

ロボットによる人間の意図の能動的理解機能

佐藤知正^{*1} 西田佳史^{*2} 市川純理^{*3}
 畑村洋太郎^{*2} 溝口博^{*1}

Active Understanding of Human Intention by a Robot through Monitoring of Human Behavior

Tomomasa SATO^{*1}, Yoshifumi NISHIDA^{*2}, Junri ICHIKAWA^{*3},
 Yotaro HATAMURA^{*2} and Hiroshi MIZOGUCHI^{*1}

Understanding human intention is an essential function for a robot which can offer adequate support to human beings. It requires smooth communication between the human and the robot. Human behavior is an expressive media of communication. This paper proposes a new function of "active understanding of human intentions" by a robot through monitoring of human behavior. The unique feature of the proposed function lies in the fact that it utilizes multi-communication channels *in parallel*, i.e., human intentions are understood *not only* through conscious behavior *but also* through unconscious behavior. The paper also proposes a robot architecture to realize the function. Following points are the key features of the architecture: 1) A robot possesses multi-sensors which surround the human. 2) Information processing is carried out by dual loops—a loop for information exchange between the human and the robot and a loop for human intention understanding. As an example of a robot with the human intention understanding functions, the authors constructed a micro-teleoperation robot. It can automatically understand an operator's intention through such unconscious behavior of touching a desk with an operator's hand which holds a pen-shaped master. The understood result is utilized to change the control mode of a master-slave manipulation system from fine motion to rough motion and vice versa. The experimental results prove that the proposed function is effective in making the operation of the system easier. Consequently the system is friendly to the operator.

Key Words: Man Machine Interface, Human Robot Communication, Human Interface, Human Intention, Human Behavior

1. 緒 論

人間に複雑な操作を強いることなく、人間の意図に沿った支援や作業を行なってくれるロボットが、社会的なインフラストラクチャとして求められている。このようなロボットとして、例えば、高齢者介助ロボット、福祉医療用ロボット [1] などのサービスロボットが挙げられるが、特に高齢化社会では、その実現に大きな期待が集まっている [2]。

人の意図に沿った支援を提供するロボットには、人とコミュニケーションをとり、ロボットが人の意図を理解することが基本機能として求められる。なぜならば、いかに高度な作業実行能力を有していても、人間がその時何をしたいのかということ

ロボットが知らなくては、人が望んでいる支援を提供することは不可能だからである。

一方、従来のロボットは人間の意図を理解する機能をもたなかったために、人間がロボットの支援を得る際に、以下に述べるような負担を人間に課してきた。すなわち、従来のロボットは人間からの情報の入力手段として、ティーチングボックスやキーボードやスイッチを用いてきたが、こうした入力装置は、人間にその操作方法を覚える負担と、人間がロボットにして欲しいと思うことは全て意識的に教示する負担とを強いてきた。それは、これらの入力装置が、人間がその操作方法をあらかじめ知っていて、それらに対して意識的な行動を行なって初めて入力装置として正常に機能していたためである。

そこでこのような従来のロボットが有する問題点を解決するために、意図伝達手段としての人間の行動に着目する。これまでも、ロボットへの作業の教示という観点から、人間の行動を利用した簡便な教示方法が提案されている [3] [4] [5]。しかし、これらはいずれも人間の行動のうち意識的な部分を扱ったものである。また、特に人間の顔表情を取り上げ、それをロボットから人

原稿受付 1994年4月13日

^{*1}東京大学先端科学技術研究センター

^{*2}東京大学工学部

^{*3}日立製作所

^{*1}Research Center for Advanced Science and Technology, University of Tokyo

^{*2}Faculty of Engineering, University of Tokyo

^{*3}Hitachi Co.Ltd.

問への情報の提示に利用した顔ロボット [6] の研究がある. 筆者らは, これまでに, 人間の全ての行動は意図伝達のメディアであるという視点から, 人間の行動の利用範囲をさらに拡張して手によって行なわれる人間の無意識的な行動をも取り入れ, それをロボットが人間の意図理解に応用する手法を提案してきた [7]. 例えば, 字を書くことを考えると, 精密に字を書きたい時, 我々は通常手の側面を机につけて鉛筆を動かす. 鉛筆を動かす動作は, 意識的になされることが多いが, 手の側面を机につけるとい動作は, 無意識的に実施されることが多い. 後者のような無意識的に発現されることの多い動作を, ロボットが検知することが可能になれば, 人間が意識的に教示の努力を払わずとも, 精密に鉛筆の位置決めをしたいという人間の意図をロボットが理解できるようになる. このように, ロボットが人間の行動そのものを能動的に利用できれば, つまりロボットに向けられた意識的な行動のみならず, 無意識的にしている行動からの情報をもロボットが取りに行くことによって把握できれば, 人間が明示的に教示した内容以上の情報を得ることができ, この情報に基づいて自然な意図理解機能が実現できると考えられる.

本論文では, ヒューマン・ロボット・コミュニケーションの分野において, 人間の意図表現としての行動を, これまでのようにロボットが受動的に受けとる方法にかわって, 能動的に把握しそこから意図を理解する機能を提案する.

以下, 第 2 章において, まず, 人間相互のコミュニケーションをモデル化する. このモデルを基に, 人間が情報伝達にもちいている伝達チャネルの特徴と, そのチャネルの利用方法の特徴を述べる. それに基づいて, ロボットが人間の意図を能動的に理解する機能を提案する. 第 3 章では, この機能を実現するためのアーキテクチャを提案する. 第 4 章で, そのアーキテクチャを適用したロボットの一例として構築した遠隔微細作業ロボットについて述べ, そのシステム構成とそれを使った実験結果を報告する. 最後に, 第 5 章で結論を述べる.

2. 人の意図を理解する機能

本章では, ロボットが人の意図を理解する機能を考えるために, 人間相互の円滑なコミュニケーションの方法を考察する. まず人間が意図理解のために行なっているコミュニケーションの方法を明らかにし, ロボットが人の意図を理解する機能を示す.

2.1 人による人の意図理解

相手の意図を理解するためには, 相手と情報を交換する機能と, 得られた情報を解釈して意図を理解する機能とが必要である. 人間は, この 2 つの機能により相手の意図理解を行なっている. このことを説明するために, 人間相互のコミュニケーションの方法を, Fig. 1 に示すようにモデル化する. このモデルでは, コミュニケーションは, 情報交換ループと意図理解ループの 2 つのループにより実現されている.

情報交換は, 情報交換ループにおいて, 言葉を喋るとか手足を動かすといった行動により相手に情報を送り, 体の受容器を使って相手からの情報を入力することにより行なわれる. 一方, 意図理解は, 意図理解ループにおいて, あらかじめ持っている相手に対する知識 (Fig. 1 中のモデル) を参照しながら, 入力した情報を解釈することで行なわれている.

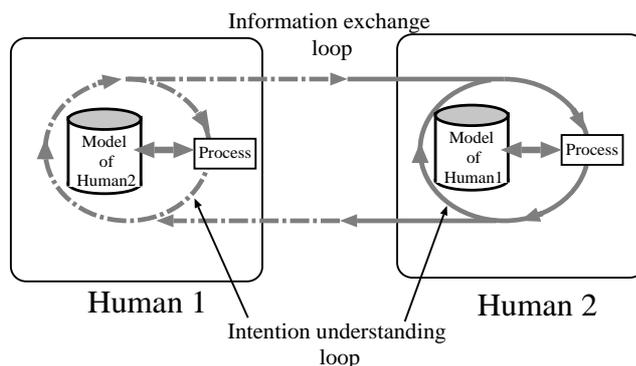


Fig. 1 Model of communication between humans

Fig. 2 は人間相互の情報伝達と伝達チャネルを示している. この図は, コミュニケーションを話し手側と聞き手側とに分けて示してある. 話し手側では, 伝達チャネルを, 意識的な部分と無意識的な部分とに分けて分類し, また, 相手を意識した伝達方法かどうかで分類している. 聞き手の部分は, 話し手の意志を理解するための伝達情報の割合が, 言語によるものが全体の約 35%, 非言語によるものが約 65%であることを示している [8] [9].

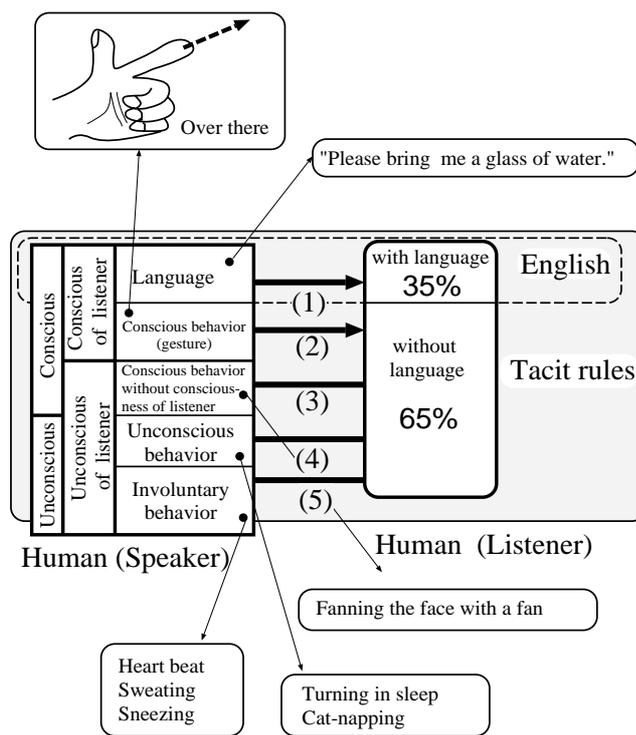


Fig. 2 Communication between humans and communication channels conveying information

伝達チャネルには, 階層性と指向性という 2 つの特徴がある. 伝達チャネルの一番目の特徴である階層性に関して, 伝達チャネルの五つの階層を以下に説明する. ただし, 以下では, 「行動」という言葉を広義に用いて, 行為, 動作, 反応, 症状などを含めた体の動きを指すものとする.

- (1) 言語による伝達チャネル
相手に対して向けた行為で、最も高次の意思伝達の手段であり、伝えられる情報の自由度は大きい。
- (2) ジェスチャーによる伝達チャネル(相手を意識した行動による伝達チャネル)
相手に対して向けた行為で、言語の代用としての要素が強いが、時には、言葉では言えないことをも伝えられる。(例)「あそこのねじ」と指さすこと。
- (3) 相手を意識しない意識的な行動による伝達チャネル
上の二つの伝達チャネルとは異なり、意思疎通を目的として相手に向けた行動ではなく、専ら自分のための行動である。(例)暑くてうちわで扇ぐ。
- (4) 無意識的な行動による伝達チャネル
相手に向けた行動ではなく、しかも自分でも無意識にとる行動である。(例)居眠りをする。
- (5) 不随意的な行動による伝達チャネル
自分の意思とは関係ない生命活動的な症状、動作、反応などである。(例)息をする。汗をかく。くしゃみをする。

ただし、同じ行動でも状況に応じてどの伝達チャネルに属するかは変わりうる。例えば、字を書くという動作を考えた場合、無意識的にすることもあれば、意識的な場合もある。しかし、ある瞬間では必ず一つの階層の伝達チャネルに属している。

次に、伝達チャネルの2番目の特徴である指向性について述べる。(1),(2)の伝達チャネルによる情報は、相手に向けられて発信した情報であるので指向性のある伝達チャネルである。(3)~(5)の伝達チャネルによる情報は、もともと相手に向けられて発信した情報ではなく無指向性の伝達チャネルである。人間は、情報の伝達手段として、指向性のある伝達チャネルだけでなく、無指向性の伝達チャネルを利用している。

人間相互のコミュニケーションでは、このような伝達チャネルを介して交換される情報の処理方法について、以下のような2つの特徴があると考えられる。

1 多重性

(1)~(5)という複数の伝達チャネルを並列的、多重的に使うことにより、円滑な情報交換を実現している。

2 暗黙のルールが存在

(1)では、日本語というルール、(2)~(5)では、常識的、本能的に知っている社会の暗黙のルールに基づいて、人間相互の意図理解を行なっている。Fig.2の背面部分は、人間相互のコミュニケーションが、互いに共通なルールの上に成り立つものであることを表している。

2.2 ロボットによる人の意図の能動的な理解機能

以上の考察から、ロボットが人と情報交換を行ない人間の意図を理解する機能を示す。人間の意図を理解するためには、ロボットは、人間の場合と同じように情報交換機能と意図理解機能を持つことが必要である。

この2つの機能の観点から、従来型ロボットの問題点を明らかにする。Fig. 3に人間と従来のロボットの情報伝達と情報の伝達チャネルを図示する。

従来のロボットの問題点は、以下の2つに整理される。

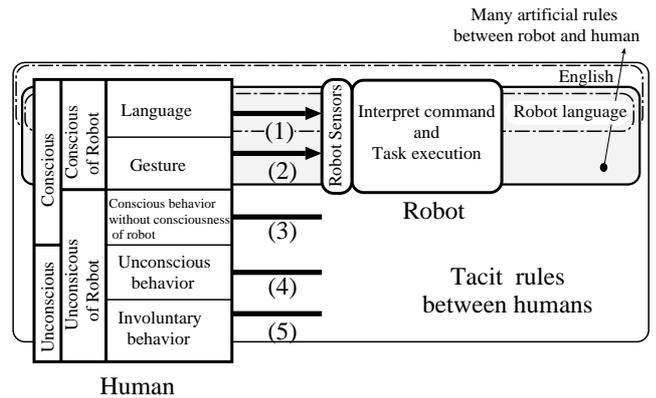


Fig. 3 Communication between human and conventional robot and communication channels conveying information

第一の問題点は、情報交換と情報処理におけるチャネルの制限にある。従来のロボットは、Fig. 3に示されるように、操作者の意識的な指示、つまり、ロボットへの指向性をもった(1)や(2)のチャネル(しかも、そのごく限られた部分の情報)しか入力してこなかった。また、たとえ、(3)~(5)のチャネルからの情報を入力できたとしても、これらの情報を処理することはなかった。そのため、従来の方法では、Fig. 1に示したような人間相互の情報交換の方法と違って、人間は、本来(3)~(5)のチャネルにあった情報を(1)や(2)のチャネルに変換することによって、全て意識的にセンサから入力しなければならなかった。

第二の問題点は、情報解釈における解釈ルールにある。ロボットが情報交換ループから得た情報を解釈するとき、ルールが必要である。Fig. 3の背面部分は、この人工的なルールに基づいてロボットと人が情報の解釈をしていることを示している。この種の人工的なルールの例として、ロボット言語が挙げられる。熟練者と初心者の差は、この人工的なルールが既知や未知かの差であるといえる。このように、従来のロボットと人間の間のルールは、人間社会で用いられていた暗黙のルールからは大きく離れており、操作者が従来のロボットの操作に熟練する際に、人間に人工的なルールを覚えるという努力を強いてきた。

本論文では、従来のロボットの問題点を解決し、人間と円滑なコミュニケーションを図って人の意図を理解するロボットが備えるべき機能として「能動的意図理解機能」を提案する。この機能は、意図伝達のメディアである人間の行動をロボットが情報収集して、そこから人間の意図を理解する機能である。この機能の特徴は、以下のI),II),III)の3つにある。

- I) (1)~(5)の階層的なチャネルからの情報を多重受信する。
- II) 多重受信された情報を並列に解釈する。
- III) 人間が用いている暗黙のルールによって情報解釈する。

提案した能動的意図理解機能により、上述の問題点は以下のように解決できる。この機能を有するロボットは、人間が意識的に相手に伝達しようとはしていない情報をも受信することができるために、本来(3)~(5)のチャネルで伝達される情報を(1)や(2)のチャネル用に交換する負担を人に強くない。したがって、ロボットと人間は、円滑に情報交換を行なうことができる。

また、能動的意図理解機能を有するロボットは人の意図を人間の暗黙のルールによって解釈するため、初心者には、この機能を有するロボットを、複雑な操作方法を覚えることなしに操作することができる。

3. 能動的意図理解機能を実現するアーキテクチャ

この章では、第2章で提案した能動的意図理解機能を実現するアーキテクチャを示す。

3.1 情報交換ループと意図理解ループ

能動的意図理解機能を実現するために、Fig. 4に示すような情報交換ループと意図理解ループをもつアーキテクチャを提案する。

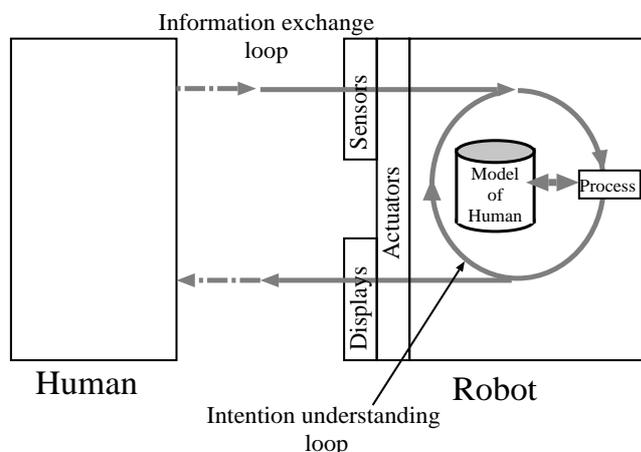


Fig. 4 Proposed architecture of communication between human and robot

この図は、ロボットが情報交換ループから情報を入力し、意図理解ループにおいて人間についての知識（以下、内部モデルと呼ぶ）を参照することによって意図理解を行なうことを示している。

Fig.5にロボットが情報交換ループと意図理解ループを形成するためのフローチャートを示す。

情報交換ループを形成するためには、Fig.5の左の部分に示すような人間の階層的な行動に対応した入出力インタフェースとしての、センサ、アクチュエーター、ディスプレイを持たなければならない。

一方、意図理解ループは、センサからセンサデータの獲得、行動理解、意図理解、センシングモードの選択という処理を繰り返すことによって実現される。このループは、図に示すように(1)~(5)の各階層に存在している。そして、(1)~(5)の行動に対応した内部モデルを参照することによって、人間の各階層の行動を介して得られる情報を並列に理解する。

各階層の内部モデルは、以下の「行動モデル」、「意図モデル」、「センシングモデル」から構成される。行動モデルは、センサデータから人間の行動を判断するために用いられる。意図モデルは、行動データから人間の意図を判断し、また、現在の意図から次に人間が意図することを予測するのに参照される。セ

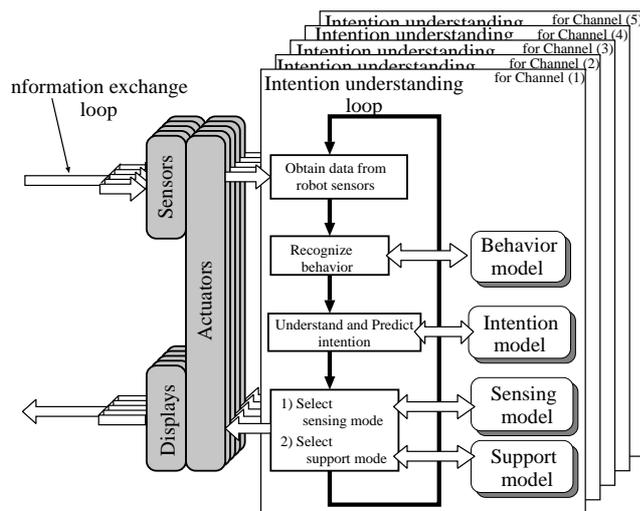


Fig. 5 Flow chart of active understanding of human intention

ンシングモデルは、予測された意図に基づいて次にロボットがセンシングする際の、センサの種類、センサの配置、センサデータの処理方法といったセンシングモードを自動選択するためのルールを蓄えたものである。

また、ロボットは、人間の意図に沿った支援を与えるために、「支援モデル」を参照して意図から支援内容を導出する。

3.2 人間を取り巻くセンサ構成

能動的意図理解機能を実現するためには、ロボットのハードウェアアーキテクチャとして「取り巻きセンサ構成」をとる必要がある。取り巻きセンサ構成とは、センサ群で人間を取り囲むことによって人間の行動に敏感な配置をとり、人間からの情報を多重受信しやすいセンサの集合体を形成するという考え方である。Fig.6に、取り巻きセンサ構成の概念図を示す。

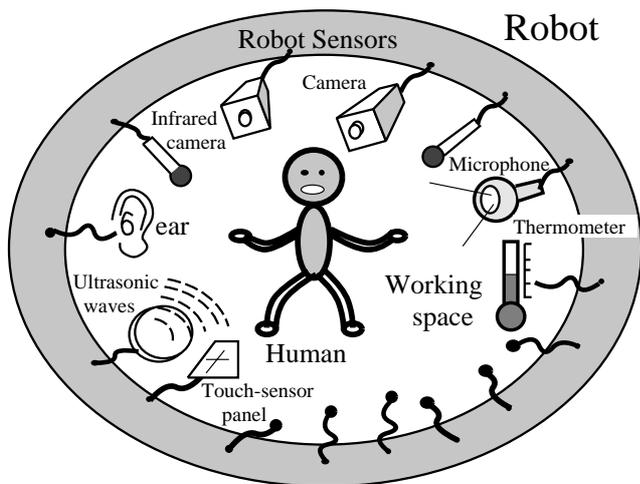


Fig. 6 Robot's multi-sensors surrounding human

4. 遠隔微細作業への適用と実験

この章では、能動的意図理解機能を持つロボットの具体例として遠隔微細作業ロボットを示し、このロボットの有効性を検証するために行なった実験を述べる。

4.1 遠隔微細作業

本論文で取り上げる遠隔微細作業は、ペン型マスターマニピュレータ（以下ペン型マスタと呼ぶ）を、上向きモニタ上で操作することによって、スレーブロボットが、ミクロンオーダーの微小対象物のハンドリングを行なうものである [10] [11] [12]. このシステムを用いて、セラミクス積層基板上のマイクロパタンの補修作業を実施することを考えると、工具の移動量が 10[cm]~20[cm] 程度であるのに対して、削るなど補修に要する移動量は 100[μm] 程度である。したがって、粗動モードと微動モードが必要である。しかし、このような遠隔微細作業を行なう際、常に粗動モード、微動モードといった画一的な制御モードを採用していたのでは、円滑に作業を行なうことは困難であり、円滑な作業実施のためには、操作者の意図を反映して、動的に、かつ、適切に制御モードを変化させることが求められる。スイッチ操作のような意識的な行動（階層（2））を要求することなく、操作者の無意識的な行動による情報の伝達チャンネル（階層（3）や（4））を利用することによって、このモードの切替えを行うことができれば、円滑に遠隔微細作業を実施することができる。

4.2 能動的意図理解機能の適用

今、操作者がペン型マスタを操作することにより、スレーブ側におかれたマイクロパタンを削る作業を考えてみる。Fig.7にペンを持つ操作者の代表的な手の状態を示す。

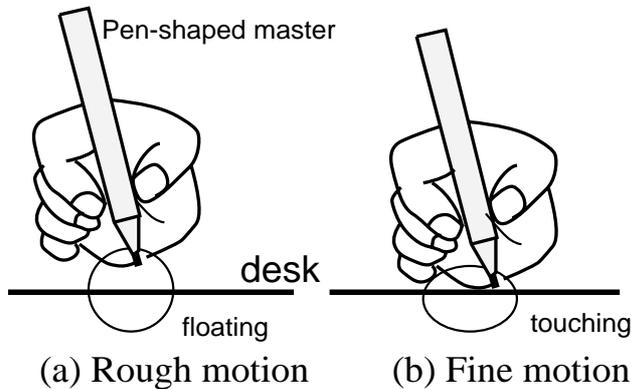


Fig. 7 Typical situations of hand of operator

(a)の状態は手と机が接触していないことを示し、(b)は、接触していることを示している。(a)の状態の時、操作者は大まかに動かしたいという意図を持っていることが多く、また、(b)の状態の時、微妙な位置合わせをしたいという意図を持っていることが多い。これを遠隔微細作業において粗動微動モードの切替えに応用して、行動モデル、意図モデル、支援モデルを Table 1, Table 2, Table 3のように作成した。

無意識的な行動のチャンネルである手と机との接触を検知するためのセンサとして、タッチパネルを用いた。また、意識的な行

動のチャンネルである操作者の手の動き（ペンの動き）は、ペン型マスタに2つのLEDを取り付け、それをCCDカメラで検出した。

Table 1 Behavior model

センサデータ	行動データ
タッチパネルから接触情報データがない。	手の側面が机に接触していない。
タッチパネルから接触情報データがある。	手の側面が机に接触している。

Table 2 Intention model

行動データ	意図データ
手の側面が机に接触していない。	操作者は、粗動を意図している。
手の側面が机に接触している。	操作者は、微動を意図している。

Table 3 Support model

意図データ	支援内容
操作者が、粗動を意図している。	スレーブロボットを粗動モードで制御する。
操作者が、微動を意図している。	スレーブロボットを微動モードで制御する。

4.3 実験システム

遠隔微細作業を実施するために、3章で述べたアーキテクチャをもつシステムを構成した。システム構成を Fig.8に示す。このシステムは、ヒューマンインターフェース部、スレーブロボット、それらを制御する処理系の3部分からなる。以下に、これら3部分の機能について説明する。

ヒューマンインターフェース部:

Fig.9にヒューマンインターフェース部の概観を示す。ここで、操作者との間に情報交換ループが形成される。ヒューマンインターフェース部は、ペンの3次元位置を検出するための二つのLEDが取り付けられたペン型マスタ、これらのLEDを検出する二台のCCDカメラ、スレーブロボットの作業状況を操作者に提示するモニター、操作者の手の側面とモニターの接触を検知するタッチパネルからなる。タッチパネルは、モニターの表示面に張り付けられている。操作者は、ペン型マスタを手で持ち、CRTモニターを見ながらスレーブロボットに遠隔作業を実施させる。上述の入力デバイスにより、ペンを動かすという操作者の意識的な伝達チャンネルと、机に接触するという無意識的な伝達チャンネルとを多重入力する。また、このシステムにおける取り巻きセンサは、CCDカメラとタッチパネルである。

スレーブロボット:

Fig.10にスレーブロボットの概観を示す。スレーブロボットは、作業台、作業台を鉛直上方から見る光学顕微鏡、作業台をx,y,z方向へ移動させる3軸並進ステージ、スレーブマニピュレータからなる。操作者は、顕微鏡下で、作業対象を任意の位置に移動させ、スレーブマニピュレータを用いて遠隔作業を実施させることができる。

処理系:

処理系は、ホストコンピュータ（Sun, Sparc IPX）、CCDカメラからの画像データを実時間で処理するための画像処理装置（Datacube, MaxVideo200）、スレーブロボットを制御する制

御装置から成っている。意図理解ループは、ホストコンピュータ上で形成されている。画像処理装置は、ペン型マスタの3次元位置を高速に演算している。

システムは、ソフトウェア的には、情報交換ループと意図理解ループを有するアーキテクチャを、ハードウェア的には、取り巻きセンサを有するアーキテクチャをとることによって、能動的意図理解機能を実現している。システムアーキテクチャをFig.11に示す。図中の意図理解ループ(1)は、ステージをどの方向に動かすことを意図しているかを判断するループであり、意図理解ループ(2)は、粗動、微動のどちらを意図しているかを判断するループである。これら2つの意図理解ループは、並列に動作している。

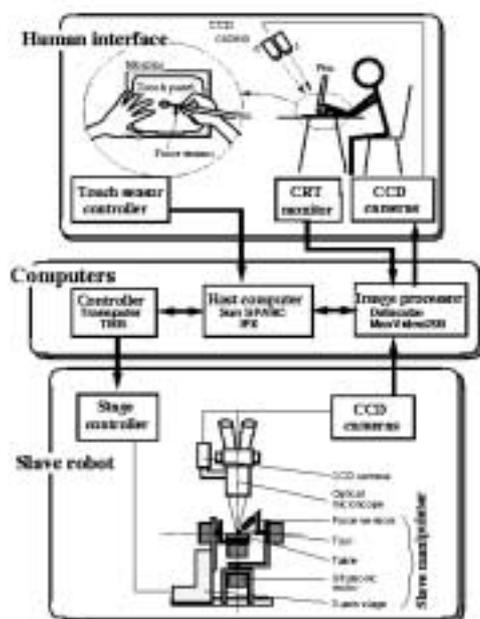


Fig. 8 System configuration

4.4 実験

遠隔微細作業ロボットの有効性を検証するために以下の実験を行なった。操作者は、スレーボットの作業台におかれた電子回路のマイクロパタンの補修をペン型マスタを用いて行なう。同じパタンを用意し (Fig.12を参照), (1) 粗動, 微動の切替えスイッチがある場合と (2) 本論文で提案した方法による自動切替えを使用した場合の補修作業にかかった時間を複数の被験者 (6人) に対して測定し比較した。実施した補修とは, Fig.12の円で囲われた部分の中に点在する欠陥パタン (五個) をスレーボットが持っている工具でパタン全体をその周囲を含めて滑らかに削り取ることによって取り除く作業を指す。被験者にはあらかじめ粗動, 微動切替えスイッチの使い方, タッチパ

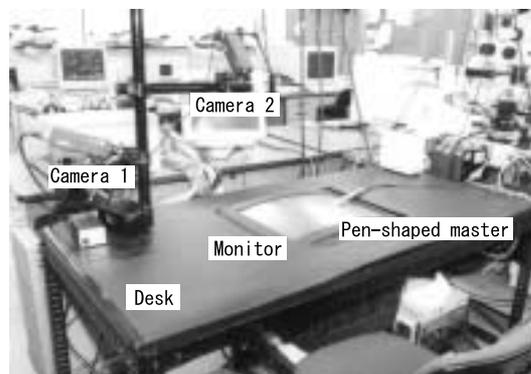


Fig. 9 Photo of human interface part

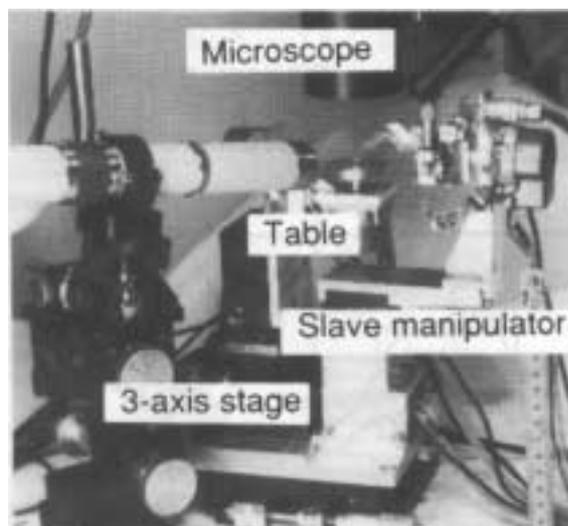


Fig. 10 Photo of slave robot

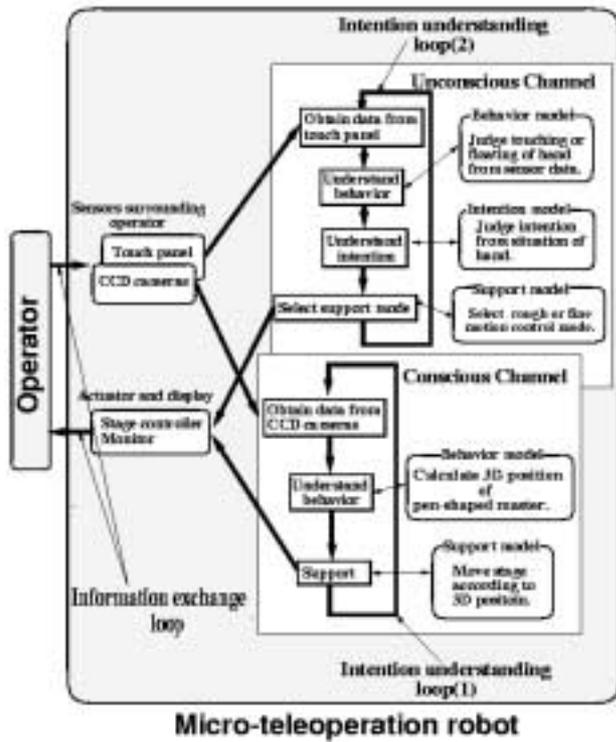


Fig. 11 System architecture

ネルの作動原理が説明してある。粗動、微動切替え以外の影響を少なくするため、測定は各被験者が遠隔微細作業ロボットを使った補修作業に慣れたと思われる時点から5回行いその平均をとった。

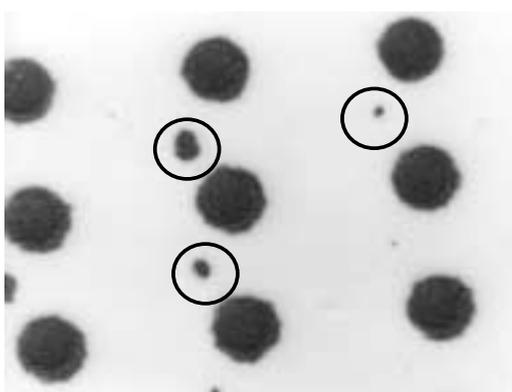


Fig. 12 Example of micro patterns

Fig.13, Fig.14に補修したパターンごとの作業時間の関係を被験者別に示す。Fig.13は、実験条件(1)の時の結果を示し、Fig.14は実験条件(2)の時の結果を示している。この結果から補修にかかった時間は被験者間でかなりの差が見られるものの、同一被験者では1回の補修にかかる時間がほぼ一定で再現性のあることが分かる。このことから、被験者は補修作業にほぼ習熟して

おり、実験条件(1),(2)の結果の相違は粗動、微動切替えの影響によるものと考えられる。また、実験条件(1),(2)による結果の相違をみるために、データに再現性があることから被験者全体の平均作業時間をもって比較することにする。Fig.15に補修したパターンごとの被験者全体の平均作業時間を実験条件別に示す。

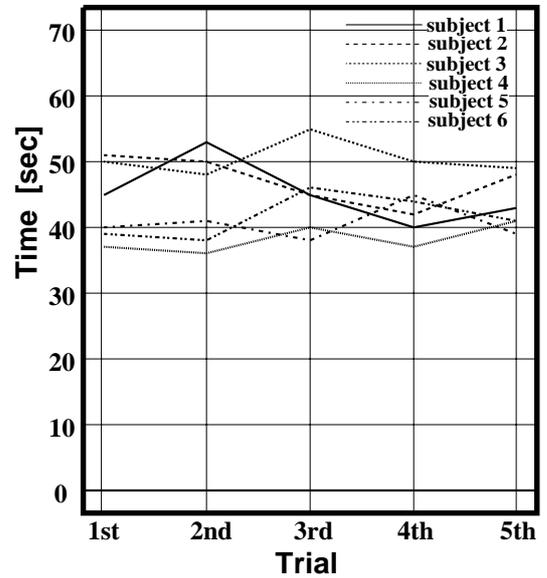


Fig. 13 Repairing time for each pattern in experiment(1)

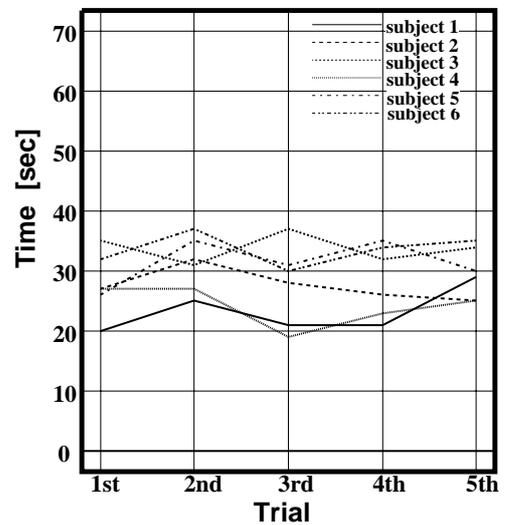


Fig. 14 Repairing time for each pattern in experiment(2)

以上の結果から補修に要した時間には個人差があるものの、同一被験者では実験条件(2)に優位性が認められる。本実験で提案した手法が操作性に優れている理由として、1)手の接触情報という無意識的な行動を利用したモードの切替えを行なっているため、モードの切替えをするための行動による補修作業の中断がなく、また、余分な意識を費やすことなく補修作業に集中できる、2)無意識的な行動を利用しているため、その切替えの方

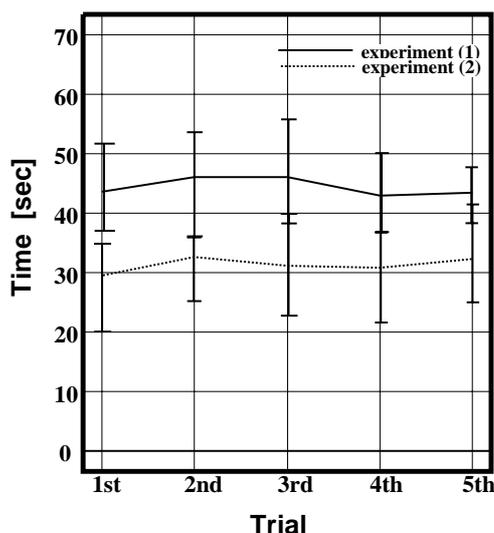


Fig. 15 Comparison of repairing time between experiment(1) and experiment(2) (average time of subjects)

法を新たに覚えることに負担がないという点があげられる。

5. 結 論

人間の意図に沿った支援を提供するロボットに必須な機能として、人間の行動からその意図を理解する「能動的意図理解機能」の概念を示した。これは、意図伝達のメディアである人間の行動をロボットが情報収集して、そこから人間の意図を理解する機能である。この機能の特徴として、1)人間の階層的な伝達チャンネルからの情報を多重的に入力すること、2)多重的に入力された情報を、並列して解釈すること、3)入力した情報を人間の暗黙のルールに基づいて解釈をすることが挙げられる。

本論文では、また、能動的意図理解機能を実現するためのアーキテクチャを提案した。このアーキテクチャの特徴は、1)ロボットが人を取り囲んだセンサ群構成をとること、2)人間から多重入力する情報交換ループと入力情報から人間の意図を解釈する意図理解ループをロボットが有することである。

このアーキテクチャを具体的に適用したロボットとして、遠隔微細作業ロボットを構築した。このロボットは、操作者の手と機の接触をタッチセンサパネルを利用することによって検知し、粗動と微動を選択する。その接触動作は、操作者がロボットに対して無意識にしている行動の例である。その自動選択支援により、操作者はロボットに意識的に意図を教示することなく、微細作業では頻繁に生じる粗動、微動の選択を円滑に行なうことが可能になった。この例のように、能動的意図理解機能に基づいて、人間の行動を情報伝達チャンネルとして積極的に利用することは、ロボットの操作性の向上に有効であることが確認され本論文で提案した機能の有効性が検証された。また、提案したアーキテクチャが能動的意図理解機能を実現する上での有効な手段を与えることが検証された。

人間の行動に適した取り巻きセンサの開発と、計算機での人間のモデル構築法と入力情報の処理方法の確立、能動的意図理解機能の適用範囲の拡大などは将来の課題である。

最後に、本研究を推進するにあたり助言を与えて下さった小谷良信講師(現、東京電機大学)に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- [1] K. Kawamura, S. Bagchi, M. Iskarous, R. T. Pack, A. Saad: "An Intelligent Robotic Aid System for Human Service", Proc. of AIAA/NASA Conference of Intelligent Robots in Field, Factory, Service, & Space, 1994. In press.
- [2] 安梅, 高山: "高齢化社会の現状", 日本ロボット学会誌, Vol.11, No.5, pp602-607, 1993.
- [3] 平井, 佐藤: "テレロボットにおけるワールドモデル管理のための操縦行動の理解機能", 日本ロボット学会誌, Vol.7, No.6, pp714-724, 1989.
- [4] 國吉, 井上, 稲葉: "人間が実演して見せる作業の実時間視覚認識とそのロボット教示への応用", 日本ロボット学会誌, Vol.9, No.3, pp295-303, 1991.
- [5] 池内, 末広: "視覚による組立作業理解のための作業モデルとそれに基づく動作生成", 日本ロボット学会誌, Vol.11, No.2, pp281-290, 1993.
- [6] 小林, 原, 内田, 大野: "アクティブ・ヒューマンインタフェース・ロボット(AHI)のための顔ロボットの研究—顔ロボットの機構と6基本表情の表出—", 日本ロボット学会誌, Vol.12, No.1, pp155-163, 1994.
- [7] 佐藤, 西田, 市川, 畑村: "ヒューマンインターフェースロボット-遠隔微細作業への適用-", 第11回日本ロボット学会学術講演会予稿集 Vol.1, pp363-366, 1993.
- [8] Marjorie Fink Vargas, 石丸正 訳: "非言語(ノンバーバル)コミュニケーション", 新潮選書, 1987.
- [9] 立川啓二ら: "コミュニケーションの構造", NTT出版, 1993.
- [10] 佐藤, 市川, 光石, 畑村: "微細作業ロボット操作のためのヒューマンインターフェースシステム", 第10回日本ロボット学会学術講演会予稿集, Vol.1, pp425-428, 1992.
- [11] T. Sato, J. Ichikawa, M. Mitsuishi: "Micro teleoperation system concentrating visual and force information at operator's hand", Proc. of International Symposium on Experimental Robotics, pp118-124, 1993.
- [12] T. Sato, K. Koyano, M. Nakao, Y. Hatamura: "Novel manipulation for micro object handling as interface between micro and human world", Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Vol.3, pp1674-1681, 1993.