

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料  
〔研究進捗評価用〕

平成24年度採択分  
平成27年3月20日現在

超高速ビジョンを用いた高速知能ロボットの研究

High-speed Intelligent Robot Using  
Ultra High-speed Vision

課題番号：24220005

石川 正俊（ISHIKAWA MASATOSHI）

東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授



研究の概要

本研究では、人間の目に見えない高速知能ロボットの一般的動作原理、必要条件、設計指針等を体系的に確立し、高速知能ロボットを構築することを目的とする。そのために、高速ビジョンの処理系・光学系に関するデバイス開発と、ハンドアームおよび下肢機構のメカニズム開発をおこない、感覚運動統合に基づく認識行動アルゴリズムを実装した知的タスクを実現した。

研究分野：総合領域，情報学，知能ロボティクス

キーワード：知能ロボット，画像情報処理

1. 研究開始当初の背景

現在、産業用ロボットはプレイバック方式による繰り返し動作の実行は速いが、センサフィードバックに基づく知的動作はセンサの速度に起因して、低速な動作しか実現されていない。一方、ヒューマノイドロボットは人間の運動を再現することを目標としているため、本質的な機械のダイナミクスに比べて動作が遅いという問題がある。現状の知能ロボットは、機械システムとしての速度限界には達しておらず、今まで以上に高速かつ知的に動作する先進的な領域へ達する可能性が残っている。

2. 研究の目的

本研究では、高速3次元形状計測、高速視線制御、高速可変焦点技術を知能ロボットへ統合し、知能ロボットの速度限界へ挑戦する。具体的には、(A)人間の目では見えない極限の高速性を追求した高速知能ロボットの開発、(B)人間の目では把握し得ない高速に変動する実環境・対象のダイナミック把握の実現を目的とする。

3. 研究の方法

高速知能ロボットの原理を提案・確認し、予備実験等で実現可能性を確かめた上で、実証システムを組んで、従来とは全く異なる性能が得られることを確認する。研究遂行にあたってはサブテーマごとに研究のフェーズが異なるため、スケジュールはフレキシブルに対応する形で進めている。概略的には、前半3年間で、ロボットとセンシングのシステム構築と検証実験等を行った。

4. これまでの成果

[高速二足走行システム ACHIRES]

高速ビジュアルフィードバックを用いた二足走行ロボットシステム ACHIRES を開発した。軽量かつ高出力なモータを用いて高速運動を実現する二足走行機構と、走行姿勢を安定に保つためにロボットの状態をリアルタイムに認識する高速ビジョンを統合したシステムで構成されている。上記の技術を融合することで、転倒を回避するための反応スピードが大幅に向上した。これにより、視覚フィードバックを主体とした簡易かつ直観的な手法でバランス制御が可能となり、通常の二足ロボットで使用されている ZMP 規範制御から脱却した新たな走行アルゴリズムを提案した。ACHIRES を用いた検証実験の第一ステップとして、世界トップクラスのスピードで高速走行することを実現した。走り方も従来とは異なり、体幹姿勢が大きく前傾したダイナミックな走法が可能となった。



[相対座標制御による高速ペグインホール]

高速ビジョンとバックラッシュのない高速アクチュエータをロボットアームの先端リンクに搭載することで、手先のペグをホールに高速で挿入するペグインホール作業を実現した。視野内にペグとホールを両方捉えて画像内で相対座標制御をおこない、手先の高応答特性とアク



チュエータのバックラッシュレス特性を利用することで、アームに関する誤差を手先機構で高速に補償してタスクを遂行することを可能にした。その結果、通常の力制御を利用したペグインホールに比べて、格段に高速化することを実現した。

#### [多指ハンドによるマニピュレーション]

柔軟物操りと微小物体キャッチを実現した。柔軟物操りでは、空中での布のダイナミックな折りたたみ動作を行った。



人間の折りたたみ動作の解析を行うことで布の変形モデルを導出し、高速視覚フィードバックによって布の目標形状を得るためのロボットの軌道生成手法を提案した。微小物体キャッチでは、多指ハンドでピンセットを把持し、空中を飛んでくる微小球をピンセットの先端で瞬間的に掴む動作を実現した。ピンセットは固定せずにハンドで接触状態を制御しながら、高速ビジョンの視野内でピンセット先端と微小球が同一位置となるように、ロボスタなビジュアルサーボ手法を提案した。

#### [スタンドアロン高速ビジョンシステム]

スタンドアロンかつ小型な構成の高速ビジョンモジュールを開発した。システムの小型化に伴う機能の劣化を回避するための手段として、



高速な画像処理に基づいて撮像形態をフレーム毎に制御する動的撮像制御を提案し、具体的なシステムを開発した。

#### [1ms オートパン・チルト]

高速ビジョンと高速ミラーの性能の高さに依拠した映像制御を実現するトラッキングシステムとして、1kHz オーダの高い応答速度と Full HD 対応の高い解像度を



もつ実用的な評価用システムを開発した。また、可搬性を備えたシステムを構築し、屋内外において卓球やバスケットのボールに対し、高像倍率で継続的なトラッキングが可能なことを検証実験により示した。

#### [大口径可変焦点レンズ]

液体可変焦点レンズの大口径化を実現した。従来の液体可変焦点レンズは 2 層構造で作成されていたが、光学特性の低下や毛管現象の物理的制約の問題のため、大口径化するのは技術的にほぼ不可能であった。そこで新たに、液体-膜-液体の 3 層構造のレンズを提案し、上記の問題を解決した。これにより、大口径化に伴う入射光量や焦点レンジの大幅増加など、光学設計が大幅に容易になった。



#### 5. 今後の計画

高速知能ロボットの要素技術となるアクチュエータ・メカニズム・画像処理モジュール・レンズ等を改良し、個別システムでさらなる高速化・高精度化を実現する。要素技術を融合してアプリケーションへ実装することで、超高速ビジョンの体系化を図り、高速知能ロボットのアーキテクチャや動作原理に関して、感覚運動統合の視点から一般理論としての整備を行う。

#### 6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

[1] Shouren Huang, Yuji Yamakawa, Taku Senoo and Masatoshi Ishikawa: Dynamic compensation by fusing a high-speed actuator and high-speed visual feedback with its application to fast peg-and-hole alignment, *Advanced Robotics*, Vol.28, No.9, pp.613-624, 2014.

[2] Lihui Wang, Hiromasa Oku, Masatoshi Ishikawa, An improved low-optical-power variable focus lens with a large aperture, *Optics Express*, Vol.22, Issue 16, pp.19448-19456 (2014)

[3] Tomoki Tamada, Wataru Ikarashi, Daiki Yoneyama, Kazuhito Tanaka, Yuji Yamakawa, Taku Senoo and Masatoshi Ishikawa: High-speed Bipedal Robot Running Using High-speed Visual Feedback, 2014 IEEE/RAS International Conference on Humanoid Robots, *Proceedings*, pp.140-145 (2014)

[4] 山川雄司, 並木明夫, 石川正俊, 下条誠: ロボットハンドの構造・運動を考慮した操りスキルの統合に基づく結び目の生成計画, *日本ロボット学会誌*, Vol.31, No.3, pp.283-291, 2013.

[5] 末石智大, 奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊: 二眼駆動鏡面式視線制御による高速運動・変形物体のステレオ計測システム, *日本バーチャリアリティ学会論文誌*, Vol.18, No.2, pp.181-190 (2013)

[6] 妹尾拓, 高野光浩, 石川正俊: 滑り摩擦非対称性を利用した動的2脚移動, *日本ロボット学会誌*, Vol.31, No.3, pp.301-309, 2013.

[7] Masatoshi Ishikawa, Akio Namiki, Taku Senoo and Yuji Yamakawa. Ultra High-speed Robot Based on 1 kHz Vision System. 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. *Proceedings*, pp.5460-5461. [Best Jubilee Video Award 受賞]

[8] 経済産業省デジタルコンテンツ協会 Innovative Technologies 2013, 2014. 2年連続受賞

ホームページ等

<http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/>