

機関番号：12601
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2009～2010
 課題番号：21700218
 研究課題名（和文） 移動型双腕ロボットによる生活支援行動のための
 エラーリカバリシステム構成法
 研究課題名（英文） A Study of Error Recovery System for a Mobile Dual-Arm Robot
 Working in Daily Environments
 研究代表者
 山崎 公俊（KIMITOSHI YAMAZAKI）
 東京大学・大学院情報理工学系研究科・特任助教
 研究者番号：00521254

研究成果の概要（和文）：

生活支援ロボットに求められる機能として、人が普段使用している道具や家具を操作し、人間に有益な仕事をしてあげることがある。本研究では、日常環境に存在する道具や家具を扱って作業を行うロボットの機能として、作業中に何かエラーがあった場合にそれを検知する認識処理、そのエラーをリカバリする動作計画、それらを統合した認識行動システムを構築した実証を行うことを目的とした。ここでの「エラー」とは、ロボットが物体を操作するとき、想定していた状況とセンシングによって推定された状況が異なることを指す。本研究の成果は、人間に準じた関節構成をもつロボットについて日常道具操作を行わせることをタスクとして、そこで必要となるエラー防止・検出・リカバリの要素技術をそれぞれ提案し、日常行動を題材にした実機実験により検証したことである。

研究成果の概要（英文）：

One of the abilities needed for daily assistive robots is to handle daily tools which exist for daily living. The purpose of this study is to develop robotic functions used for error handling and to verify the functions by means of experiments in real environment. Error targeted in this study indicates the condition that the robot cannot confirm the state of manipulated object with desired state.

These functions include abilities for (i) error prevention, (ii) error detection and (iii) error recovery. We proposed the methods how to construct such function and integrated the functions into a real robot having many DOFs (degrees of freedoms) like a human.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学，知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：知能ロボット

科学研究費補助金研究成果報告書

1. 研究開始当初の背景

我々はこれまでに、日常環境にある道具や家具を操作するロボットが複数の作業を連続して行うための要素技術を開発してきた。その成果から、一連の作業を頓挫せずにやりとげる機能の重要性に着目するに至り、本研究を開始した。

日常環境で様々な作業を行うロボットでは、操作対象の認識処理や目的地までの台車移動にミスが生じたり、周囲環境で想定しない変化が起きる状況がしばしばある。そのときに、小さなミスに対処できるだけでは不十分であり、想定どおりにいかない原因を特定でき、作業を再開するための動作を新たに計画できる機能が必要である。それにより、困難な状況にも「柔軟に対応して」作業をこなすロボットが実現できると考えられる。

2. 研究の目的

上述の背景に基づき、作業中の失敗を防止・検出・回復する機能を実現する。それらを、人間に準じた関節構成を持つ生活支援ロボットへ組み込み、実機実験を通して評価する。この際に選ぶタスクは、掃除や調理などのように、複数の日常道具が様々な操作されるものとする。

3. 研究の方法

本研究では、研究目的を達成するために、三項目の課題を挙げた。(A) 成功経験の知識化、(B) エラー認識、(C) リカバリ動作計画である。研究を進めていくうち、課題

(A) の成果を「エラーの防止」として適用し、作業全体の成功率を高めていくのが良いとの考えを得た。また、(C) のリカバリ動作計画における重要な要素技術は、広い可動領域を保てる操作姿勢の設計方法と、反射的回避動作が重要な役割を果たすと考えた。そして、上記3課題の効果を検証するためのシステム統合についても、多くの知見が得られた。これらの理由から、本報告書では研究成果を以下の三項目(1) エラーの防止・検出・回復、(2) ロボットの動作性能向上、(3) システム統合による検証、に区分けしてそれらの内容を概説する。

(1) エラーの防止・検出・回復

物体操作中のエラーが致命的な状況にならないうちに検知することは、作業全体を達成するために必要な事柄である。それを信頼性高く実現するために、オンラインで操作の状況を把握することが適切である。本研究では以下の三項目について検討を進め・実証を行う。

- ① ロボットの動作中に力センサと視覚の連携することによる状態把握機能の実現
- ② 物体操作後の確認行動の挿入による失敗検出機能の実現
- ③ 検知された失敗の種類により回復行動を選択する機構と、その回復行動における効果検証機能の導入

(2) ロボットの動作性能向上

本研究の成果を示すために利用した実験機は、上半身が双腕+頭部からなる比較的複雑な構成のものとした。このようなロボットは関節自由度が多いため様々な物体操作を行える潜在能力を持つが、一方でその自由度の多さから、有効な操作姿勢列を定めること自体が一つの課題となる。また、ロボットの下半身が車輪型の台車となっていることを想定した場合には、移動性能が高まる反面、周囲環境との衝突を回避することも考慮すべきである。そこで、上半身、下半身の動作生成それぞれについて以下のような研究を行った。

- ① 双腕機構のための道具操作姿勢の生成
- ② 人間の行動追跡とロボットの操作姿勢への適用
- ③ 台車やアームの反射的回避動作生成

(3) システム統合による検証

等身大双腕ロボットを用いて、比較的複雑な道具操作を含む行動実現のための認識行動システムを構築した。複雑な作業手順の記述を容易にするソフトウェアモジュールの設計、失敗検出・回復に関するモジュールの導入方法、回復行動における処理ループを解消するための行動フロー設計などについて検討し、実機実験により効果を確かめる。

4. 研究成果

(1) エラーの防止・検出・回復

作業中のエラーの防止や検出を実現するために、視覚と力覚を連携した方式を提案・実証した。このとき、ロボットが操作対象に直接接触するような作業だけでなく、手持ちの道具を使って操作対象を加工するようなタスクも設定し、提案手法の有効性を確かめた。

操作対象の状態認識を行う際、一般に利用されるのはカラー画像などの「視覚」である。しかしながら、双腕、道具操作、変形対象物などの複雑な条件下では、視覚のみによって得られる情報だけでは不足である。そこで本研究では、まず、過去に得られたもしくは与えられた道具や物体の形状に関する一般的な知識と、作業中に得られた視覚情報を融合することで、現在扱っている道具や操作対象の初期モデルを生成した。その後、認識対象を能動的に動かしてその際に得られた視覚変化や力覚情報を用いたモデルの補完を行

った。このアプローチは、物体操作後にそれが所望の状態になっているかどうかを確認する段階でも利用された。その結果、個々の物体の詳細な形状知識が与えられない場合についても、エラーを防止しつつ目的の操作を達成できる柔軟な認識機能の実現を確認できた。

(2) ロボットの動作性能向上

一般に、ロボットのアームは人間と比較すると関節可動範囲が狭く、かつ双腕での動作を想定すると、物体操作が可能な姿勢はかなり限定される。たとえば、まな板上の野菜を片方の手で押さえながら、もう一方の手で包丁を持ちその野菜を切断するという動作を考える。二本の腕と腰軸を有するロボットでこのような動作を実現する場合、いくつかの課題がある。一つは、片方のアームの操作性だけを考慮しただけでは、もう一方のアームが運動学の解を持つことを保証できないことである。そればかりでなく、その解の範囲をきわめて狭くしてしまう恐れがある。また、左右のアームに共通の関節となる「腰軸」の扱いも考慮する必要がある。本研究では、目的とするそれぞれの作業における双腕動作について、人間がどのようにして操作性を確保しているかを観測することにより、ロボットの初期姿勢を決める方針を取った。また、その初期姿勢を、道具や操作対象の状態によって微調整する方式を研究した。これにより、一度に複数の道具を扱うような複雑な物体操作をロボットに行わせることを可能にした。

また、人間の動きを観測するための視覚機能として、手や頭部などの端点をオンラインで追跡する方法を研究した。この方式は画像内での領域の類似性のみならず、その領域の三次元空間情報も利用した追跡を行うため、隠れや見た目の変化に対してロバストである。提案手法を複合視覚システムに適用し、キッチン上で道具操作を行う人間の動きを追跡できることを確認した(文献3, 5)。

一方で、失敗を防止するための動作性能向上のアプローチとして、環境との不要な衝突を避ける方式についても研究した。環境とロボットの距離的關係を記述する方式として仮想アームの導入を提案した。ここでは、ロボットモデル上に多数のアームモデルを多数配置し、それぞれのアームが環境と仮想接触した際にロボットモデルからの反力を発生させることで、衝突を起こさないロボットの軌道を生成するものである。車輪型移動ロボットや7自由度の多関節アームなどを対象としたシミュレーションを行い、その効果を確かめた。(文献2, 10)

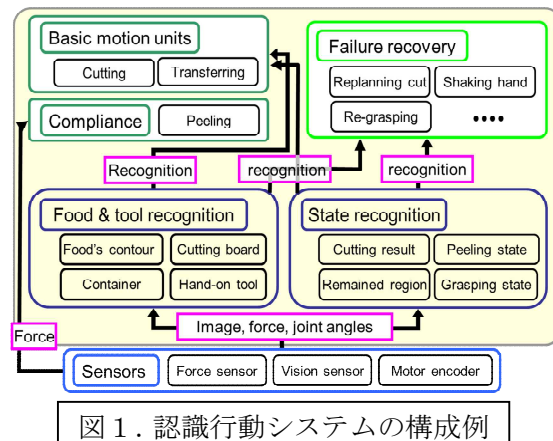


図1. 認識行動システムの構成例

(3) システム統合による検証

我々が過去に行った生活支援ロボットの行動実現研究では、作業のエラーが起きた場合に、あらかじめ定義したリカバリ行動により復帰しようとする仕組みが存在していた。しかしながら、これまでの方式の問題点は、エラーが所定のリカバリ行動では回復不能であった場合に、その不可能性を検知しないため作業が進行できなくなることであった。そこで我々は、文献12において、複数階層の行動記述法を提案した。これを実装したシステムによれば、所定のリカバリ行動では復帰が困難であることが実際の試行を通して判明した場合に、別の行動を呼び出すことによって抜本的なリカバリを行うことができる。この提案手法は、実ロボットによる洗濯機の開閉操作など比較的複雑な生活支援行動へ適用され、効果が示された。

本章(1)(2)において提案した手法や機能モジュールを評価するために、日常環境で複数の道具を同時に操作するようなタスクを設定した。その一つに、調理道具を用いた野菜の加工実験がある。実験機の上半身構成は、七つの関節を持つ双腕アーム、二つの関節を持ちカメラを二台搭載した頭部、二関節の腰軸である。これらが、全方位台車に搭載されており、移動とマニピュレーションを双方とも行うことができる。この機体が利用する認識行動システムとして、5.(1)で述べた各種エラー防止・検知関数を導入し、図1に示す構成を実装した。このシステムでは、力センサ、画像、モータ回転角度などの低次のセンサデータを直接的に利用してエラーの防止を行う関数と、画像等から対象物を抽出し状態を把握するための高次認識の関数が実装され、それらが出力する結果により、ロボットの行動が柔軟に変えられるようなモジュール接続がなされている。また、認識の状況が想定と異なった場合に失敗回復のための動作生成関数が呼び出され、適切な回復行動の後、当初の目的を達成するための作業へスムーズに移行できるような構成になっている。また、一つの認識処理が、視覚による初期推定と力センサによる補完処

理により達成されているところに一つの特徴がある。これにより、目標の操作を行う前に対象物体の情報を詳細に獲得することが可能になり、過度なエラーの発生を抑えることができた（文献6～8）。

以上の成果により、双腕移動型ロボットで道具操作を含むような生活支援行動を実現する課題に対し、エラーの検知と回復行動を含む認識行動システムを構築し、その有効性を示すことができた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計2件)

(1) Kimitoshi Yamazaki, Ryohei Ueda, Shunichi Nozawa, Yuto Mori, Toshiaki Maki, Naotaka Hatao, Kei Okada and Masayuki Inaba:

“Tidying and Cleaning Rooms by a Daily Assistive Robot -- An Integrated System for Doing Chores in Real World --,”
Journal of Behavioral Robotics, 2011.

(2) 山崎公俊, 稲葉雅幸:

「仮想マニピュレータを用いた移動ロボットの反射的動作生成法」, 日本ロボット学会誌, vol.29, no.2, pp.163-171, 2011.

[学会発表] (計10件)

(3) Kotaro Nagahama, Tomohiro Nishino, Mitsuharu Kojima, Kimitoshi Yamazaki, Kei Okada and Masayuki Inaba:

“End Point Tracking for a Moving Object with Several Attention Regions by Composite Vision System,” Proc. of IEEE Int’l Conf. on Mechatronics and Automation. (to appear)

(4) Kimitoshi Yamazaki, Yoshiaki Watanabe, Kotaro Nagahama, Kei Okada and Masayuki Inaba:

“Recognition and Manipulation Integration of a Daily Assistive Robot Working on Kitchen Environment,”
Proc. of IEEE Int’l Conf. on Robotics and Biomimetics, pp.196--201, 2010.

(5) 長濱, 西野, 山崎, 岡田, 稲葉:

「ヒューマノイドの低次視覚機能による人の道具操作行動観測を目的とした時空間対象追跡」,
第28回日本ロボット学会学術講演会, 講演番号 1A2-2, 2010.

(6) 渡辺, 長濱, 山崎, 岡田, 稲葉:

「力覚状態認識に基づく包丁を用いた野菜切断行動のヒューマノイドによる実現」,

ロボティクス・メカトロニクス講演会’10, 講演番号 2A2-B17, 2010.

(7) 渡辺, 長濱, 山崎, 岡田, 稲葉:

「一般調理道具を扱う等身大ヒューマノイドの認識行動システム統合とサラダ調理の実現」,
ロボティクス・メカトロニクス講演会’10, 講演番号 2A2-A17, 2010.

(8) 渡辺, 長濱, 山崎, 岡田, 稲葉:

「表皮視覚認識と凹凸形状へのなじみ動作に基づく野菜皮むき動作のヒューマノイドによる実現」,
ロボティクス・メカトロニクス講演会’10, 講演番号 2A2-A16, 2010.

(9) 山崎, 矢口, 花井, 稲葉:

「PR2の認識・把持・移動機能統合による日用品片付け行動の実現」,
ロボティクス・メカトロニクス講演会’10, 講演番号 2A2-B18, 2010.

(10) 山崎, 稲葉:

「仮想マニピュレータによる多関節ロボットの動作制御」,
第15回ロボティクスシンポジウム予稿集, pp.391--396, 2010.

(11) Kimitoshi Yamazaki and Masayuki Inaba:

“Trajectory Control of Wheeled Mobile Robots Based on Virtual Manipulators,”
Proc. of IEEE Int’l Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp.2973--2978, 2009.

(12) 植田, 野沢, 森, 山崎, 岡田, 稲葉:

「等身大ロボットによる家事支援タスクシーケンスにおける失敗検地回復の構造記述」, ロボティクス・メカトロニクス講演会’09, 講演番号 1P1D04, 2009.

[図書] (計1件)

(13) Kimitoshi Yamazaki, Takashi Tsubouchi, Masahiro Tomono:

Chapter: “Autonomous 3D Shape Modeling and Grasp Planning for Handling Unknown Object” in Advances in Robot Manipulators, IN-TECH, 2010.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山崎 公俊 (Kimitoshi Yamazaki)

東京大学大学院情報理工学系研究科

特任助教

研究者番号: 00521254