

福祉ロボットに適応した作業指示技術の研究

- 介護 福祉支援ロボットの開発 -

今井 智彦 小川 行宏 千原 健司 張 明
張 勤 棚橋 英樹 稲葉 昭夫

A Human-Friendly Interface Design for Instructing Welfare Robot

- Developing of Welfare Support Robot -

Tomohiko IMAI Yukihiro OGAWA Kenji CHIHARA Ming CHANG
Qin ZHANG Hideki TANAHASHI Akio INABA

あらまし 現在、家庭内において高齢者などの自立支援や作業支援を行う福祉ロボットの実現が期待されている。しかし、それを実現するためには多くの問題が残されており、その一つに“使いやすさ”という点がある。そこで本研究では、誰もがロボットを利用できるようにするために、簡単に作業指示ができるインタフェースの開発を目指す。具体的には、ロボットの目（カメラ）を通して見える画像と補助情報およびボタンを用いて作業指示ができる指示画面と、その画面からの作業指示を実際に遂行するロボットの自律化に必要な機能を開発する。本報告では、作業指示の基本方針を定め、それを基に作業の指示方法および指示画面の構成を検討した。また、家庭内における軽量物体の搬送作業を想定し、テストベッド上への実装を試みた。

キーワード 福祉ロボット、作業指示、ヒューマンインタフェース、位置計測

1. まえがき

企業の製造ラインにおいて溶接や塗装作業を行っている産業用ロボットは、企業におけるものづくりに多大な貢献をしてきた。産業用ロボットの実現には、多くの基本機能の獲得を目指した研究の成果が生かされており、現在もその高度化のための研究が続けられている。

わが国の全人口に占める65歳以上の人口比率（高齢率）は、2015年には25%に達すると予測されている。このような超高齢社会を迎えようとしている現在、高齢者の自立した生活を確保し、その家族の身体的・精神的・経済的な負担を軽減するための対策を講ずることが急務となっている。このため、企業の製造ラインではなく、家庭のような一般の人々が暮らしている環境において福祉貢献できる民生用ロボットの開発が進められている。これまでに開発されたロボットとしては、手の不自由な人の食事支援をするロボット^[1]や、人とのコミュニケーションをするペットロボット^[2]などがある。今後、家庭内において高齢者などの自立支援や作業支援を行う福祉ロボットを実現し、それにより人々の日々の暮らしで発生する様々な負担を軽減することが期待されている。そこで本研究では、福祉ロボットの実現に必要な技術のうち、ロボットに作業指示をするためのインタフェースの

開発を目指す。

福祉ロボットを実現するためには多くの問題があり、その一つに“使いやすさ”という点がある。これまでロボットに作業指示する場合は、産業用ロボットに見られるように、専門技術者がロボット特有の方法を用いて指示してきた。しかし、その方法では一般の人々が作業を指示することは困難であり、仮にできたとしても使いにくいものとなる。したがって、福祉ロボットの作業指示には、一般の人々が指示方法を容易に理解でき、使いやすいと感じられる方法が必要となる。

現在開発されている民生用ロボットでは音声指示が多く用いられている^[3]。しかし、音声だけではロボットがすべての指示を正確に理解し行動することが非常に困難であり、その実現にはまだ多くの期間を要する。

本研究では、人がロボットの状況を把握しながら指示できる方法を考える。その手法としてロボットの視点から作業環境を見る方法がある。これを用いた作業指示インタフェースの研究として、相澤ら^[4]は“WYTIWYG Interface”というGUIベースのインタフェースを提案している、また、Layら^[5]はロボットアシスタントのコンセプトビデオにおいて同様の提案をしている。これらの研究では、ロボットに搭載されたカメラから取得した画像情報に対して人が直接指示する方法を用いており、これ

はロボットを直感的に指示できる有効な方法である。しかし、作業指示の中には画像情報への直接指示だけでは指示が難しい場面（例えば別の部屋へ移動指示）が存在する。

そこで本研究では、ロボットの目（カメラ）を通して見える画像と補助情報およびボタンを用いて作業指示ができる指示画面を開発する。また、その画面からの作業指示を実際に遂行するロボットの自律化に必要な機能を開発する。

本報告では、はじめに作業の指示方法および指示画面の構成を検討する。次に、家庭内における軽量物体の搬送作業を想定し、テストベッド上への実装を試みる。

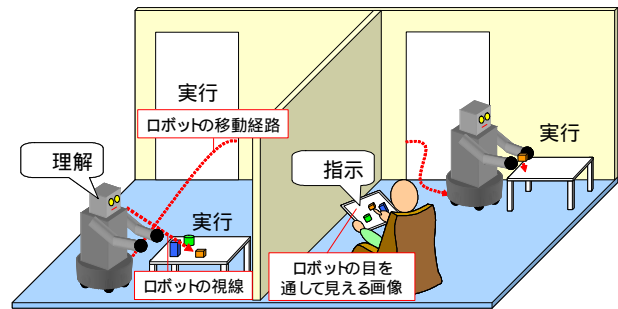


図1 作業のイメージ図



図2 作業の流れ

2. 作業指示インタフェースの検討

2.1 基本方針

現状では人のあらゆる作業指示を理解して作業を遂行することができる完全自律型ロボットを開発することは非常に困難であり、実現にはまだ多くの開発期間を要する。そこで本研究では、ロボットにとって難しい状況の判断、行動の選択などは人が指示し、ロボットにとって比較的簡単に行える計測、移動などはロボットが自律的に動作する、というように人とロボットが作業分担することを基本方針とする。この方針に従って誰もが簡単に作業指示ができるインタフェースの開発を行う。

図1に人がロボットに作業指示を行いロボットが作業を遂行するときのイメージ図を示す。また図2に作業の流れを示す。人がロボットに遂行させる作業を細分化すると“指示”、“理解”、“実行”の3つに分けることができる。まず、人がロボットに作業指示をすると、ロボットはその指示内容を判断する。次に、ロボットは指示内容に従って行動するために必要な情報（例えば物体の位置など）を理解する。必要な情報を理解できると、ロボットは実際に作業を実行する。

ここで、人とロボットの作業分担を次のように考える。現状ではロボットは人の意図を完全に把握することが困難なため、“指示”については人が担い、逐一指示を出すこととする。“実行”についてはロボットをできる限り自律化することによりロボットが担うようにする。ロボットを自律化するためには、家庭内で作業を行うことを考慮すると、対象物体や作業環境を認識できることが重要であると考えられる。しかし、現状では完全な認識は困難なため、“理解”についてはロボットで認識できる部分はロボットが担い、認識できない部分は人が担う。また、ロボットが認識を誤った場合は人が補正する。

このように、使いやすい作業指示インタフェースを検討するには、人とロボットとの接点である“指示”の検討だけでは不十分であり、ロボットと作業環境との接点である“理解”、“実行”も合わせて検討する必要があると考える。それは、人とロボットが作業分担をした際、

どの程度までならば人が容認できるかが明確ではないためである。そこで、本研究では図1のような作業過程全体を通して“使いやすさ”を検討する。

2.2 指示方法

“指示”は複数の指示の組み合わせであり、一つの指示は「これを取れ」や「ここへ行け」という形に細分化できる。そこで、指示の最小単位を「X{を,に,へ}Yする」とする。ここで、Xは物体・場所を示す言葉（名詞、指示代名詞）、Yは行動を示す言葉（動詞）が入る。この指示方法では、ユーザは一回の指示においてXとYを入力する必要がある。この2つの入力を容易にするため、本研究ではXの入力にロボットの目（カメラ）を通して見える画像を、Yの入力にボタンを用いる。また、Xの入力において、画像では入力が難しい場合（例えば、画像では見えない場所への移動指示）は補助情報を用いて入力を行う。このとき、指示入力の手順が一通りではなくその逆の手順が存在する場合、双方できることが望ましい^[6]。そこで本研究では、Xの入力とYの入力をどちらからでもできるようにする。これにより、ユーザが指示方法に束縛されることを低減できる。

また、“理解”、“実行”において、例えばロボットが対象物体を認識できない場合や作業中に予想外の動作をする場合のように、ロボットの自律動作だけでは不十分であるとユーザが判断した場合は、ユーザが直接操作できることも必要であると考え、そのためのボタン入力を用意する。

2.3 画面構成

本研究ではロボットの目（カメラ）を通して見える画像と補助情報およびボタンを用いて作業指示を行うため、これらを指示画面上に用意する。図3に指示画面構成を示す。画面上半分をXの入力、画面下半分をYの入力を用いる。画面左上にはロボットの目（カメラ）を通して見える画像を、右上には画像では入力が難しいときに用いる補助情報を提示する。画面下半分には、ロボットにどのような行動をさせるかを示す言葉が記されたボタン

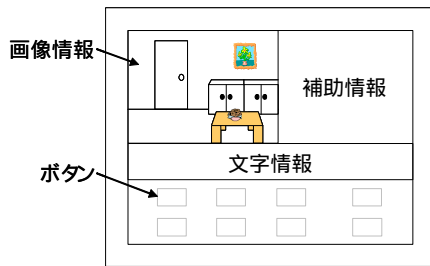


図3 指示画面構成

を配置する。このとき、ユーザが操作をする際に混乱しないようにするため、ボタンは必要最小限のものだけを表示するようにする。その他に、ユーザに入力を促すため、画面中央に文字を提示する。これにより、ユーザがどのタイミングでどのような入力をすればよいかを認識しやすくなり一連の指示をスムーズに行うことができる。

3. テストベッド

図4にテストベッドのシステム構成を示す。また、表1にロボットの仕様を示す。本テストベッドは指示端末、ロボット、これらの間の情報伝達を行うための通信機器からなる。ロボットは、軽量物体を把持するためのアームを有するヒューマノイド型の上肢と、それを移動するための台車（車輪型移動ロボット）からなる。OSについては、機構制御PCはRed Hat Linux 8.0であり、視覚制御PCはMicrosoft Windows XP Professionalである。通信については、指示端末とロボットの間は無線LAN（IEEE802.11b準拠）を、ロボット上の2台のPCは有線LAN（IEEE802.3u準拠）を用いている。また、組込型PCと各部位とはRS-232Cを用いている。

4. 実装

本報告では、“家庭内においてロボットにより部屋にある軽量物体をユーザのいる部屋に運ぶ”作業を想定し、以下に示す条件を満たすようにテストベッド上への実装を行った。

- 作業環境におけるユーザおよびロボットの初期位置、対象物体を置いた台の位置は既知。
- 対象物体は円筒形状で、大きさおよび色は既知。

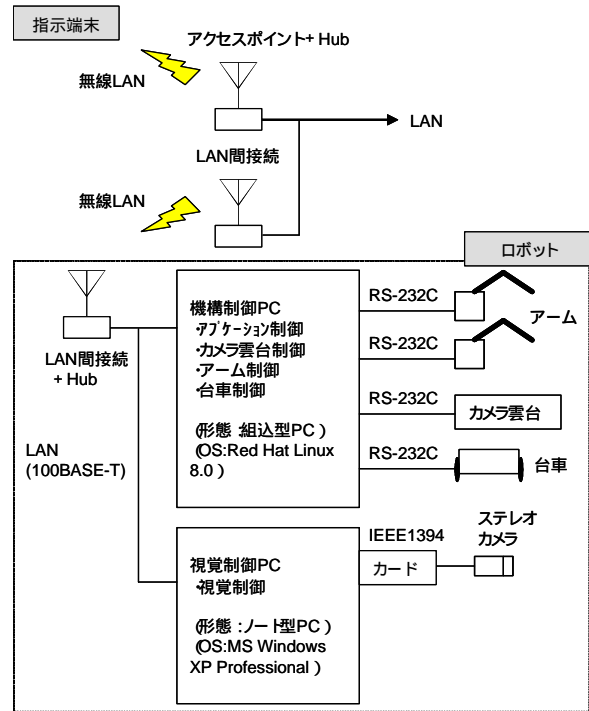
このとき、図1で示した“指示”、“理解”、“実行”を実現するため、以下に示す機能を実装した。

“指示”

- 画像上に映し出された物体を選択する。
- マップ上にてロボットの移動先を選択する。
- 「行く」「取る」「手渡す」「誘導する」ボタンを押す。

“理解”

- ユーザによる画像中の選択位置から、対象物体を特定し、その位置（補正值）を指示端末へ通



(a)概略図



(b)指示端末



(c)ロボット

(愛称:Uちゃん(優友遊/鶏))

図4 テストベッドのシステム構成

表1 ロボットの仕様一覧

部位	名称	型式, メーカー
頭部	ステレオカメラ	STH-DCAM, Videre Design製
	カメラ雲台	Biclops PT-M, TRACLabs製
腕部	ロボットアーム (5DOF)	Katana, Neuronics社製
腹部	機構制御PC (組込型PC)	SI7SM, TMC製
背面部	視覚制御PC (ノート型PC)	Inspiron 8200, Dell Computer製
下半身部	移動ロボット (2輪型)	Pioneer2-DX8, ActivMedia Robotics製

知する。

- ユーザの選択した物体の位置を計測する。

“実行”

- 既知の場所へ移動する。
- 計測した位置にある物体を把持する。
- ユーザに把持した物体を手渡す。

表2に実装に用いたコマンド一覧を示す。このコマンドはユーザの指示した作業を遂行するために用いる。作業コマンドはユーザの作業指示をロボットへ伝えるときに用い、制御コマンドは作業を遂行する際にロボット内にて用いる。これらの送受信は、指示端末 機構制御PC 視覚制御PC間をTCPにより行った。また、指示画面上に提示する画像情報は指示端末 視覚制御PC間をUDPにより行った。

4.1 指示端末

指示端末上に、指示画面を実装した。画面左上には視覚制御PCより送られてくる画像を受信・処理し、提示する。また、ユーザが画像上を選択をした場合は赤色の円を、機構制御PCより画像処理による選択位置の補正値が送信された場合は緑色の矩形を描画する。これにより、ユーザが自分の選択した位置およびそれに対してロボットが認識できているかを知ることができる。また、画面右上には今回は作業環境のマップを提示する。このとき、機構制御PCより定期的に送信されるロボットの現在位置を用いて、マップ上のロボット位置を更新する。これにより、ユーザがロボットの位置を把握しやすくなり、次の指示が容易になると考える。

表2で示したコマンドを発行するために、画面下半分にはコマンドに対応する言葉の記されたボタンを配置する。このとき、ボタンは必要最低限のものだけを表示するようにする。例えば、コマンド中に“手渡す”とあるが、これはロボットが搬送中でなければ必要としないものである。搬送中でないときは非表示に、搬送中のときは表示するようにする。また、ユーザがロボットを直接操作するための“誘導する”ボタンを用意するが、今回は台車の移動だけにとどめる。

その他の処理としては、ユーザが上記を用いて作業指示すると、それらを作業コマンドに変換して機構制御PCに送信する。

4.2 機構制御

機構制御PC上に、アプリケーション制御、カメラ雲台制御、アーム制御、台車制御ルーチンを実装した。アプリケーション制御では、指示端末より送信された作業コマンドを受信し、内容に応じて制御コマンドに変換する。カメラ雲台、アーム、台車の各制御は制御コマンドが該当する場合にその動作を行う。

4.3 視覚制御

視覚制御PC上に、画像伝送、画像処理ルーチンを実装した。なお、PC上で使用しているステレオカメラの制御はSVS (Small Vision System, SRI International製)を用いた。また、ここで取り扱う画像のサイズは320 × 240 (pixels)とした。画像伝送については、ステレオカメラの左カメラより一定間隔で画像を取得し、JPEG圧縮した後、指示端末に送信する。また、画像処理については、はじめに左右カメラより取得した画像についてそ

表2 コマンド一覧

分類	作業コマンド	制御コマンド
作業指示	行く, 取る, 手渡す	首, 足 (直進, 旋回), 腕, 画像処理
直接操作	足 (前, 後, 左旋回, 右旋回)	
ロボットの状態	作業開始, 作業終了, 停止 状態通知 (動作 / 停止, 質疑応答)	

れぞれ楕円検出を行い、それらの対応付けができたものだけを抽出する。次に、指示端末で選択された画像中の位置 (左カメラ画像中の位置) に最も近い楕円を求め、その三次元位置を算出する。なお、処理はIPL (Image Processing Library v2.5, Intel製) とOpenCV (Open Source Computer Vision Library, Intel製) を利用した。

5. まとめ

本報告では、ロボットに対して誰もが簡単に作業指示ができるインタフェースについて検討を行い、作業は人とロボットが分担して行うことを前提とした。その枠組みの中で作業指示を容易にするための一手法として、ロボットの目 (カメラ) を通して見える画像と補助情報およびボタンを用いて作業指示をする方法について述べた。また、家庭内における軽量物体の搬送作業を想定し、検討した指示画面をタッチパネルによる入力可能な端末上に、その端末からの作業指示を遂行するためにある程度の自律機能をロボット上に実装し、想定作業のもとでの動作確認を行った。今後は、指示画面の高度化およびロボットの自律性向上を図る予定である。

文献

- [1] 石井純夫, “四肢障害者のための食事支援ロボット”, 日本ロボット学会誌, Vol.16, No.3, pp.306-308, 1998.
- [2] 南部雅幸, 中島一樹, 田村俊世, “情報機器を利用した高齢者自立・介護支援”, 計測と制御, Vol.40, No.5, pp.368-372, 2001.
- [3] 例えば”wakamaru”, <http://www.sdia.or.jp/mhikobe/products/etc/robot.html>
- [4] 相澤伸, 小菅一弘, “生活支援ロボットシステム - MARY-”, 日本ロボット学会創立20周年記念学術講演会 CD-ROM, 3D25, 2002.
- [5] Klaus Lay et al., "morpha", <http://www.morpha.de/>
- [6] 加藤直樹, 大美賀かおり, 中川正樹, “携帯型ペン入力情報機器におけるペンジェスチャ入力指示インタフェース”, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.9, pp.2413-2422, 2000.