

平成 22 年 6 月 10 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008 ～ 2009

課題番号：20700180

研究課題名（和文）視覚 ID タグと物体操作知識を活用したロボット作業環境の知能化

研究課題名（英文）Intelligent environment for robots using visual ID-tags and object handling knowledge

研究代表者

田中 秀幸（TANAKA HIDEYUKI）

独立行政法人産業技術総合研究所・知能システム研究部門・産総研特別研究員

研究者番号：70376656

研究成果の概要（和文）：

単眼カメラによって ID と位置・姿勢を認識可能な視覚 ID タグを活用し，1 個の USB カメラで物体や環境の 3 次元多面体モデルを簡単に作成する手法を開発した．また，視覚 ID タグとロボットハンドで扱いやすい物理的インターフェースを環境側に配置し，それらと関連づけた物体操作知識を活用することでロボットによる自律物体操作を支援する環境構造化手法を提案した．これらの手法の有効性を実環境，実ロボットを用いた実験により実証した．

研究成果の概要（英文）：

We developed an easy 3-D polyhedral modeling method by a single USB-camera, utilizing visual ID-tags which provide the ID, the location and the orientation to a single camera. We also developed an environment-structuring method which supports object handling by autonomous robots, utilizing the visual ID-tags and robot-friendly physical interfaces attached to the environment, and object handling knowledge related to them. We demonstrated the availability of developed methods through experiments by real robots under the real environments.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：

サービスロボット・ロボットビジョン

科研費の分科・細目：

総合領域 / 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・環境知能化・環境構造化

1. 研究開始当初の背景

近年、ロボット技術の進歩が著しい。今後は人間の生活する社会環境にロボットが浸透し、多様なサービスを提供することが期待されているが、その実用化を促進するためにはロボット単体の能力向上のみならず、環境インフラからのサポートが不可欠である。最近注目されている「環境知能化」の研究は、このようにロボットの活動を支援する情報を環境側が提供することにより、ロボットと環境を含めたシステム全体としてサービスの質や自律性を高めることを目的の一つとしている。ロボットのための環境知能化研究は、従来、ロボットによる環境認識や物体識別、ナビゲーション等を支援するものが多く、環境との密な物理的インタラクションを伴うタスクはあまり対象とされてこなかった。しかし今後は、ロボットを使って実世界の機器や道具を物理的・能動的に操作するというニーズが高まり、そのための汎用的かつ実用的な環境整備の枠組みが必要になると考えた。

2. 研究の目的

本課題は、環境知能化の中でもとくに「ロボットによる物体操作」の支援を重視し、そのための汎用的かつ実用的な環境整備とロボット制御技術を研究するものである。

ロボットが物体を操作するためには、「対象物体の位置姿勢の把握」および「物体形状の認識」をした後、「物体操作手順の理解」に基づいて適切なマニピュレーションを実行する必要がある。と は物体の物理レベル情報の把握であり、 は物体に関する知識レベルの情報解釈に相当する。これら ~ はいずれもロボットにとっては難しいタスクである。そこで本課題では、上記 ~ を段階的に支援するシステムの構築を目指す。そのために、環境中に配置した視覚 ID タグ(カメラで検知可能)と、それに応じて形状モデルを提示する Augmented Reality の

技術を応用する。また、物体操作知識の記述と利用については知識工学的アプローチを適用する。期間内に解決しようとした具体的課題は以下の通りである。

- (1) 視覚 ID タグのセンシング技術およびデータ処理技術
- (2) タグの位置姿勢情報を用いた物体形状把握と空間認識
- (3) タグに対応した物体形状モデルおよび物体操作知識を活用したマニピュレーション
- (4) 物体操作知識の体系的記述と利用

3. 研究の方法

- (1) 視覚 ID タグのセンシング技術およびデータ処理技術
ARTag という視覚マーカシステムを活用し、照明変動やオクルージョンのある環境下においてもカメラでタグを検知するためのロボット制御戦略を検討する。また、取得したタグの位置姿勢データを安定化させるためのフィルタリング技術と、同次変換の組み合わせにより複数タグ間の相対位置関係を再構成する計算法を確立する。
- (2) タグの位置姿勢情報を用いた物体形状把握と空間認識
一つのタグは空間中に一つの平面を規定する。そのため、環境中の物体に貼り付けられた複数タグの平面情報を論理演算することにより、大まかな空間認識と形状認識が原理的に可能である。そのための演算法と、最適化により誤差の小さい空間・形状モデルを生成する手法を構築する。また、生成したモデルに基づいたロボットの誘導(軌道生成、衝突回避等)の技術を開発する。この形状・空間モデルと制御法は(3)で利用することも可能である。
- (3) タグに対応した形状モデルおよび物体操作知識を活用したマニピュレーション

カメラによる検知のしやすさを考慮したタグの配置法と、それに合わせて提示する形状モデルおよび物体操作知識のデータ構造を検討する。位置情報、形状情報、操作情報を連携させ、それらが段階的に積み上がるようなデータ構造とする。そして、それらの情報を活用してアクチュエータを制御し、物体を操作するためのロボットのマニピュレーション技術を開発する。

(4) 物体操作知識の体系的記述と利用

本システムは、人間が環境に埋め込んだ知識をロボットが活用するものであり、最近盛んに研究されているネットワークロボットへの応用も考えられる。そのため、知識の記述および利用の枠組みは特定のロボットのみを対象とするのではなく、ネットワークを通じて異種ロボット間で共有できることが望ましい。またシステムの継続的発展のために、その枠組みは拡張性と再利用性を備えたものである必要がある。本課題はこれらの要求を考慮し、共有・再利用を指向した物体操作知識の体系的記述法についても検討する。具体的にはオントロジー工学の手法を応用し、セマンティクスを明示的に取り入れた語彙の体系化と、その語彙セットを用いた物体操作知識の記述・利用方式を研究する。

4. 研究成果

(1) 視覚 ID タグのセンシング技術およびデータ処理技術:

作業環境にある視覚 ID タグをカメラで確実に認識する技術、具体的には、ノイズを除去するフィルタ技術と、タグ間の相対位置関係を安定して取得する手法を開発した。これらの手法は、ARTag マーカ以外の視覚マーカにも適用可能な汎用性を備えている。

(2) タグの位置姿勢情報を用いた物体形状把握と空間認識:

複数のタグが提供する平面情報を統合することで空間や物体の大まかな形状モデルを生成する手法を研究し、以下の2つの技術を開発した。

タグの位置を復元する最適化計算手法:

タグ間の相対位置・姿勢の情報のみを用い、観測値との誤差が最小となるようにタグ全体の6自由度配置を計算する手法を開発した。従来の形状復元技術は観測者に依存するデータを扱うものであったのに対し、本手法は観測者に依存しない物体表面の情報のみを用いているという点が特殊であり、そうした問題における最適化手法を初めて導出したという意義は重要である。

多面体モデルを生成するアルゴリズム:

タグが規定する平面の表裏の情報を用いた論理演算により、物体形状を多面体で近似するアルゴリズムを導出した。これも従来研究にはなかった問題設定であり、今後同様のクラスの問題に対して適用可能な計算法を開発した意義は大きい。

(3) タグに対応した形状モデルと物体操作知識を活用した自律物体操作:

(2)で作成した形状モデルをロボットのタスクで利用するシステムを構築した。Augmented Reality の技術を応用し、検知したタグの ID と位置に対応させて形状モデルを提示し、さらにタグの ID をキーとして、対象物体の操作法をデータベースから取得するシステムを開発した。これにより、視覚 ID タグを検知するだけで、ロボットが物体操作に必要な位置、形状、操作法の情報を一挙に取得し、自律作業を実行可能なシステムの基礎が完成した。実際、この手法を産総研で実施されたプロジェクト「環境と作業構造のユニバーサルデザイン」で活用することができた。

(4) 視覚 ID タグとユニバーサルハンドルおよび物体操作知識を活用した自律物体操作:

視覚 ID タグと、ロボットに扱いやすいハンドルを活用し、ロボットがタグをカメラで認識するだけで自律マニピュレーションが可能なロボットアームシステムを構築した。ここではタグの提供する物体 ID と物体座標系に応じたマニピュレーション軌道をデータベースから検索し、ビジュアルサーボの技術によってその軌道に沿った作業を生成した。市販の生活支援ロボットアームの手先に小型カメラを取り付け、冷蔵庫や電子レンジの扉開けタスクや調理用タッパー取り出しタスクの自律制御を実現した。この方式は、現行のロボット技術によって実環境の自律物体操作を実現する現実的な手法であり、今後のサービスロボット実用化を促進する重要なシステム構成法を提案するものと考えられる。

(5) システムの拡張性と再利用性の検討

視覚 ID タグによって構造化されていない一般物体認識への本システムの拡張と制御の枠組みの再利用を検討した。

自動物体把持と自動物体運搬を連続して実行可能なロボットアーム

人間の顔を認識し、その位置に応じたアーム軌道を生成することで、飲み物のカップを自動で把持し、車椅子のユーザの口元に自動で運ぶという生活支援ロボットシステムを実現した。また、このような「物体を把持し

て別の場所に運ぶ」タスクを自動で行うための、ロボットハンドに設置するカメラの新しい配置法と利用法を開発し、提案した。人間の顔は視覚マーカで構造化されていない対象であるが、制御の枠組みは(3)(4)で開発したものと同一であり、本問題にも再利用して適用することができた。

上空画像マッチングによる屋外移動ロボットの自己位置推定とナビゲーション

一方、屋外移動ロボットの研究において、視覚タグではなく環境の画像そのものに対して位置と姿勢の情報を載せ、その環境情報を活用することでロボットの自己位置推定が可能であることを実証した。ここでは、鉛直上方の広角画像の系列によって屋外の経路を表現し、その画像列のマッチングによって位置推定と自律ナビゲーションを行った。屋外において上方の画像を用いて移動ロボットのナビゲーションを行ったのは本研究が世界初であり、その有効性を実証することができた。

のアプリケーションを通じ、非構造化環境の情報構造化および本システムの拡張可能性を実証した。

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5件)

田中秀幸, 角保志, 大場光太郎, 「(解説) 空間知におけるロボットのための知識と意味情報処理」, 計測と制御, 査読有, Vol. 48, No.12, pp.871-876, 2009.

田中秀幸, ほか9名, “Visual Marker System for Control of Flexible Manipulator Supporting Daily Living”, Proc. ICROS-SICE Int. Joint Conf. 2009 (ICCAS-SICE2009), 査読有, pp.1666-1670, 2009.

田中秀幸, 矢入健久, 町田和雄, 「視覚 ID タグを利用した形状モデリングとロボティクスへの応用」, 日本ロボット学会誌, 査読有, Vol.26, No.7, pp.848-858, 2008.

田中秀幸, 矢入健久, 町田和雄, “Shape Modeling Using Visual ID-Tags for Robotic Applications”, Proc. 2008 IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2008), 査読有, pp.347-352, 2008.

田中秀幸, 矢入健久, 町田和雄, “Shape Modeling and 3-D Recognition Using Visual ID tags for Space Robots”, Proc. The 59th Int. Astronautical Congress (IAC2008), 査読有, IAC-08-D1.2.7, 2008.

〔学会発表〕(計3件)

田中秀幸, 他6名, 「電通大・産総研サービスロボットチームのチャレンジ」, つくばチャレンジ 2009 シンポジウム, G64, 2010.1.9.

田中秀幸, 他9名, 「生活支援ロボットのための視覚マーカシステム」, 第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2009), 113-3, 2009.12.24.

田中秀幸, 矢入健久, 町田和雄, 「視覚 ID タグを用いたロボットのための形状モデリング」, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 1L3-08, 2008.9.9.

〔産業財産権〕

出願状況(計3件)

名称: ロボットアームのためのハンドカメラ装置

発明者: 田中秀幸, 角保志, 松本吉央

権利者: 独立行政法人産業技術総合研究所

種類: 特許

番号: 特願 2010-108241

出願年月日: 2010年5月10日

国内外の別: 国内

名称: マウス

発明者: 田中秀幸

権利者: 独立行政法人産業技術総合研究所

種類: 特許

番号: 特願 2010-043698

出願年月日: 2010年3月1日

国内外の別: 国内

名称: 福祉用ロボット装置のロボットアーム操作方法, ロボットアーム操作プログラム, 及び, 記録媒体

発明者: 角保志, 富沢哲雄, 田中秀幸, 他7名

権利者: 独立行政法人産業技術総合研究所

種類: 特許

番号: 特願 2009-080087

出願年月日: 2009年3月27日

国内外の別: 国内

〔その他〕

〔受賞〕

田中秀幸, 日本ロボット学会 第24回研究奨励賞, 「視覚 ID タグを用いたロボットのための形状モデリング」

〔ホームページ〕

<http://sites.google.com/site/htver2/>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

田中 秀幸 (TANAKA HIDEYUKI)
独立行政法人産業技術総合研究所・知能シ
ステム研究部門・産総研特別研究員
研究者番号：70376656

(2)研究分担者

()
研究者番号：

(3)連携研究者

()
研究者番号：