

実世界指向分散ヒューマンインタフェースシステムの提案

中内 靖[†] 岩倉 裕子^{††} 白石陽^{††} 安西祐一郎^{††}

[†] 防衛大学校 ^{††} 慶應義塾大学

E-mail: nakauchi@cc.nda.ac.jp, iwakura@aa.cs.keio.ac.jp, siraisi@aa.cs.keio.ac.jp, anzai@aa.cs.keio.ac.jp

本論文では、実世界において移動するユーザの行動を束縛することなく、環境ならびにユーザの状況を能動的に取得することにより、継目なく支援することのできる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への継目のない支援を可能とする。また、各エージェントは行動ベースアーキテクチャに基づいており、即応的なユーザへの対応を可能とする。さらに、実世界の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について対応できる特徴をもつ。また本論文では、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。

Real-world Oriented Distributed Human Interface System

Yasuchi Nakauchi[†] Yuko Iwakura^{††} Yoh Shiraishi^{††} Yuichiro Anzai^{††}

[†] Department of Mechanical Engineering, National Defense Academy

^{††} Department of Computer Science, Keio University

In this paper, we propose the real-world oriented distributed human interface system named AIDA (Architecture for Interfacing Distributed Agents). AIDA supports human activities in the real-world (i.e. in offices, in houses) without restricting user's movements. AIDA is based on multiagent model in which each interfacing elements (i.e. mobile robots, workstations) cooperates with each other for providing seamless 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 in time. 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、コンピュータ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、CSCW (Computer-Supported Cooperative Work) を代表とする、ネットワークに接続された複数の計算機を利用した分散インタフェースシステムの研究が活発に行われている [1]。CSCW では共同執筆システム [2]、電子会議システム [3]、定型処理支援システム [4] など、電子化された情報を計算機ネットワークにより共有・伝送するなどして、共同作業を支援するシステムが開発されている。

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、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、計算機の前からプリンタの設置場所へ移動したユーザに、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するなど、部屋内を移動するユーザを統合的に支援できることが望まれる。また例えば研究所の見学では、来訪者(ユーザ)を担当者が誘導し、研究設備を説明する。移動ロボットがユーザを説明箇所まで誘導したり、適切な場所で計算機が説明を行うなど、ユーザを統合的に支援できることが望まれる。このようにユーザを取り巻く環境全体がインタラクティブにかつ統合的にユーザを支援できるインタフェースシステムの実現が望まれる。

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、以下の側面を具備する必要があると考えられる。電子化された情報を扱えるだけでなく、建物内を移動するユーザの行動に関する情報を能動的に取得して利用できる実世界指向インタフェースシステム [5] であること。また、移動するユーザと任意の場所でインタラクションを行うことのできる分散インタフェースシステムであること。さらに、移動するユーザに制約を設けない、非拘束インタフェースシステムであることがあげられる。本論文では、これら3種類の側面を具備したインタフェースシステムを実世界指向分散ヒューマンインタフェースシステム(以下、実世界指向分散 HIS と略す)と定義する。

本研究では、複数の計算機ならびに移動ロボットに様々なセンサを取り付けることにより、非拘束的に¹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研究室案内システムを紹介する。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

第1章において議論した実世界指向分散 HIS を実現するためには、インタフェースシステムとして、協調性、即応性、ユーザの位置の不確実性への対応、ユーザの注意の

¹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。

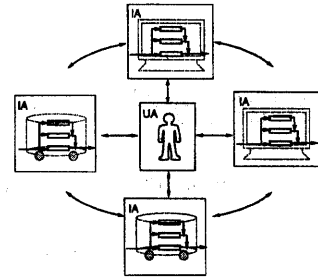


図1: AIDA のマルチエージェントモデル

向きの不確実性への対応の4つの要件を満足する必要があると考えられる。これらの要件を満たすための AIDA の設計方針を以下に述べる。

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いを可能とし、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持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。

行動ベースアーキテクチャの利用

個々のインタフェースに即応性を持たせるため、個々のエージェントを SSA (Subsumption Architecture) [6] を代表とする行動ベースアーキテクチャに基づいて構築する。エージェントを比較的小さな行動モジュールの集まりとして構成することにより、環境の変化に即応的な、かつ冗長なモジュールを付加することによりロバストな対応を行えることが期待される。

センサ融合の利用

ユーザの位置についての不確実性に対応するために、各種センサ(超音波センサ、赤外線センサなど)情報、ならびに位置的に分散したセンサ情報を利用し、それらの情報を統合する手法をとる。

確信度の利用

本論文ではユーザの注意の向きの不確実性に関して、ユーザの注意が時間経過とともに薄れる可能性があるとして仮定する。そこで、時間関数を利用することにより、ユーザがインタフェースシステムに対して注意を払っている確信度 (belief) を取り扱うこととする。より具体的には、従来の行動ベースアーキテクチャにおいて行動モジュールの発火条件はセンサ情報として取得される外界の状況に基づいて一意に決定されていたが、行動モジュールの内部状態として確信度を併せて持たせることにより、システムのユーザに対する確信度に基づいた対応を可能にする。

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。図1に AIDA のマルチエージェントモデルを示す。

AIDA のマルチエージェントモデルでは、システムはユーザの情報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

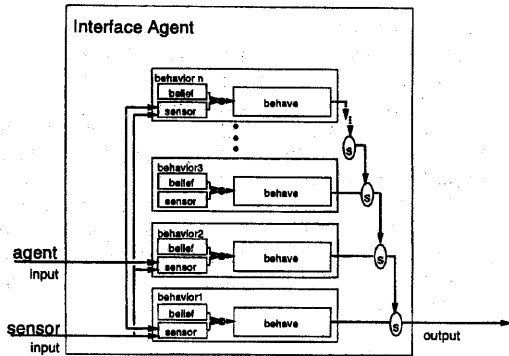


図 2: インタフェースエージェントのモデル

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。

2.2.2 インタフェースエージェント

IA のモデルを図 2 に示す。個々の IA は並行実行可能な行動モジュール (behavior) 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 2 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。

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

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 の刻み幅はセンサ等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 関数の時間経過ともなう変化の割合を決定するパラメータであり、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。

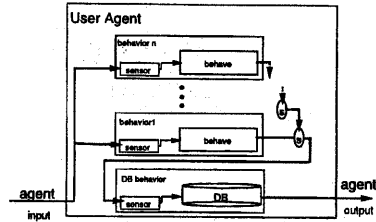


図 3: ユーザエージェントのモデル

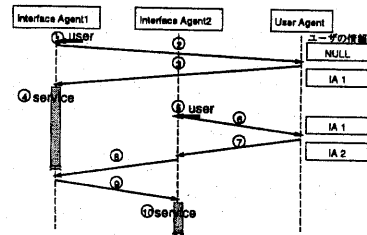


図 4: エージェント間の協調の様子

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 3 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。

複数の IA がユーザの活動を継目なく支援するためには、各 IA は UA に対して以下の手続きをとることになる。1) IA はユーザを認識すると UA にユーザ情報を問い合わせる。2) UA は IA にユーザ情報を伝える。3) IA は受け取った情報をもとに適切な動作を行う。

UA を利用することにより、IA 間でユーザを継目なく支援している様子を図 4 の例にしたがって説明する。ここで、UA はあるユーザに関して、各 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ユーザ情報として管理していることとする。以下に、図 4 に示した番号にしたがって IA 間でユーザ情報を交換している様子を説明する。

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。

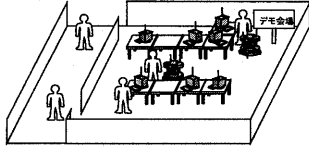


図 5: 研究室案内システムの概要

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 を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 5 に示す。

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 設計と実装

ユーザ認識に用いる ID ペンダントならびに ID レシーバには、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 [7]。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、各エージェントの設計・実装について説明する。

3.2.1 ロボットエージェント (RA)

RA は研究室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等を行う。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 6 参照)。

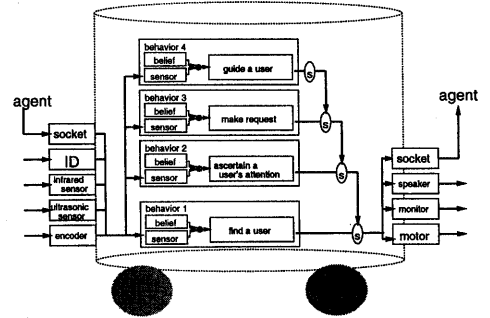


図 6: ロボットエージェントの構成

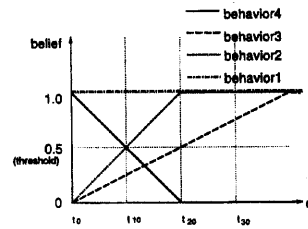


図 7: ロボットエージェントの belief 関数

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。

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。

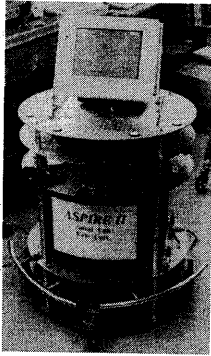


図 8: 自律移動ロボット ASPIRE-II

ここで、各行動モジュールの belief 関数は図 7 に示すように変化するものとする。

RA の実装は、当研究室で開発した自律移動ロボット ASPIRE-II を用いて行った [8](図 8)。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た。

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、モニター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ー、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 9)。

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 10 に示すように変化するものとする。

CA の実装には 3 台の SUN WS を用いた。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。

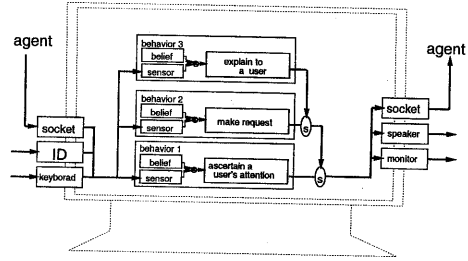


図 9: 計算機エージェントの構成

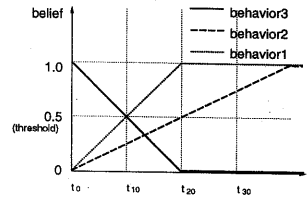


図 10: 計算機エージェントの belief 関数

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 11 参照)。

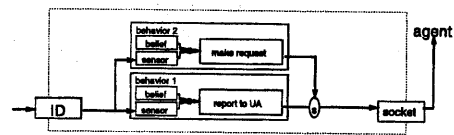


図 11: 環境モニタリングエージェントの構成

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。

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 12 に示すように変化するものとする。

EMA の実装には、ID レシーバと (CA とは別途用意した) SUN WS を用いた。

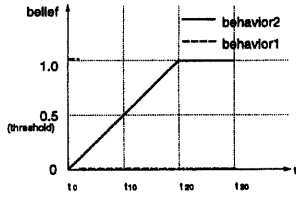


図 12: 環境モニタリングエージェントの belief 関数

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 13 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、送付命令を送る。

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 に情報を送付する。

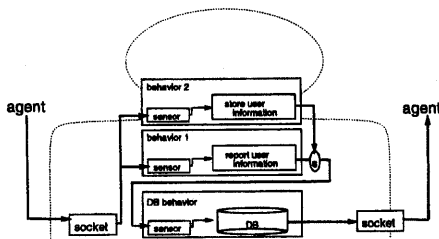


図 13: ユーザエージェント

UA の実装には、EMA で用いた WS を併用した。

4 おわりに

上述したシステムを用いて、図 14、図 15 に示すようなユーザを誘導する実験を行い、AIDA の有効性を確認した。

本論文では実世界において活動するユーザの行動を束縛することなく、その状況を能動的に取得することにより、継目なく支援することのできる実世界指向分散 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エージェント間の協調、行動ベースアーキテクチャに基づく即応性、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。



図 14: ユーザを誘導するロボットエージェントの様子

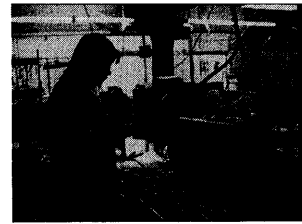


図 15: ユーザに研究室紹介をする計算機エージェントの様子

参考文献

- [1] 石井裕. CSCW とグループウェア. オーム社, 1994.
- [2] L.S. Richman. Software catches the team spirit. *FORTUNE*, No. 8, pp. 93-96, 1987.
- [3] K. Watabe, S. Sakata, H. Fukuoka, et al. Distributed multidisplay desktop conference system mermaid: Platform for groupware. In *GSCW'90*, pp. 27-38, 1990.
- [4] Y. Nakauchi, Y. Itoh, M. Sato, and Y. Anzai. Modelling and implementation of multiagent interface system for computer-supported co-operative work. *Ergonomics*, Vol. 35, No. 5/6, pp. 565-576, 1992.
- [5] 小島啓二. 実世界指向インタフェースの研究動向, pp. 37-48. 日本情報処理開発協会, 1991.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.