

高速視覚を用いたダイナミックマニピュレーションシステム

並木明夫 (東大 中坊嘉宏 (東大 石川正俊 (東大

Dynamic Manipulation System Using High-Speed Vision

Abstract— To achieve dynamic manipulation tasks such as catching or throwing in the real world, we have developed a high-speed manipulation system based on visual feedback. It consists of a dual active vision system with a massively parallel vision chip system, a dual 4-axis high-speed manipulator, a 3-fingered high-speed hand, and a DSP multi-processor system. Because it is designed based on the dynamics of each component, it can obtain an optimal performance of dynamic manipulation. Experimental results about grasping of a moving object is shown.

Key Words: dynamic manipulation, high-speed visual feedback, dynamics matching

1. はじめに

近年、視覚センサの処理能力の向上に伴い、視覚フィードバックを用いた動的制御の研究が注目を集めている。著者らは、従来より高速視覚を備えた把握システムの開発を進めてきたが^{1, 2)}、視覚センサの認識精度とアクチュエータの応答性能が低かったために、高速視覚の認識結果を有効に利用するのが困難となり、実現可能なタスクも限られたものとなっていた。

この問題を解決するために、センサとアクチュエータ、処理系の各動特性を考慮した設計を行うことで、投げる・捕る等の動的な操りタスクを目的とした新たな高速マニピュレーションシステムを開発した。本稿では、開発したシステムの設計コンセプトとその構成について説明する。また、動的に変動する対象に対する把握実験の結果について報告する。

2. システムの設計指針

リアルタイムシステムの持つべき性質として、「ダイナミクス整合」が提案されている^{1, 3)}。これは、「物理的・計算的制約条件のもとで、システムの最大パフォーマンスが得られるように、感覚系、処理系、運動系の各要素の動特性が配置されている状態」として定義されている。そこで、単純なセンサフィードバックにおいてダイナミクス整合が成立するための条件を考えると、感覚系・処理系・運動系の直列結合が参照信号のダイナミクスと等しいことである (Fig. 1)。

この条件は、実世界の情報をセンサから入力してアクチュエータを通して出力する、一種のフィルタ設計とみなすことができるので、結果として、センサからアクチュエータへの情報の流れに関して、情報の欠落と伝達の遅れを小さくすることが設計の主眼となる。具体的には、システムの各要素は次の条件を満たすことが必要となる。

- 高速センサ情報処理 (感覚系): センサ処理時間による伝達の遅れを小さく抑える。
- センサフュージョン (感覚系): 複数のセンサから多角的な認識を行うことにより情報の欠落を防ぐ。

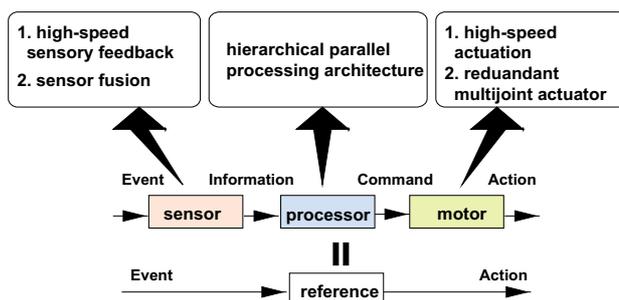


Fig.1 Design concept

- 階層並列処理機構 (処理系): 参照信号の様々な動特性に対応した柔軟な計算能力を実現する。
- 高速アクチュエーション (運動系): 認識結果に応じて、対象に対して遅れることなく作用力を与える。
- 多自由度アクチュエータ (運動系): 対象に対して任意の作用力を与える。

3. システム構成

前節の設計指針に基き、高速マニピュレーションシステムを構築した。システムの構成を Fig.2 に、システムの性能を Table.1 にそれぞれ示す。

1. 階層並列処理システム

16 個の DSP (TMS320C6701:Texas Instrument Inc.) からなるマルチプロセッサシステムであり、合計 16 [GFLOPS] の高速な浮動小数点演算能力を実現している。各 DSP に非干渉化されたセンサフィードバック演算を割り当てることで、厳密で安定性の高いリアルタイム制御を実現することができる。また、実時間の制約が緩い処理に関しては、ホストの PC 上で行うことで、計算負荷を分散している。

2. 高速アクティブビジョンシステム⁴⁾

列並列ビジョン (CPV) システムを搭載した 2 自由度アクティブビジョンである。視覚センサ部は、128×128 画素・8bit 階調の画像を用いて、領域分割・モーメント検出などの初期視覚処理を 1ms 程度で実現する能力

を持つ。アクチュエータ部は、チルト・パンの2自由度を持つDDモーターからなり、最大速度525[rad/s]で動作可能であるので、高速に移動する対象に対して十分な追従能力を持つ。2台のアクティブビジョンを用いて立体視を行うことで、3次元視覚情報が計算される。

3. 高速アーム (米 Barrett Technology Inc.)
ワイヤ駆動の4軸マニピュレータである。高出力・低減速なアクチュエータを用いるとともに、全アクチュエータを台座付近に配置して手先慣性を小さくすることで、最高速度6[m/s]・最高加速度58[m/s²]の高速な動作を実現する。双腕システムとすることで自由度の不足を補い、操りに必要な冗長性を実現している。

4. 高速ハンド
3本指3自由度を有する多指ハンドである。各指はリンク機構を用いて3つの関節を1つのアクチュエータによって駆動する仕組みを持っており、把握物体の径の大きさに合わせた適切な把握形状を実現できる。また、高速ビジョンの動特性と合わせるために、徹底した指の軽量化とモーターの高出力化を行っており、結果として、20[ms]以内での高速な指の開閉能力を実現している。アームの動きを妨げないために、指と掌を合わせて全重量を1[kg]としている。

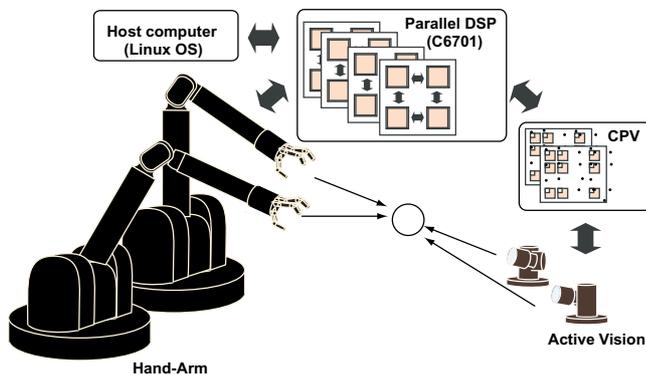


Fig.2 System configuration

4. 把握実験

システムの性能をテストするために、球を人間の手で自由に動かし、それに対して手先を追従させながら、周期的につかみ・離すというタスクを実現した。制御アルゴリズムとしては、球と手先の位置誤差に基づくPD制御を用いることにした²⁾。結果をFig.3に示す。0.0~0.1秒時にはハンドは対象に一定距離を保ちながら追従している。次に、約0.2秒時に把握動作を開始し、約0.4秒時に終了している。これより視覚フィードバックに基づき、高速な把握動作が実現されていることが示されている。

5. まとめ

本稿では、高速視覚を有するダイナミックマニピュレーションシステムについて紹介し、その設計指針とシステム構成について説明した。現在、視覚フィードバックを用いることで様々な動的な操りタスクを実現することを目指して研究を進めている。

Table 1 System specification

階層並列処理システム	プロセッサ プロセッサ数 浮動小数点計算	TMS320C6701 16個 16GFLOPS
高速アクティブビジョン	自由度 最大回転速度 最大回転トルク 画素数 階調	2自由度×2セット 525 rad/s 0.955Nm 128×128 8bit
高速アーム	自由度 最大手先速度 最大手先加速度 最大手先力 アーム長	4自由度×2セット 6 m/s 58 m/s ² 26N 0.9m
高速ハンド	指数・自由度 最大指先速度 最大指先力 指開閉時間(90度) 指長 指重量 総ハンド重量	3本指・3自由度 14.1m/s 2.72N 20ms 0.1m 200g(機構部 50g) 1000g

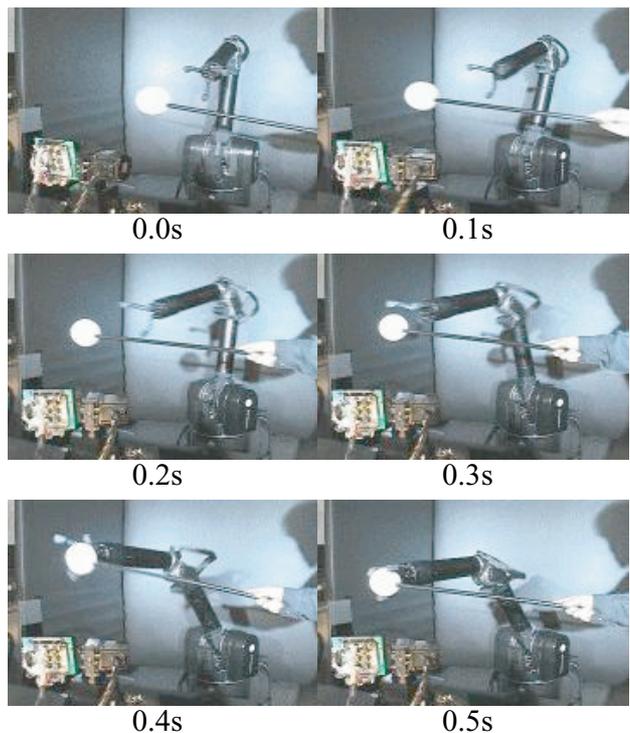


Fig.3 Experimental result: grasping

参考文献

- 1) A. Namiki, Y. Nakabo, I. Ishii, and M. Ishikawa. 1ms sensory-motor fusion system. *IEEE/ASME Trans. on Mechatronics*, Vol. 5, No. 3, pp. 244-252, 2000.
- 2) A. Namiki, Y. Nakabo, I. Ishii, and M. Ishikawa. High speed grasping using visual and force feedback. *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, 1999.
- 3) 尾川, 阪口, 並木, 石川. ダイナミクス整合に基づく感覚運動統合—ターゲットトラッキングにおける戦略的学習—. 電子情報通信学会技術研究報告 NC2000-109, pp.47-54, 2001.
- 4) 中坊, 並木, 石井, 石川. 2台の高速アクティブビジョンを用いた3次元トラッキング. ロボティクス・メカトロニクス講演会予稿集, 2A1-C1, 2001.