

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24年6月11日現在

機関番号：10103

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21700181

研究課題名（和文） ロボットとユーザの知識共有を手助けする画像トランシーバ開発

研究課題名（英文） Development of Image Transceiver for Knowledge Sharing between Robot and its Users

研究代表者

高氏 秀則（TAKAUJI HIDENORI）

室蘭工業大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：90431329

研究成果の概要（和文）：実物体への画像投影により、ロボットに対してユーザの要求を伝えやすい誰もが容易に利用可能なロボットを実現するため、プロジェクタとカメラを同軸に設置したプロジェクターカメラシステム「画像トランシーバ」の設計・開発を行った。また、移動物体への画像投影の実現に必要な技術として、照明変動などの不良条件に対してロバストな移動物体追跡手法と画像品質が悪い映像からオプティカルフローをロバストに推定する手法を開発した。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research is to develop user friendly robots with easy communication by image projection to real objects. To achieve this purpose, we designed and developed the projector camera system “Image Transceiver” consisted of the projector and camera which have a common optical axis. Also, as essential technique to project images on moving objects, we developed a tracking method for moving objects which is robust against ill conditions such as illumination change, and a method which estimates the optical flow robustly from low quality images.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

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：画像情報処理、知覚情報提示、画像投影、画像補正、移動物体追跡、

ユーザーインタフェース、オプティカルフロー、回転照合

1. 研究開始当初の背景

ユーザに対して煩雑な操作や特別なプログラミング知識を要求するロボットが多く、ロボット利用の拡大、特に高齢者にとって煩雑な操作は大きな障壁となっている。本研究では、ユーザとロボットをつなぐ共通の「言葉」として「画像」を利用することで、ユーザに

対する負担が軽く誰もが容易に扱えるロボットの実現を目指している。

近年、安価で高性能なプロジェクタの入手が可能となり、プロジェクタとカメラを組み合わせた研究が盛んに行われている。プロジェクタによる実環境への投影を利用する研究として、拡張現実感システムに関する研究

や、プロジェクタとカメラを遠隔地からの指示・支援に利用する研究などもあるが、移動物体を投影対象とする研究や画像投影をロボットと人間とのインタフェースに利用した研究は見当たらない。本研究では、プロジェクタとカメラの同軸構造により投影画像と実物体の2次元的位置関係の把握が容易に行えるプロジェクタ-カメラシステム「画像トランシーバ」を開発することで、ロボットに対してユーザの要求を伝えやすい、誰もが容易に利用可能なロボットを実現する。

2. 研究の目的

「画像」を媒介としたロボットと人間の対話においては、「メガネどこ行ったかな？」とのユーザの問いに対し、それが目の前の机にあったとしても、ロボットにはその事を伝える手段として、机の上に置かれたメガネの画像を液晶ディスプレイに表示することでしか情報を伝達できなかった。また、ユーザもロボットとの対話中、常にディスプレイを見ていなければいけない煩わしさがあり、円滑なコミュニケーションの妨げとなっていた。そこで、本研究では次の二つの目的を設定した。

(1) 実物体と画像投影を媒介としたロボットと人間との円滑な知識共有手法の開発
プロジェクタによる画像投影を利用し、ユーザとの知識共有の媒介として実物体が扱える手法を開発する。これにより、例えば、実際のスイッチを目の前にしながら、「このスイッチを押してください」といったロボットとの容易な対話が可能となる。

(2) 移動物体への画像投影手法の開発
ユーザとの対話の中で対象となる実物体は、ユーザが手にした本など、その対象が静止しているとは限らない。そこで、目的とする移動物体への安定した画像投影手法を開発する。

3. 研究の方法

(1) 静止物体への画像投影システム開発
プロジェクタとカメラを同軸に設置した形状計測装置を参考に「画像トランシーバ」の設計・開発を行なう。

(2) 移動物体追跡システム開発
移動物体追跡手法には照明変動・遮へいに対して高いロバスト性を特徴として持つ方向符号照合法を応用することで、利用環境に制限の少ない移動物体追跡システムを実現する。ハイライトや遮へいが同時に存在するような状況においても移動物体を追跡するため、オプティカルフローをロバストに推定する手法を開発する。

(3) 移動物体への画像投影装置の開発
PC制御が可能なパンチルト雲台にプロジェクタを搭載した移動物体への画像投影装置を開発する。実物体への適切な画像投影を実現するため、対象物の表面特性（拡散反射、鏡面反射など）の影響について考察し、表面特性に対してロバストな投影手法を開発する。

(4) 移動物体への画像投影手法の開発
移動物体追跡手法には方向符号照合法を応用することで、利用環境に制限の少ない移動物体への画像投影手法を実現する。対象物が移動する場合、撮影画像中の対象物は距離に応じてスケールが変化するため、これに対応した手法を検討する。

(5) 移動物体への画像投影手法の高速化
移動物体への画像投影の実現には、[画像撮影]→[対象物追跡]→[画像投影]という一連の高速処理が必須である。ここでは対象物の特徴量に注目した追跡手法を開発する。

(6) 画像トランシーバの適応限界調査
移動物体を対象とした場合、画像トランシーバの応答速度（遅延時間）の影響を調査する。また、画像トランシーバをPC制御が可能なパンチルト雲台に搭載し、これが移動速度に対する適応範囲の拡大に有効であるかを検証する。

(7) ロボットとの知識共有システムの開発
実物体への画像投影による情報提示によりディスプレイ利用時のユーザへの負担軽減と円滑なコミュニケーションが実現できることを確認する。

4. 研究成果

(1) 静止物体への画像投影システム開発
プロジェクタとカメラを同軸に設置した形状計測装置を参考に「画像トランシーバ」の設計・開発を行った。プロジェクタとカメラ、ハーフミラーを組み合わせた単純構造にミラーを追加することで、投影画像と撮影画像の鏡像関係解消と小型化を実現した。

(2) 移動物体追跡システム開発
移動物体追跡手法には、照明変動・遮へいに対して高いロバスト性を特徴として持つ方向符号照合法を応用することで、利用環境に制限の少ない移動物体追跡システムを実現した。

① 移動物体追跡

環境変動による背景変化や画像輝度の変化、また運動に伴う回転及び形状の変化に対してロバストな追跡手法を提案した。提案手法では、方向符号化の際に、参照画像の中心か

らみた方向を符号化することで回転に不変な特徴量を得ている。また追跡対象物の位置をフィードバックし、対象が常に視野中心に来るような位置制御を実現した。

② オプティカルフロー推定

ハイライトや遮へいが同時に存在する画像に対して、オプティカルフローを推定することは非常に困難であると考えられる。このような画像品質が低い映像からオプティカルフローをロバストに推定する手法を提案した。提案手法では、方向符号照合法により算出される2枚の画像間の類似度分布に基づき、オプティカルフローとなり得る「候補ベクトル」の生成（正投票）とオプティカルフローが存在する可能性が低い「無相関領域」の抽出（負投票）からなる補完的な投票によりオプティカルフローを推定した。本研究成果は国内学会学術論文誌に掲載された。

(3) 移動物体への画像投影装置の開発

静止物体のみならず移動物体に対しても画像投影が可能な画像投影装置を開発するため、PC制御が可能なパンチルト雲台へのプロジェクタ搭載を可能とする「プロジェクタ固定アタッチメント」の設計・開発を行った。実物体への適切な画像投影の実現には、対象物の表面特性を考慮する必要がある。特に金属などの鏡面反射成分が大きい対象物では撮影画像に強い影響を及ぼし、画像トランシーバと対象物の位置関係に依存して白飛びや黒潰れという形となって現れる。この解決のために、局所的にプロジェクタの投影強度を逐次的に変化させることで、表面特性に対してロバストな投影を実現する「局所可変パターン投影手法」を開発した。

(4) 移動物体への画像投影手法の開発

① 移動物体追跡

照明変動・遮へいに対して高いロバスト性を特徴として持つ方向符号照合法を拡張し、カラー画像に適用可能とした。対象物が移動する場合、撮影画像中の対象物は距離に応じてスケールが変化し、また、対象物が非剛体の場合には対象物の変形が問題となる。本研究では、テンプレートを逐次更新することで、これらの変化に対応した移動物体追跡手法を開発した。

② オプティカルフロー推定法の高速化

オプティカルフローとなり得る「候補ベクトル」の生成（正投票）とオプティカルフローが存在する可能性が低い「無相関領域」の抽出（負投票）からなる補完的な投票に基づくオプティカルフロー推定法の高速化を実現した。高速化は、補完的な投票の際に「候補ベクトル」の生成を優先し、予めオプティカルフローの候補を絞り込むことで「無相関領域」の抽出処理を削減することで実現した。

(5) 移動物体への画像投影手法の高速化
移動物体への画像投影の実現には高速な移動物体検出と移動物体追跡手法が必要となる。

① 移動物体検出

複雑な背景下において対象物体を検出するために、背景差分（背景画像と入力画像のRGB値の差）を特徴量として利用するパーティクルフィルタを設計した。対象物体の移動に対応するため、低解像度画像を用いることで処理の高速化を実現した。

② 移動物体追跡

移動物体追跡手法として対象物の色（RGB値）を特徴量としたパーティクルフィルタを実装した。背景差分による移動物体検出（検出モード）から色特徴を利用した移動物体追跡（追跡モード）への円滑な自動移行を実現するため、パーティクルフィルタの尤度の平均値を利用したモード移行手法を開発した。

(6) 画像トランシーバの適応限界調査

画像トランシーバの応答速度（遅延時間）と比較して対象物の移動速度が速い場合、対象物の画面外への移動（フレームアウト）を避けるのは困難である。そこで、PC制御が可能なパンチルト雲台にカメラを搭載し、対象物を画面中央に捕らえるように雲台を制御することで、対象物のフレームアウトを防止した移動物体追跡を実現した。

(7) ロボットとの知識共有システムの開発

実物体への画像投影による情報提示により、ディスプレイ利用時のユーザへの負担軽減とロボットとの円滑なコミュニケーションを実現するためには、ユーザ視点における投影画像の歪みを取り除く必要がある。画像トランシーバで撮影したARマーカ画像とARToolKitを利用して実物体の位置姿勢情報を取得し、この情報に基づき投影画像に幾何学的な補正を行う事によって、ユーザ視点から見たゆがみを補正しユーザへの正確な情報提示を実現した。

(8) 今後の展望

ユーザが目にする投影画像は投影対象の形状やユーザの観測位置に依存して形状の歪みや隠れが生じ、投影対象の向きによって明るさのバラツキが発生する。3次元物体を画像投影対象とした場合、投影画像は投影対象の形状により歪みが生じる。この歪みの補正には投影対象のより詳細な形状情報が必要となる。ユーザに対して最適な画像提示を実現するためには、今後、投影対象物の3次元形状と表面特性に応じて投影画像を補正する手法を開発する必要があると考えられる。

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 13 件)

- ① X. Zhao, Y. Satoh, H. Takauji and S. Kaneko, Robust Tracking Using Particle Filter With a Hybrid Feature, IEICE TRANS. on Information and Systems, 査読有, Vol. E95-D, No. 2, pp. 646-657, 2012.
- ② 木村優太、高氏秀則、金子俊一、外縁 FCM クラスタリングによる複雑形状をもつ柔軟ケーブルの形状認識、画像電子学会、査読有、Vol. 41, No. 1, pp. 18-27, 2012.
- ③ 栢場皓之、金子俊一、高氏秀則、戸田昌孝、久野耕嗣、菅沼孫之雄、三次元形状欠陥認識を指向したモデル形状評価型ロボスト点群照合法、電子情報通信学会、査読有、Vol. J95-D, No. 1, pp. 97-110, 2012.
- ④ X. Zhao, Y. Satoh, H. Takauji, S. Kaneko, K. Iwata and R. Ozaki, Object detection based on a robust and accurate statistical multi-point-pair model, Pattern Recognition, 査読有, Vol. 44, Issue. 6, pp. 1296-1311, 2011.
- ⑤ 堂前幸康、奥田晴久、高氏秀則、金子俊一、鷺見和彦、カメラ撮影とロボットの位置取得の同期をとれた 2 視点間を運動中の非同期連続画像における追跡安定度を考慮した単眼モーションステレオ、精密工学会誌、査読有、Vol. 77, No. 1, pp. 90-96, 2011.
- ⑥ 方明、高氏秀則、金子俊一、渡邊日出海、補完的投票に基づくオプティカルフローのロボスト推定、画像電子学会、査読有、Vol. 39, No. 5, pp. 714-724, 2010.
- ⑦ 李媛、高氏秀則、大村功、金子俊一、田中孝之、方向符号照合に基づくロボスト合焦法、精密工学会誌、査読有、Vol. 75, No. 5, pp. 650-656, 2009.
- ⑧ 浦野貴裕、金子俊一、高氏秀則、田中孝之、前田俊二、渋谷久恵、吉田実、欠陥種を考慮に入れた局所一貫性に基づく欠陥パターン照合法、電気学会論文誌(C)、査読有、Vol. 129, No. 5, pp. 778-785, 2009.

[学会発表] (計 6 2 件)

- ① 宮崎峻、実物体への画像投影を用いたロボットとのコミュニケーション、日本機械学会北海道学生会第 41 回学生員卒業研究発表講演会、2012 年 3 月 3 日、北海道大学工学部 (札幌市)
- ② Xinyue ZHAO, Hybrid Feature and Adaptive Particle Filter for Robust Object Tracking, International Conference on Machine Vision, Image Processing, and Pattern Analysis, Nov. 28, 2011, NH Laguna, Venice, Italy.

- ③ Yuta Kimura, Shape Recognition of Various Types of Cables by Outer Edge Fuzzy Clustering, International Symposium on Optomechatronic Technologies, Nov. 1, 2011, The Chinese University of Hong Kong, China.
- ④ Hidenori Takauji, A Robust Real Velocity Sensing for Agrimotors by Orientation Code Matching, 16th Japan-Korea Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2011), Feb. 9, 2011, University of Ulsan, Ulsan, Korea.
- ⑤ Takumi Honda, Visual Feedback System for Tracking of Microorganisms using Color OCM, the 36th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON' 2010), Nov. 10, 2010, Renaissance Phoenix Glendale Hotel & Spa, Phoenix, AZ, USA.
- ⑥ Ming Fang, Rapid Computation of Robust Optical Flow by Efficient Complementary Voting, World Automation Congress (WAC2010), Sep. 20, 2010, Kobe International Conference Center, Kobe, Japan.
- ⑦ 本田匠、カラー方向符号照合法を用いた微生物トラッキングのためのロボストビジュアルフィードバック、動的画像処理実利用化ワークショップ (DIA2010)、2010 年 3 月 4 日、男女共同参画センターぴゅあ総合 (甲府市)
- ⑧ Hidenori Takauji, A Robust Point Registration of Imbalanced Point Sets based on Parameter-Adaptive LCPD, 16th Japan-Korea Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2010), Feb. 4, 2010, Aki Grand Hotel, Hiroshima Japan.
- ⑨ Ming Fang, Robust optical Flow estimation for underwater image, International Symposium on Optomechatronic Technologies (ISOT2009), Sep. 23, 2009, Military Museum, Istanbul, Turkey.

[その他]

ホームページ等

<http://ssc-s02.ssi.ist.hokudai.ac.jp/>

<http://www.muroran-it.ac.jp/robot-arena/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高氏 秀則 (TAKAUJI HIDENORI)

室蘭工業大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号 : 90431329