

人間とロボットの協同作業における 知的理解システムに関する研究

A Study of Behavior Recognition System on Man-robot Cooperative Task Execution

○福士 哲*, 稲葉雅章*, 郭 海蛟*, 中尾和夫*, 阿部健一*

○Satoru Fukushi*, Masaaki Inaba*, Guo Haijiao*,
Kazuo Nakao*, Kenichi Abe*

*東北大学工学部

*Tohoku University

キーワード : 行動理解 (behavior recognition), 人間-ロボット協同作業 (man-robot cooperative task execution),
知識レベル (knowledge level), 動作レベル (motion level)

連絡先 : 〒980-77 仙台市青葉区荒巻字青葉 東北大学 工学部 電気工学科 大規模システムステージ工学講座
福士 哲, Tel.: (022)217-7084, Fax.: (022)263-9163, E-mail: fukushi@largesys.ecei.tohoku.ac.jp

1. はじめに

ロボットは通常、作業計画をたて、プログラミングやティーチングなどの教示を得て作業を実行している。その作業中に作業が計画通りに進まずに、エラーとなって作業が停止する要因はいくつかある。ロボットシステムの機械的な故障、センサの誤差、障害物、対象物の形状の変更、対象物の位置の変更などがある。この中で、人間による動作介入で回復可能なものも多々あり、このような要因をエラーとは区別して本稿では例外と呼ぶ。

人間とロボットが協同作業¹⁾を行うことによってこのような例外は回復できる。しかし、学習機能を持たないため同じ例外発生時でも人間が何度も動作介入しなければならない。本研究では、知的理解システムによる学習機能を持った人間とロ

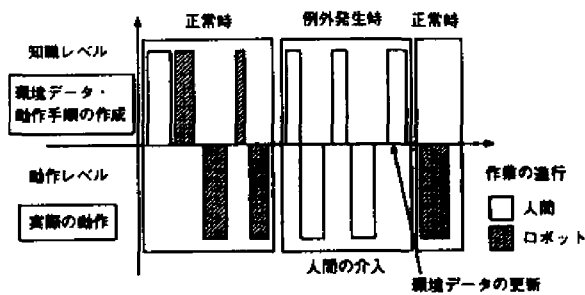
ボットの協同作業形態の構築を目的としている。提案するシステムは、人間が動作介入で行ったことを理解・学習する機能を持つことによって同じ例外に対する回復方法を、身につけることができると期待される。

2. 知的理解システム

本研究で導入を提案している知的理解システムは、人間の動作介入での行動を理解・学習する機能があり、これにより、人間の動作介入の回数を減らすことができ、また、多様な作業に対応できるロボットシステムが構築できる。

知的理解システム導入前後の比較を示したのが Fig. 1 である。知的理解システムを導入する前は例外発生時は、人間が何度も動作介入しなけれ

学習機能を持たない場合



知的理解機能導入時

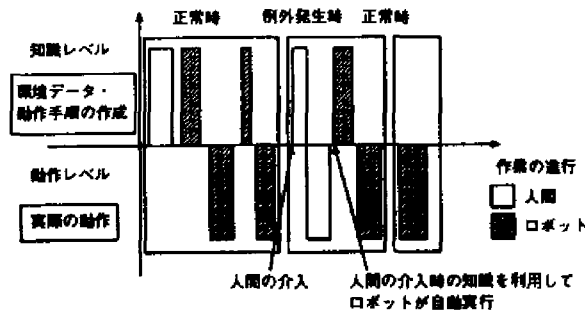


Fig. 1 知的理解システム導入前後の人間の介入例

ばならない。しかし、知的理解システム導入後は、一度、人間が動作介入するとその内容をロボットが理解・学習し、次回、同じような例外発生時はロボットが自動的に例外を回復できると期待される。

3. システム構成

知的理解システムを導入した人間とロボットの協同作業方式のシステム構成を、Fig. 2に示す。こ

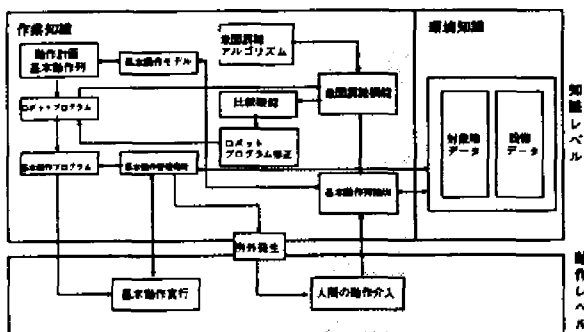


Fig. 2 人間・ロボット協同作業システム構成

のシステムの知識レベルは、動作知識と環境知識に分けられる。動作知識は動作計画部分、基本動

作列作成部分、行動理解機能部分で構成される。この中で、行動理解機能部分は本研究で新たに導入した部分であり、有効性を以下で確認する。環境知識は、対象物データと設備データである。これらは、対象物と作業環境の位置、姿勢、ロボットアームと対象物体の付着関係等である。動作レベルは、実際の動作実行である。システムの働きは、まず、動作計画から基本動作の列で記述しロボットプログラムを作成する。それによって作業を行なうが、例外が発生すると人間が動作介入によって回復する。この人間の動作介入を理解し、基本動作列で記述する。次に、意図認識アルゴリズムを用いて動作計画と人間の動作介入での基本動作列を意図認識し、意図認識結果を比較して例外回復動作を作成する。

4. 問題設定

知的理解システムの有効性を確認するために、以下の問題を考える。計画通りの作業を、A から

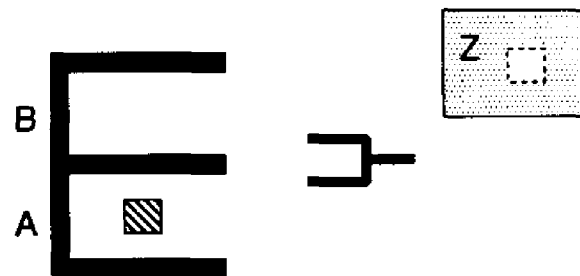


Fig. 3 問題設定

Zへブロックを運ぶこととする。例外として、ブロックがAではなくBにある場合を考える。

4.1 動作計画

基本動作モデルは、

- 1) move (自由空間での移動)
- 2) approach (対象物への接近)
- 3) depart (対象物から離れる)

4) grasp (対象物をつかむ)

5) ungrasp (対象物を離す)

である。この5つの基本動作モデルを用いて作業を記述する。作業は、 $\Pi = \{\alpha_1 \rightarrow \alpha_7\}$ と表される。ここで、 $\alpha_i (i = 1, \dots, 7)$ は、基本動作を意味する。

- $\alpha_1 = \text{move to } A$
- $\alpha_2 = \text{approach block}$
- $\alpha_3 = \text{grasp block}$
- $\alpha_4 = \text{move to } Z$
- $\alpha_5 = \text{ungrasp block}$
- $\alpha_6 = \text{depart block}$
- $\alpha_7 = \text{move to HomePosition}$

この動作列をロボットプログラムとして実装する。

4.2 人間の動作介入の動作列の抽出

例外(当初の計画とは違う要因)が発生した場合は、人間が動作介入をして例外を回復し、人間の動作介入の動作列を抽出する。その方法は、遠隔操作による方法²⁾、人間の実演による方法³⁾などがある。ここでの、人間の動作介入から得られる基本動作列は $\Pi' = \{\alpha'_1 \rightarrow \alpha'_7\}$ と表される。

- $\alpha'_1 = \text{move to } B$
- $\alpha'_2 = \text{approach block}$
- $\alpha'_3 = \text{grasp block}$
- $\alpha'_4 = \text{move to } Z$
- $\alpha'_5 = \text{ungrasp block}$
- $\alpha'_6 = \text{depart block}$
- $\alpha'_7 = \text{move to HomePosition}$

4.3 意図認識

次に、動作計画と人間の動作介入の基本動作列を、意図認識アルゴリズム⁴⁾を用いて意図グループ

の抽出を行なう。意図認識の結果は、Fig. 4, Fig. 5である。

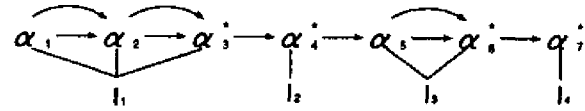


Fig. 4 動作計画

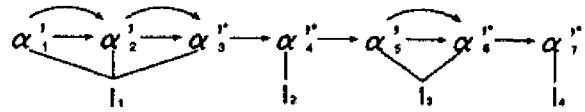


Fig. 5 人間の動作介入

4.4 比較とロボットプログラムの変更

動作計画時の意図認識の結果と、例外発生時、人間の動作介入の際の動作の意図認識の結果を比較して例外を回復できるようにプログラムを変更する。意図が全く違う時は、その部分をそのまま置き換える。意図が同じ時は、さらにその中の基本動作レベルまで比較して変更する。この比較とロボットプログラムの変更の方法はまだ熟考できていないので、今後の課題とする。この場合のプログラムの変更は、以下のようなになる。

- $\alpha_1 = (\text{move to } A) \text{ or } (\text{move to } B)$
- $\alpha_2 = \text{approach block}$
- $\alpha_3 = \text{grasp block}$
- $\alpha_4 = \text{move to } Z$
- $\alpha_5 = \text{ungrasp block}$
- $\alpha_6 = \text{depart block}$
- $\alpha_7 = \text{move to HomePosition}$

5. まとめと今後の課題

知的理解システムによる人間とロボットの協同作業方式を構築することによって、例外(当初の

計画とは違う要因)に対応でき、人間の作業代行回数が減少でき多様な作業に対応できるロボットシステムの構想を示した。今後は、シミュレーション実験を行ない、さらにロボットアームの実機で知的理解システムの有効性を確認する。

参考文献

- 1) 佐藤知正, 松井俊浩, 平井成興:人間との協同作業を特徴とする遠隔作業ロボットシステム, 日本ロボット学会誌,9-5,602/613 (1991)
- 2) 平井成興, 佐藤知正: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,7-6,714/724 (1989)
- 3) 國吉康夫, 井上博, 稲葉雅幸: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,9-3,295/303 (1991)
- 4) Weal I. Yared, Thomas B. Sheridan: Plan Recognition and Generalization in Command Languages with Application to Telerobotics, IEEE TRANSACTION ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS, 21-2, 327/338 (1991)