

福祉ロボットに適応した作業指示技術の研究(第2報)

今井 智彦 張 勤 小川 行宏

浅井 博次 張 明 稲葉 昭夫

A Human-Friendly Interface Design for Instructing Support Robot (II)

Tomohiko IMAI Qin ZHANG Yukihiro OGAWA

Hirotsugu ASAI Ming CHANG 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介護者の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、ロボットによる支援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。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、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を利用して作業指示ができる技術と、指示された作業を実際に遂行するロボットの自律化に必要な技術を開発する。本年度は、前年度検討した指示方法に音声を組み合わせた指示方法と、アームの位置・姿勢制御手法について検討した。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, アーム制御

1. まえがき

現在、人が生活する環境で人と共存し、仕事や生活を支援する民生用ロボットシステムの研究開発が盛んに行われている。この研究開発には、企業の製造ラインにおいて活躍している産業用ロボットシステムを実現する際に培われてきた研究の成果が活かされている。ただ産業用ロボットシステムは、人の労働を支援するものではあるが、専門技術者があらかじめ作業内容を登録し、(基本的に)人が立ち入ることを禁止した作業空間内で、画一的な作業を実行するシステムであることから、人と共存できるシステムとは言い難い。一方、民生用ロボットシステムは、人とロボットが同じ生活環境に存在し、人が要求する内容に応じてロボットが動作することが前提となる。そのため、人とロボットとの親和性を高める必要がある^[1]。人と親和性の高いロボットシステムを構築するためには、安全性、情緒性、操作性などの技術的課題を解決していく必要がある。

一般的にロボットに対して作業指示をする場合、専門技術者がそのシステム特有の方法を用いて指示していた。しかし、その方法は特有の知識が必要なため、一般の人々が作業を指示することが困難であり、仮に指示できたとしても使いにくいものである。そのため、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。

その一環として、現在ロボットの視点から得られる作

業環境の情報を活用する研究が数多く行われている。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直接指示をする方法^[2,3]や、画像情報を見ながら音声指示をする方法^[4]が検討されている。前者は、ロボットを直感的に指示できる有効な方法であるが、作業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(例えば別の部屋への移動指示)が存在する。また後者は、人が自然な形で指示できる有効な方法であるが、現状では入力される指示をロボットが理解できなかつたり誤認識したりすることがある。

本研究では、ロボットの目(カメラ)を通して見える画像を利用して誰もが簡単にロボットへの作業指示ができるインタフェースの開発を進めている^[5]。これは、人-ロボットの系(指示機能)とロボット-作業環境の系(自律機能)を合わせて検討し、ロボットによる搬送作業(移動、把持作業)を一貫して行えるようにすることを特徴とする。前回の報告では、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。本報告では、前年度検討した指示方法に音声を組み合わせた指示方法と、アームの位置・姿勢制御手法について検討する。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る。

2. 作業指示インタフェース^[5]

ユーザがロボットに対して作業を遂行させるために行

う“指示”は複数の指示の組み合わせであり、例えば「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Iを「I = X+Y」(+は前後の項を組み合わせるといふ意)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)が当てはまる。この方法では、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見(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、画像による入力が難しい場面では補助情報(例えば作業環境の地図)を用いて入力できるようにする。

図1に本研究で使用するテストベッドのシステム構成を示す。前回報告では、家庭内における軽量物体の搬送作業を想定し、テストベッド上に前述の作業指示方法と必要最小限の自律機能を実装した。本報告では、さらに操作性を向上させるため、指示機能と自律機能の高度化について検討し、これらの実装を試みる。

3. 指示機能の高度化

3.1 音声による指示

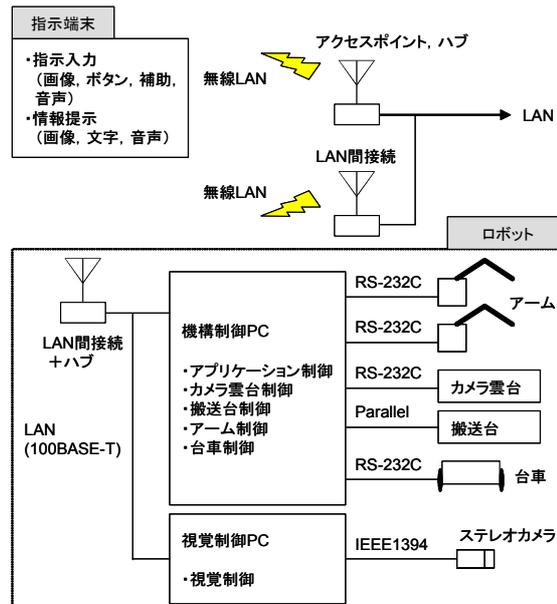
前章で述べたXとYを入力するため、音声を用いることを考える。多くの場合、ユーザがXとYを発話することに問題が生じる可能性は低い。しかし、ロボットシステム上では以下のような問題を解決する必要がある。

(1) 指示の未完了

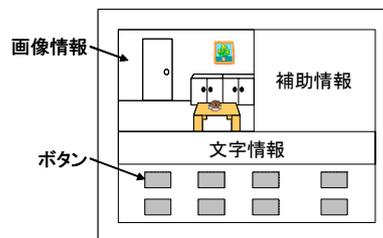
人は何かを依頼するために他者と会話を交わすとき、一回の発話で依頼内容をすべて伝えることもあれば、複数回の発話で依頼内容を伝えることもある。ユーザがロボットに指示を出すときも同様であり、一回の発話で指示が完了しない可能性がある。そのため、ロボットシステム上で期待する指示を完了させるため、指示に不足する情報を入力するようユーザに促す必要がある。そこで本研究では、ユーザとの会話を通して指示を完了する機能を付加する。例えば、ユーザより「Yして」という指示があった場合、Xが不足しているため、ロボットシステムはYに応じて「どれですか?」とか「どこですか?」とユーザに提示してXの入力を促すようにする。

(2) 指示の誤認識

現在開発されている音声認識システムは、いずれにおいても入力された言葉を完全に認識することができない。そのため、ユーザからの指示があったにも関わらず指示を受け付けられなかったり、ユーザからの指示をユーザの意図しない指示として受け付けてしまったりする可能性がある。この対策としては、例えば音声認識システムの認識結果が登録された指示と一致しているかどうかを判断し、一致しない場合は別手法を用いて再度認識を試みることにより認識できる言葉を増やすという方法がある^[4]。しかし今回は音声認識システムで認識できる範囲



(a) 概略図



(b) 指示画面



(c) 前回報告のロボット外観 (d) 本報告のロボット外観

図1 テストベッドのシステム構成

にとどめて指示を判断する。

(3) 指示の複雑化

音声による指示では、画面による指示と比較して入力される項目が増えてしまうことが考えられる。例えば、物体を選択する場合を考える。画面による指示では、画像中の物体を選択すればいい。しかし、音声による指示では、画像中の物体についての情報を発話しなければならないが、画像中の状況によりその内容が変化する。画像中の物体がすべて異なる名称であれば、その名称だけを発話すればいいが、同じ名称の物体がある場合は、名称に加えてその特徴などを発話する必要がある。このように、前節で述べたX,Yだけでは音声による指示が不十分となることがある。ただ人が使用する言葉をすべて網

羅することも困難である。そこで今回はXを修飾する言葉W（形容詞）にとどめて追加する。

3. 2 指示の組み合わせ

画面(画像やボタン)による指示と音声による指示は、それぞれが独立して機能するのではなく、ユーザが状況に応じて自由に選択して使用できるように、連係して機能した方が、より指示しやすくなると考える。しかし、Xについては、画面による指示と音声による指示では得られる情報の性質が大きく異なる。例えば、物体を選択する場合、前者では画像中の位置となるが、後者では物体に関する言葉となる。そこで、画面による指示と音声による指示を対応づける必要がある。その手法として、あらかじめ知識データベースを構築しておき、これを基に指示内容に応じた固有データを抽出することで、両方の指示に共通の情報を得るという方法が考えられる。しかしその方法は、指示対象の認識(物体や場所の認識)が必要不可欠であるため、今後の課題とする。今回は指示入力された時点で入力毎にあらかじめ登録された識別子を付与し、これらに応じて後段の処理に必要な最小限のデータを抽出することとする。

4. 自律機能の高度化

4. 1 アームによる物体把持

アームに物体を把持させるためには、物体が存在する位置にハンド先端を移動させ、それと同時に対象物体の状態に応じてその姿勢を制御する必要がある。今回の搬送作業においては、テーブルのような台上に配置された物体の把持を基本動作として想定する。すると、多くの場合、ハンド先端の姿勢が床面と水平になるように制御すれば物体を把持できると考える。

図1(c)に前回の報告で使用したロボットの外観を示す。アームはロボットの肩部分に、産業用ロボットと同様、垂直置きに取り付けられている。この場合、ハンド先端

の姿勢を一意に決められるため、ハンド先端の位置だけを制御していた。図1(d)に本報告で使用するロボットの外観を示す。アームはロボットの肩部分に、人と同様、水平置きに取り付けられている。この場合、ハンド先端の姿勢を一意に決められないため、ハンド先端の位置と姿勢を制御する必要がある。

4. 2 アームの位置・姿勢制御手法

本研究では、アームの順運動学モデルを制御コンピュータ内に設け、順運動学モデルが正確であれば実際のハンドも目標値通りの運動をするというセミクローズド制御方式を用いることとする。

図2に制御ブロック図を示す。なお、今回使用するアームは5自由度である。目標となるハンドの位置・姿勢と順運動学モデルにより得られるハンドの位置・姿勢を比較し、それぞれの誤差をフィードバックする。そして、それらを逆ヤコビ行列により各関節軸の駆動速度に変換し、これらの値を積分して各関節軸の角度を得ている。ここで得られた角度は順運動学モデルへの次入力となっている。このループは誤差が決められた閾値を下回るまたは角度の計算回数が既定回数を超えるまで繰り返される。

ここで、位置誤差については、目標と順運動学モデルにより得られる位置との差として、非常に単純かつ一意に求められる。しかし、姿勢誤差については、姿勢ベクトルを修正するためにベース座標系の各軸周りに回転させる微小回転量 δx , δy , δz の組み合わせが無限に存在するため、一意に求めることができない。

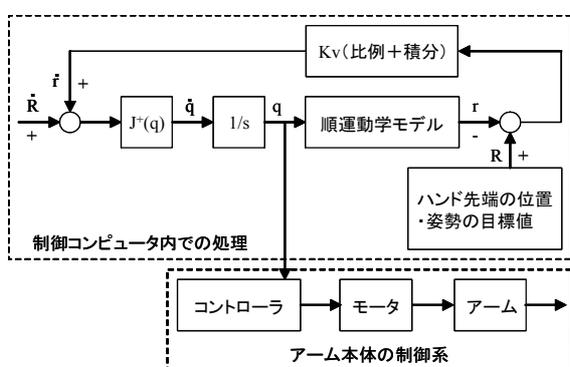
そこで本研究では、アームの持つ特異姿勢を回避する観点からも、可操作性の概念^[6]を用い、最も可操作性を大きくするベース座標系の軸についての微小回転を採用することとする。 R_1 をベース座標系に対するハンド先端の目標姿勢ベクトルとし、 R_2 をベース座標系に対するハンド先端の現在姿勢ベクトルとしたとき、ベース座標系の各軸周りの微小回転量 δx , δy , δz とハンド先端の姿勢を表す R_1 , R_2 との関係は近似的に

$$\begin{bmatrix} 1 & -\delta z & \delta y \\ \delta z & 1 & -\delta x \\ -\delta y & \delta x & 1 \end{bmatrix} R_1 \approx R_2 \quad (1)$$

と表せる。式(1)を満足する δx , δy , δz の組み合わせは無限に存在しているが、ハンドの持つ特異姿勢の回避を考慮した微小回転量について、次のような求め方を提案する。ベース座標系の各軸周りの微小回転量 δx , δy , δz とアームの関節軸 $\theta_1 \sim \theta_5$ における微小回転量 $\Delta \theta_1 \sim \Delta \theta_5$ との間にはヤコビ行列 $J(q)$ より

$$[\delta x, \delta y, \delta z]^T = J(q) \cdot [\Delta \theta_1, \Delta \theta_2, \Delta \theta_3, \Delta \theta_4, \Delta \theta_5]^T \quad (2)$$

という関係が成立している。これより関節軸 $\theta_1 \sim \theta_5$ に関する可操作性 ω について評価する。



R : 目標とするハンド先端の位置・姿勢 R-dot : 目標とするハンド先端の速度
 r : ハンド先端の位置・姿勢 r-dot : ハンド先端の速度
 q : 関節軸の角度 q-dot : 関節軸の駆動速度
 $r - R = [dx, dy, dz, \delta x, \delta y, \delta z]^T$

図2 アーム制御ブロック図

$$\omega = \sqrt{\det J(q)J^T(q)} \quad (3)$$

δx , δy , δz のうちの一つを0とした時の可操作度をそれぞれ求め、これら3つの中で最も可操作度が大きくなるベース座標系の軸に関する微小回転を選ぶと、作業領域の大きさ、位置・姿勢精度、信頼性、安全性が高くなると考える。

5. 実装

前回の報告では、“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、以下のような条件下での実装を試みた。

- 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。

今回は、図1(d)に示すテストベッド上にて、前回報告における実装に対して追加・変更を行った。

5. 1 音声入力

指示端末上に、音声入力ルーチンを追加した。音声認識された文字列を各項目に分割し、それらに対応する識別子（数値データ）に変換した。今回は認識可能な言葉を、Xについては対象物体の名称と形状、Yについてはボタンに表示された文字、Wについては対象物体の色（赤、黄、緑）とした。なお、音声認識にはViaVoiceおよびViaVoice SDK（IBM製）を利用し、あらかじめ登録された単語や句を認識するようにした。

5. 2 アーム制御

機構制御PC上に実装していたアーム制御ルーチンを以下のように変更した。

ハンド先端を目標点に動作させるときの処理は次のようにした。はじめに、目標点から既定距離だけ離れた位置に中継点を設け、さらに目標点と中継点の間にいくつかの点を設けた。次に、中継点から目標点までの間の各点について、前章で述べた位置・姿勢制御手法を用いて、各点における各関節軸の角度を求めた。角度を目標点まですべて求めることができた場合は、中継点、目標点の順にアームを実際に動作させた。角度を求められない場合は、中継点を変更して再度同じ処理を行った。いくつか中継点を変更しても角度を求められない場合は、処理を終了した。

5. 3 動作確認

実装した項目について動作確認を行った。図3に把持作業を指示したときの指示画面およびアーム動作の例を示す。この場合、ユーザにより指示された上部が赤い円筒形状の物体をロボットに把持させることができた。

6. まとめ

本報告では、前回報告した方法に音声を組み合わせた



(a) 指示画面



(b) アーム動作
図3 把持作業例

指示方法と、アームの位置・姿勢制御手法について検討した。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および動作確認を行った。今後は、指示できる項目を増やしつつ指示が複雑にならない画面設計をし、この評価を行う予定である。

文 献

- [1] 人間共存型ロボット研究専門委員会，“人間共存型ロボットシステムにおける技術課題”，日本ロボット学会誌，Vol.16, No.3, pp.288-294, 1998.
- [2] 相澤伸，小菅一弘，“生活支援ロボットシステム-MARY- -第2報：複数の作業への対応-”，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'03講演論文集 CD-ROM, 1A1-2F-D8, 2003.
- [3] 木野泰之，岡田慧，稲葉雅幸，井上博允，“視覚主導型ヒューマノイドロボットの遠隔操作システム”，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'03講演論文集 CD-ROM, 2A1-1F-G6, 2003.
- [4] 濱田純，榎原靖，矢野恵生，滝澤正夫，白井良明，三浦純，島田伸敬，“必要に応じてユーザと対話しながら行動するサービスロボット”，第21回日本ロボット学会学術講演会 CD-ROM, 1E26, 2003.
- [5] 今井智彦，小川行宏，千原健司，張明，張勤，棚橋英樹，稲葉昭夫，“福祉ロボットに適応した作業指示技術の研究”，岐阜県生産情報技術研究所研究報告，No.4, pp.23-26, 2003.
- [6] 吉川恒夫，“ロボット制御基礎論”，コロナ社，1988.