

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 14 日現在

機関番号：32629

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22760193

研究課題名（和文） 移動ロボットによる視覚に基づく高速高精度追尾システムの開発

研究課題名（英文） Development of a high-speed and high-precision visual target following system using a mobile robot

研究代表者

伊藤 正英（ITO MASAHIDE）

成蹊大学・理工学部・助教

研究者番号：60459237

研究成果の概要（和文）：本研究では、アクティブカメラを有す車輪移動ロボットを用いた高速高精度な視覚追尾システムの開発に取り組んだ。固定カメラで、かつ注目対象が移動する場合、パンカメラで、かつ注目対象が静止する場合、それぞれについて視覚追尾制御系を与えた。また、単一カメラであるゆえ必要となる奥行き成分推定や関節可動限界の回避に関して新しい方法を提案した。各種提案法の性能は、実機ロボットを用いて実験的に評価した。

研究成果の概要（英文）：This study has addressed a development of a high-speed and high-precision visual target following system using a wheeled mobile robot with an active camera. We have derived a visual target following control system in the case of using a fixed camera for a moving target and the case of using a pan camera for a stationary target. Also, we have proposed novel schemes for a depth estimation using a single camera and for avoiding robot joint limits. The performance of the proposed schemes has been evaluated experimentally.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011 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：工学

科研費の分科・細目：機械工学，知能機械学・機械システム

キーワード：ロボティクス，視覚に基づく追尾

1. 研究開始当初の背景

カメラは非接触に環境の情報を取得できる利便性から、各種画像処理技術とともに、防犯システム、内視鏡システム、カー・ロボティクス（高度化・知能化された自動車）など様々な実システムに応用されてきた。しかし、カメラと注目対象という関係を考えると、多くの場合いずれかが環境に固定された状況であった。

これに対して、研究代表者を含む研究グループは、カメラも注目対象も移動するという状況を想定し、カメラの画面内特定位置に注目対象をとらえるカメラの制御方法を研究課題として取り組んでいた。これまで、カメラを1台あるいは2台搭載したロボットに対して、注目対象を、“その移動に遅れることなく”，カメラの画面内特定位置でとらえる追従視制御法を独自に開発し、その有効性を

実験的に検証していた。しかし、ロボットの台座が環境に固定されていることから、カメラの移動範囲は制限され、追従視にも限界があった。

2. 研究の目的

本研究では、台座が2次元平面内を運動可能であり、かつアクティブカメラを搭載する移動ロボットに対して、既報の追従視制御法を応用し、高速高精度な追尾システムを開発することを目的とした。

この研究目的の達成に必要な、具体的な実現項目を以下のとおり設定した：

- (1) アクティブカメラ搭載移動ロボットのモデリング
- (2) 視覚に基づく追尾制御系の構築
- (3) 追尾システムの実験的な性能評価

得られる研究成果は、たとえば、ある環境に侵入した不審者や不審物の自動追尾監視、動的な災害現場での救助支援など安全監視システムへの実応用展開が可能である。

3. 研究の方法

- (1) アクティブカメラ搭載移動ロボットのモデリング

研究代表者らの研究グループは、2輪独立にモータ駆動する車輪と車体を支えるキャスター、パン回転（鉛直軸まわりの回転）可能な CCD カメラから成る車輪移動ロボット（図 1）を所有している。この構造、振る舞いに妥当な運動学モデルを求める。

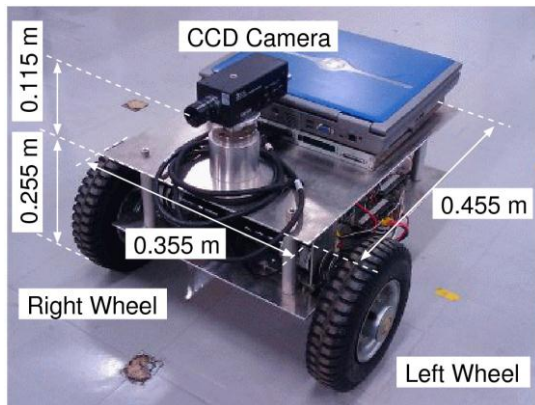


図 1 パンカメラを有す車輪移動ロボット

- (2) 視覚に基づく追尾制御系の構築

得られたアクティブカメラ搭載移動ロボットのモデルをもとに、既報の遅れなし追従視制御法を応用して、視覚に基づく追尾制御系を構築する。

単一カメラシステムでは、カメラに対する注目対象の奥行き成分を推定する必要がある。研究代表者らの提案する奥行き推定に関

する方法が実用レベルに達していれば、これを採用する。そうでなければ、注目対象の幾何モデルに基づいて算出する。

- (3) 追尾システムの実験的な性能評価

アクティブカメラ搭載移動ロボットシステムと小型移動ロボットを用いて、提案する追尾システムの実験的な評価を行う。追尾制御自体の安定性を確認した上で高速性、高精度性、安全性という点を重点的に評価し、それぞれの限界についても明らかにする。

4. 研究成果

- (1) アクティブカメラ搭載移動ロボットのモデリング

図 1 のパンカメラを有す車輪移動ロボットの運動学モデルを求めた。特に、各車輪およびパン回転軸の角速度とカメラ速度の関係が、固定カメラの場合の拡張として、また移動マニピュレータの特別な場合として得られていることが確認できた。簡易実験により、求めた運動学モデルの妥当性を検証した。

- (2) 視覚に基づく追尾制御系の構築

まずパン回転を固定した場合に対し、既報の遅れなし追従視制御法を応用することで追尾システムを構築した。このとき、オドメトリ・エラーの影響を最小限に抑えるため、画像平面の特徴点の振る舞いから推定した移動速度を補償に用いた。注目対象の移動速度を考慮しない場合と比較して、高精度な追尾が可能であるという予備の結果が得られた（雑誌論文①、学会発表⑧および⑨）。

つづいて、パンカメラを有す車輪移動ロボットの運動学モデルをもとに、既報の遅れなし追従視制御法を応用することを検討した。しかしながら、パン回転を固定した場合と同様の設計方針では、車両の推進速度、ステアリング角速度、パン回転軸の角速度の3者とカメラ速度を結びつける行列が特異になるため、追尾制御系の構築が不可能であることがわかった。そこで、特徴点の仮想重心を導入し、これを追従視することをメインタスクとした。こうすることで、仮想重心の追従という2自由度タスクに対してロボットの3自由度あるという冗長自由度が存在する状況になり、制御則中の行列が特異となることも回避できた。また、冗長自由度を利用することで、メインタスクとは独立にサブタスクを設定することが可能であり、各特徴点を切り替えながら追従させるサブタスクを実現するよう制御則を設計した。仮想重心の導入によって、おおまかに注目対象をとらえながらも、各特徴点をできるかぎり所望位置でとらえるという制御戦略は、研究代表者の知る限り新しい。実験検証を含めた成果は、学会発表①にて報告を行った。現在、投稿した国際

会議論文が査読中、また雑誌論文を投稿準備中である。ただし、これらの結果は、静止する注目対象に対するものに留まっており、当初の目的である、移動する注目対象に対する拡張は今後の課題として残っている。

奥行き成分推定は、注目対象につけたマーカーの幾何モデルに基づいて行った。研究代表者が提案する奥行き推定に関する方法は、追尾システムにおいて利用できるレベルには至らなかったが、所望特徴点を周期的変動させることで推定精度を回復させる方法を構築し、学会発表②、③にて成果を報告した。現在雑誌論文を投稿準備中である。

当初の計画にはなかったが、研究を進めた結果、パン回転の可動範囲を制約する必要が生じたため、追従視制御中の関節可動限界の回避方法にも取り組んだ。この課題に対しては、関節可動範囲を最大許容するという考え方を導入し、可動限界を回避しながらも可動範囲を最大限利用できるという成果を得た(雑誌論文②および③、学会発表④～⑦)。

(3) 追尾システムの実験的な性能評価

既存カメラシステムを、新規購入した高感度高速 CMOS カメラシステムに置き換えることができず、当初予定していた性能評価が実施できなかった。この原因には、事前に予測できなかった、制御用ノート PC と拡張ボックスとの相性問題、代替の小型 PC の手配上の遅延などがある。そのため、既存システムによって追尾制御そのものの安定性の確認と高精度性の評価に留まっている。新カメラシステムへの置き換えが完了次第、各種評価を実施する予定である。

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 3 件)

- ① Masahide Ito, Takahiro Hiratsuka, and Masaaki Shibata: Image-based visual target following for a nonholonomic wheeled mobile robot with a single fixed camera, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol.7, No.8, 掲載決定, 2012, 査読有
- ② 伊藤正英・柴田昌明: 関節可動範囲を最大許容する遅れなし追従視制御, 電気学会論文誌 D (産業応用部門誌), Vol.132, No.5, pp.588 — 595, 2012, DOI: 10.1541/ieejias.132.588, 査読有
- ③ Masahide Ito and Masaaki Shibata: Visual servo control admitting joint range of motion maximally, Lecture Notes in Control and Information Sciences (LNCIS) 422, Springer-Verlag

London, pp.225 — 235, 2012, DOI: 10.1007/978-1-4471-2343-9_19, 査読有

[学会発表] (計 9 件)

- ① 江幡貴史・伊藤正英・柴田昌明: アクティブカメラを有す車輪移動ロボットに対する特徴点の仮想重心を用いた画像ベース視覚サーボ, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2012年5月28日, アクオシティ浜松
- ② 浦井修也・伊藤正英・柴田昌明: PE 性に基づく奥行き推定オブザーバに対する PE 性回復動作と実験的検証, 第 56 回システム制御情報学会研究講演会, 2012年5月22日, 京都テルサ
- ③ 伊藤正英・浦井修也・柴田昌明: PE 性ベース奥行きオブザーバに対する PE 性回復視覚サーボタスク, 第 12 回計測自動制御学会制御部門大会, 2012年3月15日, 奈良県文化会館
- ④ 伊藤正英・柴田昌明: 関節可動範囲を最大許容する追従視制御, 平成 23 年電気学会産業部門大会, 2011年9月8日, 琉球大学, 沖縄
- ⑤ Masahide Ito and Masaaki Shibata: Visual servo control admitting joint range of motion maximally, 8th International Workshop on Robotic Motion and Control (RoMoCo2011), June 17, 2011, Hotel Bukowy Dworek, Poland
- ⑥ 伊藤正英・柴田昌明: ロボットの関節可動範囲を最大許容した視覚サーボ, 第 55 回システム制御情報学会研究発表講演会, 2011年5月19日, 大阪大学コンベンションセンター
- ⑦ 伊藤正英・柴田昌明: 冗長性による関節可動範囲の最大許容—視覚サーボへの応用と実験的検証—, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2011年5月27日, 岡山コンベンションセンター
- ⑧ Masahide Ito, Takahiro Hiratsuka, and Masaaki Shibata: Feature-based visual target following for nonholonomic wheeled mobile robot with single camera, 36th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON2010), November 10, 2010, Renaissance Phenix Glendale Hotel & Spa, AZ, USA
- ⑨ 伊藤正英・平塚貴浩・柴田昌明: 非ホロミック車輪移動ロボットによる特徴ベース視覚追尾制御, 平成 22 年電気学会産業応用部門大会, 2010年8月26日, 芝浦工業大学, 東京

[その他]

ホームページ等

<http://www.sd.seikei.ac.jp/~shibam/index.html>

<http://researchmap.jp/itomasa/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 正英 (ITO MASAHIDE)

成蹊大学・理工学部・助教

研究者番号：60459237