

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 6月 5日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010 ～ 2012

課題番号：22500174

研究課題名（和文）

不変項共有知覚に基づくマルチロボットトラッキングシステム

研究課題名（英文）

Multi-robot Visual Tracking System based on Cognitive Sharing of Invariants

研究代表者

関山 浩介 (SEKIYAMA KOUSUKE)

名古屋大学・工学研究科・准教授

研究者番号：40293675

研究成果の概要（和文）：

一般にマルチロボットは各ロボットが異なる観測視点を持つため、同一観測対象においても背景の差異によって表象の有効性は大きく変化する。本研究では、マルチロボットによる分散共有認知のフレームワークとして階層的な不変項モデルを提案した。具体例として移動体の分散協調トラッキングを扱い、認識対象とその背景パターンにより、色、形状の特徴量の曖昧度を評価し、適切な表象選択を動的に行う手法を提案した。さらに、環境からランドマークを能動的に抽出し表象トライアングルを形成することで、観測対象の幾何的配置関係を動的に認識させる手法を提案した。これらをマルチロボットによる移動対象物のトラッキングに適用し、環境内の明度変化やオクルージョンが生じる場面においてもロバストな物体追跡と認知共有化が実現できることを実験により示した。

研究成果の概要（英文）：

In multi-robot systems, since each robot has generally a different perspective around an object to be shared, an effective representation for cognitive sharing would be different. This work proposed a hierarchical cognitive invariant model as a framework of cognitive sharing for multi-robot system. The ambiguity measure of the effective representation of the shape or color feature is dynamically evaluated according to the change of perspective of each robot. Relational representation of the object is formed by autonomous landmark generation called representation triangle, which specifies the existence region of target object. A visual mobile object tracking with multi-robot was experimentally demonstrated to show the effectiveness of proposed method where an occlusion occurs and a lighting condition changes.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

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：実世界情報処理，分散共有知覚，不変項選択

1. 研究開始当初の背景

従来多くのシーンアナリシスの研究が行われているが、それらはまず物体認識があり、

その物体から連想される意味をオントロジー検索するなどがされてきた。しかし、一般に

知覚対象が継続的に同一であると認識することは容易ではなく、映像においては、対象との距離や角度の変化、光量の変化、オクルージョンの発生などでトラッキングは困難であった。こうした画像・動画認識の研究は従来の画像認識ではスケール不変性やアフィン不変性を取り入れたフィルタが開発されているなど様々な手法があるが、それ自体がロボットの運動状態とは切り離されて議論されてきた。特に視点の異なるマルチロボットでは、従来では予め対象物にマーカを付けたり、環境に人工ランドマークを設定することを想定し、同じ対象物に対して背景の動的変化に対応してロボストに共有認知を実現するような研究事例はほとんど見られない状況であった。

2. 研究の目的

本研究は、リアルタイムに背景が変化する移動体認識において、認知対象物の色・形態情報、オントロジー参照による属性情報、周辺物体との相互関係という、抽象度の異なる階層的な不変項を自律的に選択し、環境変化にロバストな物体認識に基づく複数ロボット間の共有知覚を実現するためのフレームワークを構築することが目的である。その応用事例として、複数ロボットの連携による移動物体の分散協調トラッキングを扱う。

分散認知環境では、常にロボットの認知対象を取り巻く環境は変化する。したがって、ある時点で特定された形状や関係は、類似したパターンを多く含む背景に囲まれることで見失う可能性が高い。そこで、色・形状・サイズなどの一次情報、画像処理におけるスケール・アフィン不変性、名称やラベルなどのシンボル情報の同一性、周囲とのトポロジカルな幾何的、配置関係など、抽象性の階層的異なる不変性に基いた観測対象の同一性を評価し、意味の接続を可能とする階層的認知不変項モデルを構築し、実機実験で検証する。

3. 研究の方法

(1) 特徴量の有効性評価

物体認識の特徴量として、色相、形状、幾何的關係を考える。ロボットの視点によって、認知対象とその背景との関係は異なるため、有効な特徴量も異なる。そして、各特徴量の有効性は視点の移動などにより動的に変動する。これを評価するため、各特徴量に曖昧度という指標を定義した。曖昧度は、認知対象を特徴づける表象パターンが背景にどれだけ含まれるかの割合で定義され、曖昧度が一定の水準を越えると誤認識のリスクは格段に大きくなることを予備的実験で確認されている。

曖昧度は環境の変化、ロボットの視点変化によって動的に変動するため、実時間で評価される。

(2) 階層的な不変項モデル

階層的な不変項モデルは、図1に示すように色相、形状表象の曖昧度とその定常性評価から、ロボット自身にとって視認性の高い特徴量を順位づける。一方、他のロボットと共有認知を図る場合、自らの視点から曖昧度の低い表象が相手側にとって理解しやすいものとは限らない。これはマルチロボットシステム固有の認知問題である。階層的な不変項モデルは、相互認知可能な不変項を摺り合わせて、互いのロボットにとって曖昧度の低い特徴量を選択し、共有化することで協調トラッキングを実現するフレームワークである。

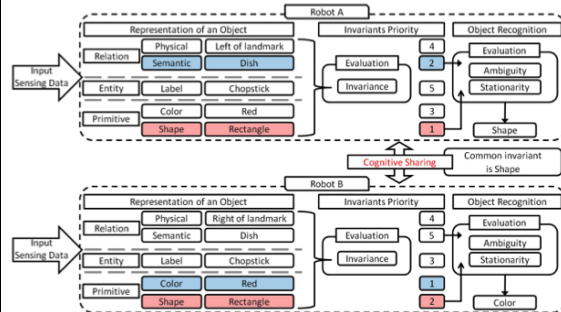


図1 階層的な不変項モデル

(3) ランドマーク自律生成

環境照明や日差しの影響や、一時的なオクルージョンの発生によって、色や形状という認知対象自体に属する表象は容易に揺らぎを受ける。多くの場合は、認知対象の消失という結果となる。よりロバストな認識のため、認知対象の周辺状況からの幾何的配置による、すなわち幾何的關係性レベルの表象を導入する。認知対象の幾何的關係性による記述には、事前に対象を位置付けるためのランドマーク的存在が環境内に認知される必要がある。しかし本研究では、事前に人工マーカやランドマークを一切想定しない手法を採る。

本研究では、認知対象周辺から、色または形状表象において、曖昧度が低く、かつ定常性が一定水準の高さにある3つの物体が存在すれば、それを動的に選択する。これにより、図2に示す表象トライアングルを形成する。表象トライアングルは、3つのノードを結ぶ有向グラフであり、リンクの左手を+、右手側を-と符号を定義することにより、画像平面は7つの領域に区分され、認知対象物体がこの領域の一つとして記述される。表象トライアングルは、状況が許せば複数生成すること

が可能であり，異なる表象トライアングルの共通部分として，認知対象物の幾何的配置をより詳細に位置付けられる．

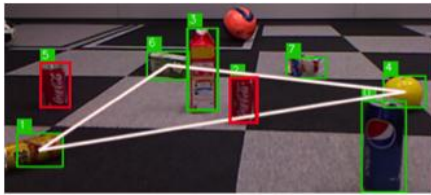
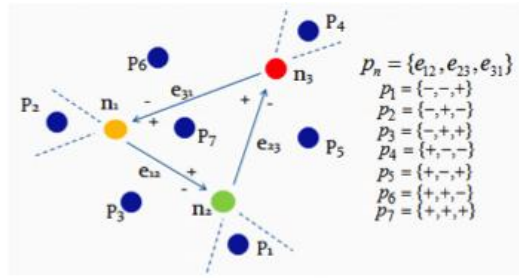


図2 表象トライアングルとその例

(4) 表象アップデート

認知対象の表象は環境変動と視点移動によって容易に揺らぎを受ける．しかし，関係性表象のような不変性の高い（変動が小さい）表象を軸にして，一時的な色相の変化やオクルージョンの発生した表象記述をアップデートすることができる．すなわち，最初から一貫した特徴量パターンを用いるのではなく，信頼性の高い表象によって認知接続性を担保し，変動を受けた表象記述を更新することにより，関係性表象が構成できない場面でも継続的に色，形での表象で認知接続性を維持できる．

4. 研究成果

提案手法の検証を行うため，以下の実験を行った．青色球体が移動する Robot C 上にあり，Robot A は動的に球体をトラッキングするが，背景には類似物体が多く，途中で環境明度変化やオクルージョンが発生し，誤認識が生じやすい仕掛けを作っている．Robot B は Robot A と異なる視点を観ているが最終的に物体の特徴量と幾何的配置の情報を相互授受することで物体の共有認知を図る．

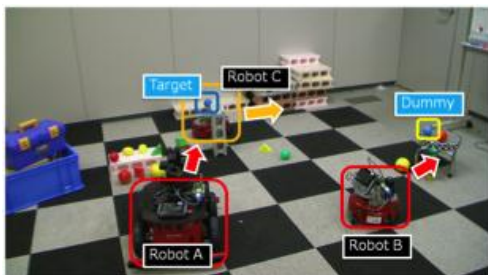


図3 実験設定

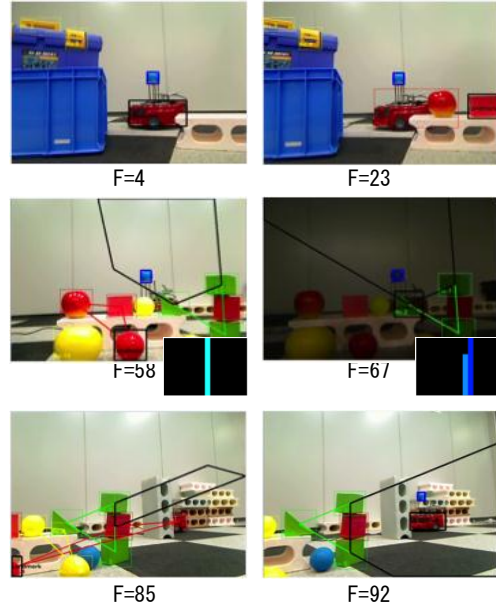


図4 Robot A からの視点画像

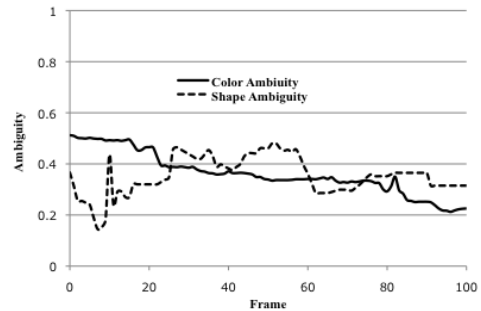


図5 色・形状特徴量曖昧度の時間変化

図4は RobotA からの視点である．図5から F=4 では青い箱が視野に大きく，色曖昧度が高い状態にあり，形状による認識がされ，F=23 では赤い球体が視野に入るため形の曖昧度が高くなり，状況に応じて曖昧度の低い特徴量でトラッキングがなされている．F=67 において照明が落とされるも，色表象が更新されて色によるトラッキングが継続される．F=85~92 にかけて，ブロックによりオクルージョンが発生するが，これは表象トライアングルの内部にあると判断され，継続的に監視されてブロックから現れてすぐにトラッキングが復帰する．また，F=92 の時点で RobotB との共有認知は成立できている．

以上，本研究の成果をまとめる．

- (1) 表象の異なる特徴量に対する有効性評価を導入し，実時間で特徴量選択を実現する階層的な不変項モデルを提案した．
- (2) 自律的ランダム生成手法を確立し，表象トライアングルによる幾何学的関係性表象を提案した．
- (3) 不変な表象を逐次評価し，揺らぎのある表象を更新しながら認知接続性を高める方法を提案し，実機検証に成功した．

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)

- [1] Mohammad Rokunuzzaman, Takayuki Umeda, Kosuke Sekiyama, and Toshio Fukuda, “A Region of Interest (ROI) Sharing Protocol for Multi-Robot Co-operation with Distributed Sensing based on Semantic Stability”, IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics: Systems, Accepted., 査読有
- [2] Takayuki Umeda, Kosuke Sekiyama, and Toshio Fukuda, “Autonomous Landmark Generation for Cognitive Sharing in Multiple Robot Cooperation”, International Journal of Advancements in Computing Technology, Vol.4, No.22, pp.300-311, 2012, 査読有
- [3] Takayuki Umeda, Kosuke Sekiyama, and Toshio Fukuda, “Vision-Based Object Tracking by Multi-Robots”, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.24, No.3, 531-539, 2012, 査読有
- [4] Mohammad Rokunuzzaman, Kandai, Watanabe, Kosuke Sekiyama and Toshio Fukuda, “An Innovative Approach to Evaluate Semantic Context Awareness for ROI Selection”, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol.7, No.5(B), pp. 2919-2929, 2011, 査読有
- [5] Mohammad Rokunuzzaman, Kosuke Sekiyama and Toshio Fukuda, “Automatic ROI Detection and Evaluation in Video Sequences based on Human Interest”, Journal of Robotics and Mechatronics, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.22, No.1, pp.65-75, 2010, 査読有.

[学会発表] (計 13 件)

- [1] 富田 翔大, 関山浩介, 福田敏男, マルチロボットにおける共有認知のための不変表象共有化アルゴリズム, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 Robomec2013, 2013/5/22-25, 筑波.
- [2] Md. Rokunuzzaman, K. Sekiyama, and T. Fukuda, “Common region of interest generation between mobile robots by cognitive ontology”, 7th International Conference on Electrical & Computer Engineering (ICECE), pp.117-120, Dec. 20-22, 2012, Dhaka, Bangladesh.
- [3] Daniel McGibney, Ryo Morioka, Kosuke Sekiyama, Hiro Mukai, and Toshio Fukuda, “A Multiple Robot Cognitive Sharing System using Audio and Video Sensors”, 11th International Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems (DARS2012), Nov. 8-11, 2012, Baltimore, USA.
- [4] K. Sekiyama, Md. Rokunuzzaman, and T. Fukuda, “A generalized method of region of interest evaluation and its application in cognitive sharing through co-operative action”, World Automation Congress (WAC), pp.1-6, Jun. 24-28, 2012, Puerto Vallarta, Mexico.
- [5] 梅田崇之, 関山浩介, 福田敏男, 自律的ランドマーク生成に基づく物体追跡, 第 17 回ロボティクス・シンポジウム, 2012/3/14, 萩
- [6] Takayuki Umeda, Kosuke Sekiyama, Toshio Fukuda, “Vision based Object Tracking by Multi-Robots Based on Feature Selection and Autonomous Landmark Generation”, The 15th Asia Pacific Symposium of Intelligent and Evolutionary Systems (IES2011), Dec. 9,

2011, Yokosuka

- [7] 梅田崇之, 関山浩介, 福田敏男, 自律的ランドマーク生成に基づくマルチロボット間での共有知覚, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 Robomec2011. 2011/5/28, 岡山
- [8] 梅田崇之, 関山浩介, 福田敏男, 特徴選択に基づく移動物体のマルチロボット分散協調追跡第 16 回ロボティクス・シンポジウム, 2011/3/14-15, 指宿
- [9] Md. Rokunuzzaman, K. Sekiyama, and T. Fukuda, “Cognitive Boundary Detection using Semantic Stability Concept”, Proc. of the Joint 5th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 11th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS&ISIS2010), pp.348-389, Dec. 9, 2010, Okayama.
- [10] Mohammad Rokunuzzaman, Kosuke Sekiyama, and Toshio Fukuda, “Multiple Region of Interest Evaluation for Ubiquitous Robots”, Proc. of the 7th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI2010), pp. 429-432, Nov. 26, 2010, Busan, Korea.
- [11] Takayuki Umeda, Kosuke Sekiyama, and Toshio Fukuda, “Cooperative Distributed Object Tracking by Multiple Robots Based on Feature Selection”, Proc. of the 10th International Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems (DARS2010), Nov.1-3, 2010, Lausanne, Switzerland.
- [12] Mohammad Rokunuzzaman, Kosuke Sekiyama, and Toshio Fukuda, “Semantic Evaluation of Region of Interest for Intelligent Robot”, The2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2010), Taipei, Taiwan, pp.3519-3524, Oct. 20, 2010
- [13] 梅田崇之, 関山浩介, 福田敏男, 特徴量選択に基づくマルチロボット分散協調物体追跡, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 Robomec2010. 2010/6/13-16, 旭川

[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 なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

関山 浩介 (Kosuke Sekiyama)

名古屋大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：40293675

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし