

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：14701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500243

研究課題名(和文) 三次元視覚システムのためのシームレスな対象モデリングシステムの研究

研究課題名(英文) Study on Seamless Target Modeling System for Three Dimensional Vision System

研究代表者

中村 恭之 (NAKAMURA, Takayuki)

和歌山大学・システム工学部・教授

研究者番号：50291969

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,400,000円、(間接経費) 1,320,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、ロボット自身の一部やそのロボットの操作対象を、モデル化のための操作を予めすることなく、三次元視覚からの情報を用いて動作中にモデル化することをシームレスな対象モデリングと呼び、そのために必要となる手法を開発した。複数の三次元データ内で同一のデータを発見する手法の基盤となる手法として、複数の二次元データ内で同一のデータを発見する手法を開発した。三次元視覚システムから取得されたデータから三次元物体認識用の新たな特徴量を提案し、その特徴量を用いた物体認識システムを構築した。三次元視覚を用いて日用品をピックアンドプレースする生活支援ロボットシステムを試作した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed some techniques for building a seamless object modeling system using three-dimensional vision that does not require an off-line operation for modeling and can construct a model for the operation target of the robot and a part of the robot itself during on-line operation.

Firstly, as a basic technique for finding the same data in the multiple three-dimensional data, we developed a method to find the same data in multiple two-dimensional data. Secondly, we developed a new feature descriptor for three-dimensional object recognition system and constructed an object recognition system based on the feature descriptors. Finally, we developed a prototype of life support robot system equipped with a three-dimensional vision system that can accomplish a pick-and-place task in terms of everyday items.

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：CIF特徴量 HS-SHOT特徴量 Hetero-BOOLアルゴリズム

1. 研究開始当初の背景

生活支援ロボットは、物の持ち運び等の日常生活動作をロボットアーム(以下、アームと呼ぶ)を用いて行うことで、上肢障害者などの要介助者の自立生活を支援することが可能であるため、高機能なアームの開発が切望されている。現在、製品として実用化しているアームはユーザが遠隔操作して使用するものであるが、さらに使いやすさを向上させるため、操作の一部を自動化する研究が多数行われている。それらの研究例では、ハンドカメラ(アームのグリッパに装着したカメラ)で対象物体を認識し、ビジュアルフィードバックによりアームを自動制御する方式が主流である。これまでの研究では、限定された環境内での、物体「把持」の自動化までは実現している。視覚センサによる物体認識自体が難しい問題であるため、把持物体に認識用マーカを貼り付けるなどして、限定された環境内でロボットを動かす研究例がほとんどである。また、より一般的な環境内で視覚センサを用いて物体認識を行うために、三次元視覚システムが開発されている。従って、この三次元視覚システムを生活支援ロボットに適用できれば、使用環境を限定することなく稼働できるロボットを実現することが可能となり、生活支援ロボットの実用化を促進できる。しかしながら、三次元視覚システムを用いて物体認識するためには、認識対象のモデルデータを、レーザー照射式距離計測装置などを利用して、予め作成しておく必要がある。従って、ロボットが動作中に新たな認識対象が現れると、正しい認識結果が得られないことになる。これが原因で一般的なユーザにこのシステムが普及することを妨げている。

2. 研究の目的

(1) 本研究課題では、三次元視覚を有するロボット自身の一部やそのロボットの操作対象を、モデル化のための操作を予めすることなく、動作中にモデル化することをシームレスな対象モデリングと呼び、そのために必要となる、三次元視覚システムにより連続的に取得される複数の三次元データをつなぎ合わせる手法やつなぎ合わせたデータを基に物体認識用のモデルを構築する手法を開発する。これにより三次元視覚システムに、これまでのような不便な手続きが不要になり、動作中に新たな認識対象が現れても、その都度ユーザが対象モデルを登録するだけで、正しい認識結果を得ることができるようになる。このような三次元視覚システムを搭載した生活支援ロボットが開発できれば、使用環境を限定することなく稼働できるので、生活支援ロボットの実用化に向けて大きく前進することができると考えられる。

(2) また、シームレスな対象モデリングシステムの有効性を確認するために、提案システムを有する三次元視覚システムを試作し、さらに、これを搭載した生活支援ロボットも試作して、一般的な生活環境で様々な対象物を自動把持しユーザの手元に自動で運搬するタスクを実現する実験的検証を行う。

3. 研究の方法

研究目的(1)を達成するために、
A. 三次元視覚システムにより連続的に取得される複数の三次元データをつなぎ合わせる手法

B. つなぎ合わせたデータを基に物体認識用のモデルを構築する手法
について明らかにする。

A については、ユーザにより指定された領域内に存在する三次元データを参照元データとして保存し、その後取得される三次元データと参照元データをマッチングさせ新たな参照元データとすることを繰り返すという処理手順をとる。この処理過程において、高速かつロバストに参照元データとその後取得される三次元データとをマッチングする具体的な方法について明らかにする。

B については、A の処理後に得られたつなぎ合わされた複数の三次元データを、物体認識時に利用するために、一つのデータ構造として保存する具体的な方法について明らかにする。

次に、研究目的(2)を達成するために、先述した A, B の手法を三次元視覚システムに組み込み、さらに、これを搭載した生活支援ロボットを試作して、一般的な生活環境で様々な対象物を自動把持しユーザの手元に自動で運搬するタスクを実現できるか否かについて明らかにし、試作システムの有効性を検証する。また、ユーザがロボットに対して容易に指令をおくるユーザインターフェース技術についても明らかにする。

4. 研究成果

まずはじめに、先述した手法 A, B に欠かせない三次元視覚システム(Kinect)の基本制御ソフトウェアを作成し、三次元物体追跡手法とキャリブレーション手法を研究開発した。開発した三次元物体追跡手法は、パーティクルフィルタを利用した手法で、簡便で高精度に対象物体を三次元空間内で追跡できる(図1参照)。この手法に関しては、2011年度に査読付国際会議、国内会議にて研究発表を行った。Kinectのキャリブレーション手法については、国内会議にて研究発表を行った。

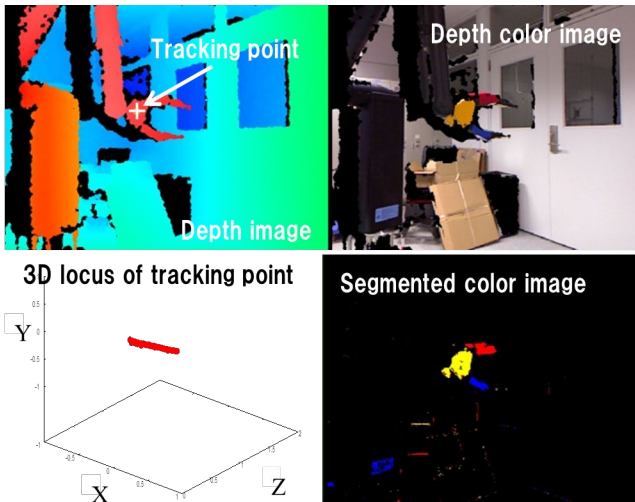


図1 Kinect を用いた三次元物体追跡の例

生活支援ロボットシステムを試作するために、小型軽量6自由度アームの基本制御ソフトウェアを作成し、さらにロボットアームのためのダイポール場を利用した実時間軌道生成法を研究開発した(図2参照)。この軌道生成法に関しては、2012年度に査読付国際会議、国内会議にて発表した。

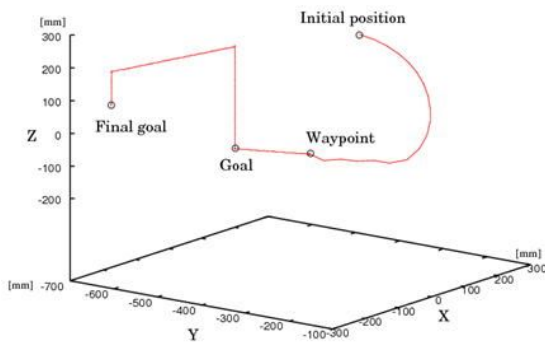
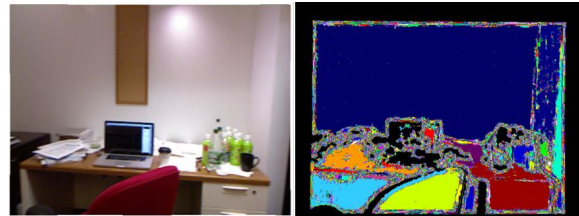


図2 ダイポール場を利用した軌道生成の例

連続して入力される複数の三次元データをつなぎ合わせるためには、複数のデータ内で同一のデータを発見する必要がある。そこで、三次元視覚からの情報をもとにロボットの操作対象に関する情報だけを切り出す手法を開発し、その手法を“Hetero-BOOL アルゴリズム”と名付けた。この手法は、教師なしクラスタリングアルゴリズム“BOOL”に基づいており、多次元データを高速かつ頑健に領域分割する。元の BOOL アルゴリズムはデータセットを均質に領域分割するため、領域分割が過多になったり過少になったりする。そこで、本手法では、この問題を解決するために、データセットを不均質に領域分割するように元の BOOL アルゴリズムに変更を加えた。また、処理を高速化するため、1つの階層化レベルのみでデータを離散化するように、元の BOOL アルゴリズムに変更を加えた。また、本手法は、任意形状のクラスターを検出可能であり、ノイズ耐性が高く、

初期化手順を必要としないという特徴を持つ。Kinect から得た実多次元データセットを用いた実験により、提案手法の有効性を検証できた(図3参照)。実験結果により、Hetero-BOOL アルゴリズムが PCL ライブラリの領域分割のひとつである ECE より高速で、ECE や元の BOOL アルゴリズムよりも与えられたデータセットを提示した理想に近い形で領域分割できることが示された。



(a) 実験環境 (b) Hetero-BOOLによる分割結果
図3 Hetero-BOOLによる領域分割結果の例

この領域分割手法に関しては、2012年度に査読付国内会議にて発表した。

3次元視覚からの情報をもとに小型軽量6自由度アームにより日用品をピックアップ・プレースするシステムを構築した(図4参照)。この試作システムについては、2012年度に査読付国際会議、国内会議にて発表した。



図4 試作した生活支援ロボット

図5に 試作した生活支援ロボットを用いて、pick-and-place 作業を遂行した時の動作例を示す。支援者が、ノート PC 上に表示された三次元視覚システムからの映像を見て、その映像内で、把持する物体を指定し、さらにその物体を置く場所も指示する。この2点間を繋ぐ軌道を、前年度に開発したアルゴリズムにより生成して、6自由度アームの手先がその軌道に追従するように動作し、物体を把持、目標位置まで物体を運搬する。

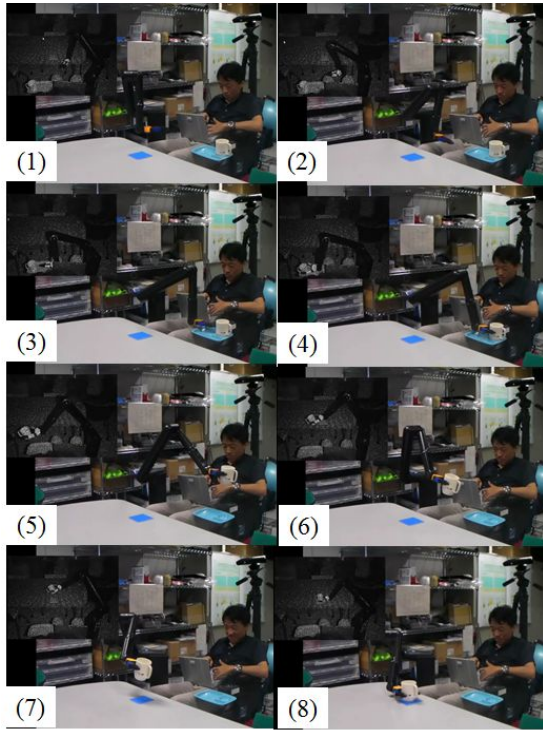


図 5 試作した生活支援ロボットによる pick-and-place 作業の例

連続して入力される複数の 3 次元データをつなぎ合わせるためには、複数のデータ内で同一のデータを発見する必要がある。そこで、この 3 次元データに関する問題を解く前に連続して入力される複数の 2 次元データをつなぎ合わせる問題を解く手法について検討し、複数の 2 次元データ内で同一のデータを発見する手法を開発した (図 6 参照)。この発見手法に関しては、2013 年度に査読付国際会議、国内会議にて発表した。

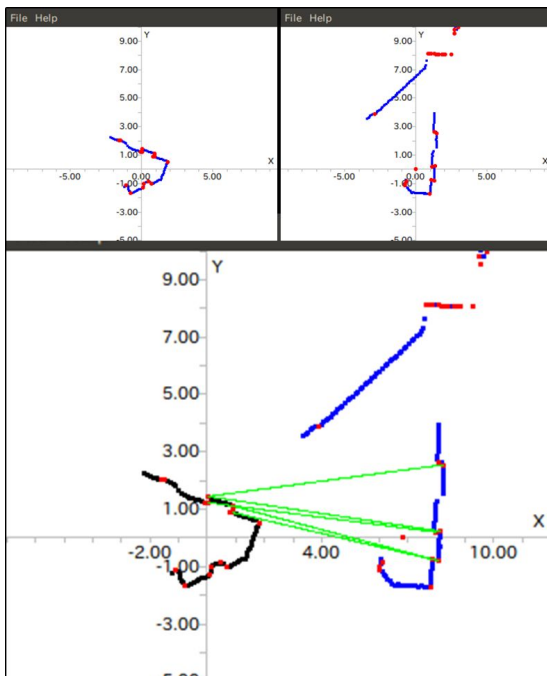


図 6 同一データの発見手法の検出例

三次元視覚システムから取得されたデータから三次元物体認識用の新たな特徴量を提案し、その特徴量を用いた物体認識システムを構築した (図 7 参照)。この特徴量に関しては、2014 年度に、国内会議にて発表した。

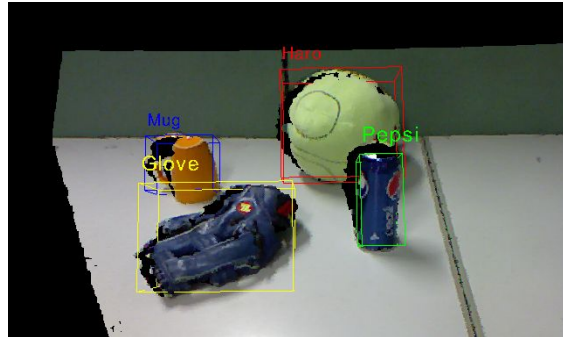


図 7 開発した特徴量に基づいて三次元物体認識した例

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 18 件)

脇田 翔平, 中村 恭之, 合同変換に不変な特徴量(CIF)とキーポイント間の幾何学的拘束に基づいたロバストなスキャンマッチング法の提案, ロボティクス・メカトロニクス講演会 '14, 2A2-T05, 2014 年 5 月 27 日, 富山。

中村 恭之, 脇田 翔平, 2D スキャンデータの合同変換に不変な特徴量(CIF)を用いたスキャンマッチング, 第 19 回ロボティクスシンポジウム, 6C3, pp.592--598, 2014 年 3 月 14 日, 兵庫。〔査読有〕

中村 裕介, 中村 恭之, RGB-D カメラを用いた 3 次元物体認識のための HS-SHOT 特徴量の提案, ロボティクス・メカトロニクス講演会 '14, 3P1-X05, 2014 年 5 月 28 日, 富山。

安達 郁視, 中村 恭之, 多次元データの高速・頑健なクラスタリングのための Hetero-BOOL アルゴリズムの提案, 第 18 回ロボティクスシンポジウム, 2D4, pp.251-256, 2013 年 3 月 15 日, 山形。〔査読有〕

Takayuki Nakamura, Real-Time 3-D Path Generation Method for a Robot Arm by a 2-D Dipole Field, Proceedings of 2013 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligence Mechatronics(AIM), pp.745--749, 2013 年 7 月 11 日, オーストラリア。〔査読有〕

Takayuki Nakamura and Yuuichi Tashita, Congruence Transformation Invariant Feature Descriptor for Robust 2D Scan Matching, Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp.1648--1653, 2013年10月15日, イギリス. [査読有]

中村 恭之, 脇田 翔平, 2D スキャンデータの合同変換に不変な特徴量(CIF)を用いたロバストなスキャンマッチング, 日本ロボット学会学術講演会 2013, 3J1-02, 2013年9月6日, 東京.

田下 裕一, 中村 恭之, ロバストなスキャンマッチングのための合同変換に不変な特徴量(CIF)の提案, ロボティクス・メカトロニクス講演会 '13, 1A2-H10, 2013年5月24日, 茨城.

安達 郁視, 中村 恭之, 教師なしクラスタリング手法による距離画像上等高線の高速生成, 動的画像処理実利用ワークショップ, 03-2, pp.53-54, 2013年3月7日, 静岡. [査読有]

小川 洋平, 中村 恭之, Kinect と ARtoolkit を用いた簡便な福祉用ロボットアーム制御システムの開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会 '13, 1P1-Q01, 2013年5月24日, 茨城.

中村 恭之, 自立支援用ロボットアームのための簡便な操作インターフェースの開発, 日本ロボット学会学術講演会 2013 併設シンポジウム「介護・リハビリ・自立のための実用的なロボット技術の創出」講演集, pp.56-57, 2013年9月6日, 東京.

中村 恭之, 中村 裕介, Kinect センサーのための RGB-D カメラ自動キャリブレーション, 画像の認識・理解シンポジウム 2012, IS3-22, 2012年8月7日, 福岡.

中村 恭之, 中村 裕介, Kinect センサーのための RGB-D カメラ自動キャリブレーション, ロボティクス・メカトロニクス講演会 '12, 1A2-A06, 2012年5月28日, 静岡.

田下 裕一, 中村 恭之, 擬似ユークリッドノルムに基づくパーティクルフィルタによる移動ロボットの自己位置同定, 日本ロボット学会学術講演会 2012, 4J1-8, 2012年9月19日, 北海道.

中村 恭之, 中原 由希子, ダイポール場を利用したロボットアームの実時間軌道生成法, ロボティクス・メカトロニクス講演会 '12, 2A1-A01, 2012年5月28日, 静岡.

Takayuki Nakamura, Real-time 3-D object tracking using Kinect sensor, Proceedings of 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), pp.784--788, 2011年12月10日, タイ. [査読有]

中村 恭之, 3次元距離情報と色情情報の統合に基づく3次元物体追跡, ロボティクス・メカトロニクス講演会 '11, 2A1-L07, 2011年5月27日, 岡山.

平田 雅也, 三浦 浩一, 中村 恭之, 呉海元, 富田 文明, 西 卓郎, 松田 憲幸, 瀧寛和, 形状モデルを用いない3次元視覚によるロボットハンドのための把持点検出に関する研究, 電気学会 次世代産業システム研究会, IIS-11-024, 2011年3月18日, 大阪.

[図書](計 0件)

[産業財産権]
出願状況(計 0件)
取得状況(計 0件)

[その他]
ホームページ等
<http://www.wakayama-u.ac.jp/~ntakayuk/kinect3Dtracking-j.html>

<http://www.wakayama-u.ac.jp/~ntakayuk/hetero-bool-j.htm>

<http://www.wakayama-u.ac.jp/~ntakayuk/kinect-ar-robot-j.htm>

<http://www.wakayama-u.ac.jp/~ntakayuk/cif-j.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 恭之 (NAKAMURA, Takayuki)
和歌山大学・システム工学部・教授
研究者番号: 50291969

(2) 研究分担者 (2012年度に退職に伴い, 分担者から脱退)

富田 文明 (TOMITA, Fumiaki)
産業技術総合研究所・関西産学官連携センター・招聘研究員
研究者番号: 90357575