

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 27 日現在

機関番号： 82626

研究種目： 若手研究(B)

研究期間： 2010 ～ 2012

課題番号： 22700208

 研究課題名（和文）半構造化環境を利用したロボットの自律的
環境モデル構築とタスクプランニング

 研究課題名（英文） Autonomous environment modeling and task planning
by robots in semi-structured environments

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・主任研究員

研究者番号： 70376656

研究成果の概要（和文）：

半構造化環境とは、ロボットの活動を支援するための物理的・情動的な整備が部分的に施された環境のことをいう。本課題では、半構造化環境における自律ロボットの環境認識・モデル構築および行動計画の手法について研究を行った。主な成果としては、視覚による環境認識を支援する「マーカ」の分野において、「正面付近から観測したときの姿勢精度が悪い」という原理的な問題を解決する、マイクロレンズアレイを用いた画期的な高精度マーカを開発した。

研究成果の概要（英文）：

The main contribution of this research is the development of novel visual markers which overcome the biggest problem of conventional visual markers, i.e. the estimation accuracy of the orientation gets worse in frontal observation. We utilized lenticular lenses and a microlens array. These new markers realized accurate and stable orientation estimation even in frontal observation, and will contribute to safer task execution of autonomous robots.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011 年度	800,000	240,000	1,040,000
2012 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

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、環境構造化、オントロジー工学

1. 研究開始当初の背景

ロボットが複雑な実環境を扱うのは難しいため、サービスロボット実用化のためにはロボットを支援する環境整備が不可欠である。このコンセプトに基づき、環境知能化・構造化の研究が行われている。しかし、このロボ

ット制御方式が有効に働くのは構造化による支援を利用できる場合のみであり、非構造化環境への対応については未だ不十分である。そのため、ロボットの行動範囲や実行可能なタスクの種類は限られている。

今後、実社会を工場のように完全に構造化

することは不可能なため、現実的にサービスロボットは、半構造化環境、すなわち、ロボット向けに構造化される領域とされない領域とが混在した環境において実用化が進むと予想される。その際に必要となる技術は、構造化領域からの情動的支援を最大限活用し、非構造化領域への対応をも可能とする自律ロボット制御技術である。

2. 研究の目的

半構造化環境における環境モデリングとタスクプランニングの技術を研究し、ロボットの自律性・実用性の向上を目指す。研究の中心は、構造化領域の情報を利用して非構造化領域の不確定情報を補完し、より広い行動範囲と多様なタスクに対応可能な環境モデルを構築する技術である。

3. 研究の方法

下記の3つの項目について研究を行う。

(1) 非構造化領域をモデル化する手法の研究

既存のモデルや知識、構造化領域の環境情報を利用することで、非構造化領域の不確定情報を補完し、尤度の高い環境モデルを仮説モデルとして生成する手法を研究する。なお、本課題における「モデル」はその形式や粒度をとくに限定しないが、主に注目するモデルは、オブジェクト間のさまざまな関係(位置・機能・因果等)を表現した記号ベースの記述によるモデルである。また、ロボットが実環境とインタラクションすることで、生成された仮説モデルの整合性・妥当性の検証を行い、より尤度の高いモデルへと修正および更新する技術を開発する。

(2) 人間-ロボット間で共有可能なモデルを記述する手法の研究

人間とのインタラクションや生活空間への適応を考慮すると、人間とロボットとで環境モデルを共有できるようにしておくことが望ましい。そこで、オントロジー工学を応用することで、人間・ロボット双方に可読な環境モデルの記述法を研究する。環境モデル構築は、「モノ」と「コト」の二つのレベルで行い、より人間の感覚に近いモデル化と、意味的に妥当なプランニングのための基礎を作る。ここでは、「モノ」とは物理・化学の用語で記述可能な事物であり、「コト」とはモノに何らかの解釈が加わった事物と定義している。例えば、石などの物体やロボットの運動等はモノであるが、それらを「障害物」や「回避行動」と解釈するのはコトの領域となる。基本的にロボットはモノモデルがあれば制御可能であるが、より知的で柔軟なプランニングをするためにはコトモデルが必要と考える。

(3) 構築した環境モデルに基づくタスクプランニングの研究

環境モデル、とくに「コト」のモデルを活用し、状況に応じて変化する「モノ」の意味的な情報を利用することで、ロボットが意味的に妥当なプラン(大局的な行動系列)を生成し、より多様なタスク、多様な状況に対応できるようにするための手法を研究する。

これらの課題の研究成果として、環境モデル構築法、実環境ロボットのためのオントロジー、プランニングのアルゴリズム等についてそれぞれ基礎的な枠組みを提案することを目標とする。

4. 研究成果

(1) 非構造化領域のモデル化を利用した生活支援ロボットアプリケーションの開発

2009年度までに開発していた、視覚マーカによって構造化された環境を利用して自動で物体操作を行う生活支援ロボットアームのシステムを拡張し、非構造化物である人間の顔を対象に、自動で飲み物のカップをユーザの口元に運ぶシステムを開発した。ここでは、顔認識技術を応用し、検出したユーザの顔のIDと位置・姿勢を利用することで、構造化物と同様の扱いができることを示し、その有用性を示すことができた。

(2) より精度の良い環境構造化のための視覚マーカの開発

レンチキュラーレンズと縞模様パターンを用いることで、角度検出に関して従来の平面視覚マーカより20倍ほどの精度と安定性をもつ新しい視覚マーカを開発した。また、このマーカを活用し、ハンドカメラを装着したロボットアームと操作対象物体との自動位置合わせを行うことで、より広範囲なロボット初期位置からでも自動物体操作が可能となることを実証した。

(3) 人間-ロボット間で共有可能なモデルを記述する手法の研究

人間と共存するサービスロボットを指向し、人間の生活機能を記述する共通言語として最近注目されているICF(WHO国際生活機能分類)を応用することを検討した。さらに、このICFをロボットシステムで活用するべく、オントロジー工学の手法により計算機処理可能な形式に再編成する試みを開始した。こうした試みを発展させることで、人間の生活環境・生活機能を体系的に記述することができるようになり、ロボットが提供するサービスの機能を明確に定義することが可能になると考える。

(4) マイクロレンズアレイを用いた高精度マ

ーカの開発

2010年度に開発した視覚マークはレンチキュラーレンズによって生じる1次元モアレパターンを活用したが、2011年度はこれを拡張し、マイクロレンズアレイによって生じる2次元モアレパターンを用いた新たな視覚マークを開発した。本マークは前年度のマークよりも製造過程がシンプルとなり、今後の実用化により適したものである。また、従来のARマークが苦手としていた正面付近からの観測においても、前年度と同様、本マークは姿勢誤差1deg未満の非常に高精度な姿勢推定が可能であることを種々の検証実験により実証した。位置・姿勢の情報は環境構造化の基礎であり、これを高精度化することによってロボットはより正確かつ細かい環境情報を取得することができるようになるため、本マークは今後のサービスロボットのための環境構造化ツールとして非常に有用と考える。

(5)高精度マークの性能向上

ロボットのための環境構造化ツールとして重要な高精度視覚マークについて、その実用性を高めるため、照明条件に対するロバスト性の向上、認識角度範囲の拡大を行った。LentiMark型、ArrayMark型の2種類のマークを並行して開発し、ID認識機能の有無によって用途に応じて使い分ける方式とした。それぞれ実用化を目指したデザインの再検討を行うと同時に、マーク認識ソフトウェアの改良を行った。LentiMarkの認識ソフトウェアについては、複数の異なるID、大きさのマークを同時に認識できるようにした。また、高精度視覚マークとハンドにつけた小型カメラにより、従来マークよりもはるかに高精度で安定した位置合わせを行うロボットアームシステムを構築した。

本課題で開発した高精度視覚マーク(LentiMark, ArrayMark)はともに単眼カメラで対象物体との相対的な角度を知る新しい原理を提案するものであり、小型かつ安価でありながら高精度な位置姿勢推定を可能にする。ArrayMarkの論文がロボット工学の最高峰の国際会議 IROS2012において年間1件の最優秀賞(Best Paper Award)を受賞したのははじめ、その新規性と有用性は国内外で高く評価されている。国内外の産業界からの問合せも多く、現在は国際特許出願の準備中である。本マークはAR(拡張現実)、ロボティクス、計測等の幅広い分野に応用可能であり、実際に宇宙ロボットや人体の計測への応用を想定した共同研究が始まっている。

このように、本課題で開発した高精度マークは社会に対して大きなインパクトおよび波及効果のあるものといえる。

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2件)

- ① 田中秀幸, 角保志, 松本吉央, LentiMark: レンチキュラーレンズを用いた高精度な姿勢推定のための視覚マーク、電子情報通信学会論文誌「情報・システム:D」画像の認識・理解論文特集、査読有、Vol. J95-D、No. 8、pp. 1522-1529、2012。
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009489163>
- ② Hideyuki Tanaka, Tetsuo Tomizawa, Yasushi Sumi, Jae Hoon Lee, Hyun Min Do, Bong Keun Kim, Tamio Tanikawa, Hiromu Onda, Kohtaro Ohba, Visual Marker System for Autonomous Object Handling by Assistive Robotic Arm, Journal of Robotics and Mechatronics, 査読有, Vol. 23, No. 4, pp. 484-493, 2011.
<http://www.fujipress.jp/finder/xslt.php?mode=present&inputfile=ROBOT002300040003.xml>

[学会発表] (計22件)

- ① 田中秀幸, 松本吉央, 生活支援機器評価のための共通言語体系の構築に向けて、第13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(SI2012), 3N3-4, 福岡, 2012.12.20, 福岡国際会議場, 福岡。
- ② 田中秀幸, 松本吉央, オントロロジー工学的観点からのICF再編の試み, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会2012(LIFE2012), GS-3-1-13, 2012.11.4, 名古屋大学, 愛知。
- ③ Hideyuki Tanaka, Yasushi Sumi, Yoshio Matsumoto, A High-Accuracy Visual Marker Based on a Microlens Array, Proc. The 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2012), 4192-4197, Oct. 10, 2012, Vilamoura, Algarve, Portugal.
- ④ Hideyuki Tanaka, Yasushi Sumi, Yoshio Matsumoto, A Novel AR Marker for High-Accuracy Stable Image Overlay, Proc. The 1st IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2012), Oct. 3, 2012, Makuhari.
- ⑤ 田中秀幸, 角保志, 松本吉央, 正対時でも安定・高精度な姿勢推定が可能なARマーク, 第17回日本バーチャルリアリティ学会大会, 12B-6, 2012.9.12, 慶應大学, 神奈川。
- ⑥ 田中秀幸, 角保志, 松本吉央, マイクロレンズアレイを用いた高精度な姿勢推定が可能な視覚マーク, 第15回画像の認

識・理解シンポジウム (MIRU2012), IS1-25, 2012. 8. 6, 福岡国際会議場, 福岡.

- ⑦ Hideyuki Tanaka, Yasushi Sumi, Yoshio Matsumoto, A Visual Marker for Precise Pose Estimation based on Lenticular Lenses, Proc. 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2012), pp. 5222-5227, May 17, 2012, St. Paul, MN, USA.
- ⑧ 田中秀幸, 角保志, 松本吉央, 環境構造化と小型カメラを活用した生活支援ロボットアームの自動化, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2011 (ABML2011), 01-4, 172, 2011. 11. 3, 芝浦工大, 東京.
- ⑨ 田中秀幸, 角保志, 松本吉央, 高精度な角度検出が可能な視覚マーカと位置合せタスクへの応用, 第 29 回日本ロボット学会学術講演会, 102-5, 2011. 9. 7, 芝浦工大, 東京.
- ⑩ 田中秀幸, 角保志, 松本吉央, レンチキュラーレンズを用いた姿勢検出のための視覚マーカ, 第 14 回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2011) 予稿集, OS5-4, 金沢, 2011. 7. 21, 金沢市文化ホール, 石川.
- ⑪ Hideyuki Tanaka, Satoshi Muramatsu, Tetsuo Tomizawa, Takashi Suehiro, Bong Keun Kim, Yasushi Sumi, Yoshio Matsumoto, Sky-view Based Navigation for Outdoor Route Following, Proc. The 7th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI 2010), URAI-229, Nov. 12, 2010, Busan, South Korea.
- ⑫ Hideyuki Tanaka, Yasushi Sumi, Yoshio Matsumoto, Assistive Robotic Arm Autonomously Bringing a Cup to the Mouth by Face Recognition, Proc. The 2010 IEEE Workshop on advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO2010), Oct. 26, 2010, Seoul, South Korea.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 3 件)

①

名称: 位置姿勢検出システム
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: 特許権
番号: 特願 2012-234896
出願年月日: 2012 年 10 月 24 日
国内外の別: 国内

②

名称: マーカ
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: 特許権

番号: 特開 2012-145559

出願年月日: 2011 年 7 月 14 日

国内外の別: 国内

③

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: 特許権

番号: 特開 2011-235386

出願年月日: 2010 年 5 月 10 日

国内外の別: 国内

〔その他〕

〔受賞〕 (計 5 件)

- ① Hideyuki Tanaka, Yasushi Sumi, Yoshio Matsumoto, Best Paper Award, The 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2012), "A High-Accuracy Visual Marker Based on a Microlens Array", 2012. 10. 11.
- ② 田中秀幸, 角保志, 松本吉央, MIRU2012 ベストインタラクティブセッション賞, 「IS1-25: マイクロレンズアレイを用いた高精度な姿勢推定が可能な視覚マーカ」, 2012. 8. 8.
- ③ 田中秀幸, 角保志, 松本吉央, グラフィクスと CAD 研究会優秀研究発表賞, 「正面からの観測でも高精度な姿勢推定が可能な AR マーカ」, 2012. 6. 22.
- ④ 田中秀幸, 角保志, 松本吉央, SI2010 優秀講演賞, 「視線角度を表示する視覚マーカの開発と環境構造化への応用」, 2010. 12. 25.
- ⑤ Hideyuki Tanaka, 他 6 名, URAI2010 Best Paper Award, "Sky-view Based Navigation for Outdoor Route Following", 2010. 11. 26.

〔取材・メディア発表〕 (計 1 件)

見る角度によってパターンが変化する AR マーカを開発、正面からでもグラグラしない高精度を実現, DigInfo TV, 2012. 6. 15.
<http://jp.diginfo.tv/v/12-0111-d-jp.php>

〔展示会出展〕 (計 5 件)

- ① 高精度な姿勢推定が可能な AR マーカ ~ カメラで角度を知る新しい手法の発明と応用~, 第 8 回つくばビジネスマッチング会, 2013. 2. 21, 三井物産本社, 東京.

- ② 高精度な姿勢推定のためのARマーカ，産総研オープンラボ，I-19，2012. 10. 25-26，産総研つくば中央，茨城.
- ③ 正対時でも安定・高精度な姿勢推定が可能なARマーカ，第17回日本バーチャルリアリティ学会大会，D19，2012. 9. 12-14，慶應大学，神奈川.
- ④ マイクロレンズアレイを用いた高精度なARマーカ，画像センシング展2012，SSIIデモンストレーションゾーン，DS1-05，2012. 6. 7-8，パシフィコ横浜，神奈川.
- ⑤ レンチキュラーレンズを用いた高精度なARマーカの開発，テクノロジーショーケース in つくば2012，2012. 1. 13，つくば国際会議場，茨城.

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・主任研究員

研究者番号：70376656