3 は発表を止め，移動可能な RA にユーザ 2 を探すように要求した． (6)RA は移動してユーザ 2 を探し始めた． (7)RA はユーザ 2 を見つけ「研究発表を聞きに行きませんか」と話しかけた． (8) ユーザ 2 は RA について行き，再度 CA3 の前に行き研究発表を聞いた．

図 18: ユーザを誘導するロボットエージェントの様子

図 19: ユーザに研究室紹介をする計算機エージェントの様子

5 おわりに

本論文ではユーザの行動の不確実性に対応した実世界指向分散 HIS AIDA を提案した．AIDA の特徴はマルチエージェントシステムによるインタフェースエージェント間の協調，ユーザの位置の不確実性ならびに注意の向きの不確実性への対応である．さらに本研究では，AIDA を用いて研究室案内システムを設計・実装し，実験により AIDA の有効性を確認した．

本研究ではユーザのシステムに対する注意の有無を，ユーザの体の向き，ならびにシステムとユーザ間でのインタラクションの有無により判断できるものと仮定し，この範囲に限っては有効性を示すことができた．しかしながら，たとえユーザがインタラクションを行っていたとしても，説明の内容に興味を失っている場合も考えられる．ユーザの注意に関して，さらなる考察が必要であるように思われる．今後アプリケーションの開発を通して，さらに検討を行う予定である．

参考文献

[1] 暦本純一. 実世界指向インタフェースの研究動向. コンピュータソフトウェア, Vol. 13, No. 3, pp. 196–210, May 1996.

[2] J. Rekimoto and K. Nagao. The world through computer : Computer augumented interaction with real world environments. In *Proceedings of UIST'95 ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 29–36, November 1995.

[3] Sue Long, Diemar Aust, Gregory Abowd, and Chris Atkeson. Cyberguide: Prototyping context-aware mobile applecations. In *ACM CHI'96 Companion*, pp. 293–294, 1996.

[4] Asim Smailagic and Daniel Siewiorek. Modalities of interaction with CMU wearable computers. *IEEE Personal Communications*, pp. 14–25, February 1996.

[5] M. Weiser. 21 世紀のコンピュータ. 日経サイエンス, Vol. 11, pp. 60–70, 1991.

[6] M. Weiser. Some computer science isseues in ubiquitous computing. *CACM*, Vol. 36, No. 3, pp. 75–84, 1993.

[7] Mik Lamming and Mike Flynn. "forget-me-not": Intimate computing in support of human memory. *Proc. of FRIEND21, '94 International Symposium on Next Generation Human Interface*, Vol. 11, pp. 60–70, 1994.

[8] R. Brooks. A robust layered control system for a mobile robot. *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol. 2, No. 1, pp. 14–23, 1986.

[9] C. Downing. Expectancy and visual-spacial attention: Effects on perceptual quality. *Journal of Experimental Psychology*, Vol. 14, No. 2, pp. 188–202, 1988.

[10] K. Hiramatsu and Y. Anzai. User identification in human robot interaction using identification pendant. In *6th International Conference on Human-Computer Interaction*, pp. 237–242, July 1995. Yokohama, Japan.

[11] 山崎信行, 安西祐一郎. パーソナルロボット用機能別並列計算機アーキテクチャ : *aspire*. 情報処理学会論文誌, Vol. 37, No. 1, pp. 81–91, 1996.

[12] 矢向高弘, 菅原智義, 安西祐一郎. PULSER: リアクティブシステムの構築に適したオペレーティングシステム. コンピュータソフトウェア, Vol. 11, No. 1, pp. 24–35, 1994.