

# 高速視覚を用いた把握行動システム

## Grasping System Using High Speed Visual Feedback

○ 並木 明夫 (東大) 中坊 嘉宏 (東大) 石井 抱 (東大) 正 石川 正俊 (東大)

Akio NAMIKI, Yoshihiro NAKABO, Idaku ISHII, Masatoshi ISHIKAWA  
University of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo

**Abstract:** A grasping system using high speed visual feedback is developed. This system consists of an active vision with the parallel processing vision system called SPE-256, and a multi-fingered hand-arm system like a human hand. This is controlled using a multi-DSP controller and realtime parallel sensory feedback is realized. As a result the hand has succeeded in grasping against a target which moves randomly at high speed. Experimental result is presented.

**Key Words:** grasping, multi-fingered hand-arm, active vision, multi-DSP controller, visual feedback, parallel sensory feedback

### 1. はじめに

実環境においては環境は動的に変化し、その予測は困難な場合が多い。よって、実環境で働くマニピュレーションシステムは、環境の変化速度を上回る高速なセンサフィードバック機構を持つ必要がある。しかし、従来のマニピュレーションの研究では、センサフィードバックの高速性について十分に考慮されることは少なかった。この原因の一つは、実時間で外界の状況を認識し制御するには、センサの処理能力もシステムの演算能力も不十分であったためであるが、これでは、制御の速度が環境変化に追いつかないために、十分なマニピュレーション能力が発揮できないだけでなく、周囲環境に予測外の損傷を与える危険性もあった。

これらの観点から、我々はこれまでに高速センサフィードバックをマニピュレーションに利用するための研究を、特に理論面に重点を置いて進めて来た [1, 2]。本研究では、さらに高速センサフィードバックをハードウェア上で実装することを目指し、高速視覚フィードバックを用いた把握行動システムを構築した。これは、高速に動く対象に対して、マニピュレータの高速な追従と把握を実現するものであり、予測を使わずに高速なセンサフィードバックのみを用いているために、ランダムに動く対象に対しても確実に把握することができる。

### 2. システム構成

システムのハードウェアと処理の流れを Fig.1 に示す。これは現在、我々の開発している「階層並列構造を持つ高速センサフィードバックシステムである“1ms 感覚運動統合システム” [3] の一部となっている。

#### 2.1 ハードウェア

マニピュレータは7自由度 多関節アームと4本指・14自由度を持つ多指ハンドからなる。このハンドは3本の指と親指が対向した形状を持ち、人間の手に良く似た構造を持っている。また、各関節近傍に歪みゲージを持ち、把握力を制御することができる。

一方、アクティブビジョンはチルトとパンの2自由度を持ち、視覚センサとして超並列視覚システム SPE-256 を搭載している。これは、デジタル回路による汎用のプロセッシングエレメントを用いたセンサ一体型の並列の演算機構であり、16×16画素の解像度を持ち、高速な画像入力と初期視覚処理を実現できる [4]。これを用いることで、従来の CCD におけるビデオフレームレート (30Hz) の限界を越えた高速な視覚フィードバック制御が可能となる。

マニピュレータとアクティブビジョンを合わせた総入出力ポート数は65ポート以上にもなり、また総自由度も23にもなるため、

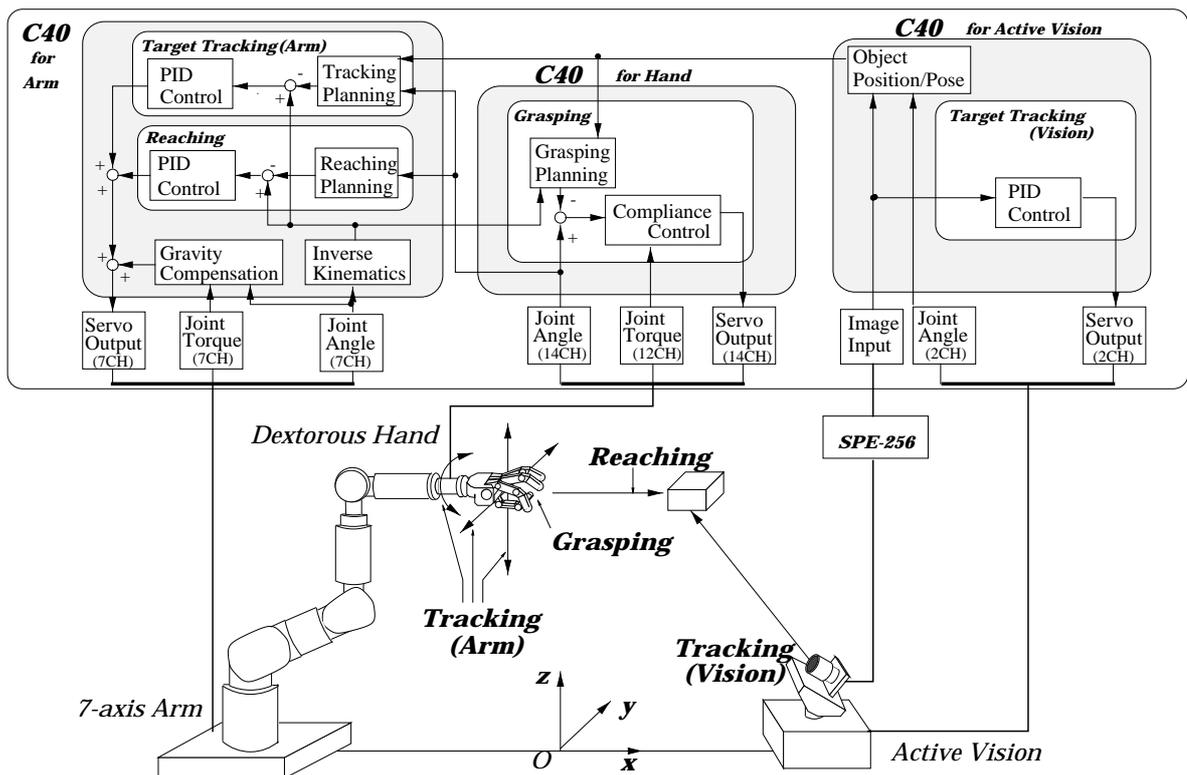


Fig.1 The Architecture of High Speed Grasping System

これらの処理を単一のプロセッサで処理していたのでは、十分な高速性は実現できない。このため、本システムでは、制御用コントローラとして浮動小数点 DSP である TMS320C40(Texas Instrument 社)を3つ用いて、それぞれアーム、ハンド、アクティブビジョン専用に割り当てることとした。この DSP は通信機能を用いたマルチプロセッサ構成が可能であり、プロセッサ単体でも 275 MFLOPS もの高い計算能力を持つために、大規模な並列制御システムに適している。この上で高速センサフィードバックを並列に実行することで、システムの高速な応答が実現できる。

## 2.2 センサフィードバックの構成

今回構築したシステムでは、アクティブビジョンとマニピュレータは Fig.1 に示したように  $x$  軸上で向かい合わせに配置してある。この場合、ビジョンは単眼であるので、 $x$  軸方向の位置は計測できない。そこで、対象の動きを  $y-z$  平面上での並行移動と  $x$  軸周りの回転の3自由度に限定して任意の運動を行わせることにし、 $x$  軸方向は固定とした。この条件のもとに、次の4つのフィードバックを並列に実行することで、把握行動を実現した。

### (1) ターゲットトラッキング (ビジョン)

視覚フィードバックを用いて、対象が画像中心に置かれるようにアクティブビジョンの制御を行う [5]。

### (2) ターゲットトラッキング (アーム)

視覚フィードバックを用いて、対象とアームの位置姿勢が一致するようにアームの制御を行う。ただし、今回の実験では  $y-z$  平面と  $x$  軸周りの姿勢角の3自由度にのみ追従制御を行った。

### (3) リーチング

関節角センサ情報を用いて、手先位置を初期位置から把握位置まで近づけるように、アームの制御を行う。今回の実験では、 $x$  軸方向にのみ位置制御を行った。

### (4) グラスピング

視覚フィードバックを用いて、対象の形状に合わせて多指ハンドの制御を行う。今回の実験では、あらかじめ対象の形状に適した把握位置を与えておき、対象とハンドの距離に応じて関節角を制御することで、リーチング行動に同期させた把握を行う。また、力覚フィードバックによりコンプライアンス制御を行い、柔らかな把握を実現する。

これらのセンサフィードバックループは C40 のマルチプロセッサ機能とマルチスレッド機能を用いることで、高速性を損わずに並列実行することができ、全体のフィードバック時間を 1.5msec 以下に収めることができた。

## 3. 実験結果

任意かつ高速に動く対象に対して把握実験を行った。結果を Fig.2 と Fig.3 に 0.1sec ごとの連続写真にして示す。ここで、Fig.2 に全体像を、Fig.3 に拡大像を表示している。結果を見ると、トラッキング、リーチング、グラスピングの各動作が高速に実行されている様子が表示されている。これらの結果は、高速なセンサフィードバックによって、予測などの複雑な処理を行わなくても、十分な把握能力が実現できることを示している。

また、本実験は簡単な構造を持つセンサフィードバックを4つ並列化することで実現したが、今後、このような高速センサフィードバックを基本単位とした階層並列センサフィードバックがシステム制御のための有効な手法になると考えられる。

## 4. まとめ

高速視覚を用いた、多指ハンドアームによる把握行動システムを構築した。これは、超並列視覚センサシステム SPE-256 と、DSP を用いた階層並列センサ情報処理機構により、1msec のオーダーの複数の高速センサフィードバックを並列に実行できるものであり、その結果、従来では困難であった任意に動く高速移動物体に対する把握行動を実現することができた。現在、このシステム上で高速、センサフィードバックを用いて、様々なタスクにおける高速な把握や操り動作の実装を進めている。



t=0.0 [sec]

t=0.1 [sec]



t=0.2 [sec]

t=0.3 [sec]



t=0.4 [sec]

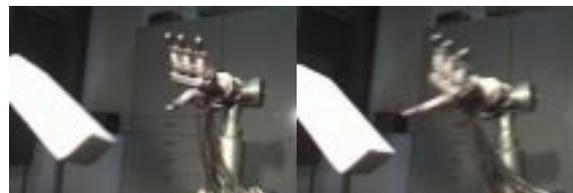
t=0.5 [sec]

Fig.2 Experimental Result 1



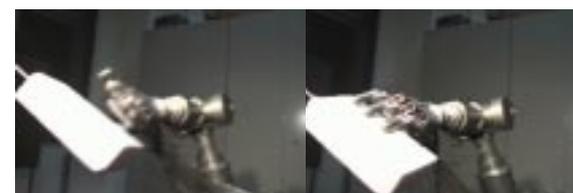
t=0.0 [sec]

t=0.1 [sec]



t=0.2 [sec]

t=0.3 [sec]



t=0.4 [sec]

t=0.5 [sec]

Fig.3 Experimental Result 2

## 参考文献

- [1] 並木, 石川. 視覚情報を用いた最適把握位置探索行動. ロボティクス・メカトロニクス '96 講演会講演論文集, Vol. 2, pp. 1003-1006, 1996.
- [2] 並木, 石川. 能動的探り動作と目的行動の統合. 第 15 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 543-544, 1997.
- [3] 並木, 石井, 中坊, 石川. 1 ms 感覚運動統合システムのアーキテクチャ. 第 5 回ロボットセンサシンポジウム講演論文集, pp. 99-102, 1996.
- [4] M. Ishikawa, A. Morita, and N. Takayanagi. High speed vision system using massively parallel processing. *Proc. IEEE Int. Conf. on Intelligent Robotics and Ssytems*, pp. 373-377, 1992.
- [5] 中坊, 石井, 石川. 超並列・超高速ビジョンを用いた 1ms ターゲットトラッキングシステム. 日本ロボット学会誌, Vol. 15, No. 3, pp. 105-109, 1997.