

実時間視覚フィードバックを用いた実環境作業支援システム

A Human Supporting System in Real Environment with Visual and Force Feedback

東京大学 山田 泉 ○並木 明夫 石井 抱 石川 正俊

The University of Tokyo Izumi YAMADA, Akio NAMIKI, Idaku ISHII, and Masatoshi ISHIKAWA

Abstract: Recently researches for a human-robot cooperation system are studied, in which by replacing some parts of human skillful techniques with robotic motion control a load of an operator is reduced and safety and certainty of his work is improved. However, in ordinal researches, because only inner sensory feedback such as force sensing is used, a supporting system can not be used in dynamics changes of an environment. To solve such a problem a supporting system is developed which has a haptic interface with a force-torque sensor and a high-speed vision. Experimental results of a drawing task are shown.

Key Words: : human supporting system, visual and force feedback, haptic interface

1. はじめに

近年、人間とロボットシステムを同じ作業環境に共存させ、人間の作業の一部をロボットシステムで代替するという、実環境作業支援システムの研究が行われている [1] [2]。このようなシステムでは、人間の持つ柔軟な作業計画能力に、ロボットの持つ精密でパワフルな作業遂行能力を合わせることで、人間が単体で作業を行うよりも優れた作業能力を実現できる。また、微細加工や外科手術などの、熟練を必要とする作業に応用することで、術者の作業負担を軽減することが期待される。

しかし、従来の作業支援システムでは、主に内界センサや力覚センサの情報を用いて作業支援を行っていたために、作業環境のモデルが不確実な場合や、作業環境が動的に変化する場合には対処できなかった。この問題を解決するためには、視覚などの外界センサフィードバックを備えた作業支援システムを開発する必要がある。

このような考えのもとに、我々は、実時間視覚フィードバックを備えた接触作業支援システムを構築した。このシステムでは、感覚提示が実時間での視覚フィードバックに基づいているために、環境の変化に対して高応答な支援制御を実現できる。本論文では、構築したシステムの概要と、その上で行われた実験の結果を説明し、構築した支援システムの有効性を示す。

2. 接触作業支援

一般に人間が行う作業において最も基本となる動作は、描く、切る、削るなどの動作に代表されるように、道具と対象との間の接触作業である。このような接触作業において、必要とされる支援要素としては、次の3つが挙げられる：

(1) 振動の補正

正確にタスクを実行するためには、人間の手の震えや操作対象微小振動を補正する必要がある。このためには、対象の運動をを計測するための実時間視覚フィードバックが必要となる。

(2) アクシデントによる衝突の防止

力の入れすぎによる衝突など、突発的なアクシデントを防ぐように安全機能を実現する必要がある。このためにも、実時間視覚フィードバックが必要となる。

(3) 接触力制御

接触後の巧みな技能を実現するためには、接触力の制御が必要となる。このためには、ツール先端における接触力を計測するための力覚センサが必要となる。

また、以上の要素に加えて、操作者の違和感の少ない作業支援を行うためには、人間の腕の応答性能と同程度の能力を持つ高速な感覚提示装置が必要となる。

3. 視覚フィードバックに基づく接触作業支援システム

前節の結果に基づき、接触作業のための実環境作業支援システムを構築した。装置の構成を Fig.1 に示す。

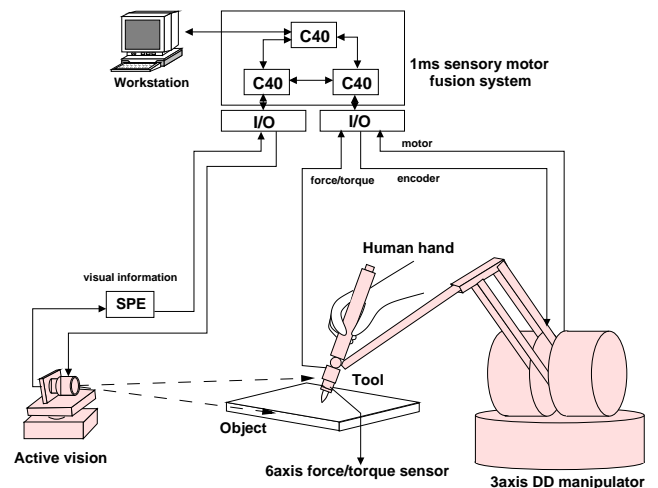


Fig.1 System architecture

感覚提示用のアクチュエータとしては、高速な応答性を実現するために、3軸ダイレクトドライブアームを用いた。このアームの先端部分に、人間が作業に用いる各種の道具を取り付けることで、作業と同時に提示力を与えることが可能となる。

一方、センサとしては、対象の位置と形状を計測するための高速視覚 SPE-256 と、作業ツールに加わる接触力を測定するための6軸力覚センサを装備した。SPE-256は、画像入力部と処理部が完全並列に接続されている高速視覚システムであり、初期視覚処理を [ms] 以内に行う能力を持つ、対象の重心、2次モーメント、大きさを計測するために用いられる。なお、現状のシステムでは単眼であるので、奥行き方向の座標は既知として計算している。

これらのセンサとアクチュエータの間には、並列処理用 DSP(TMS320C40) によって構成される並列処理系が置かれている。この処理系とセンサ系は、1ms 感覚運動統合システム [3] の一部であり、視覚センサフィードバックを 1[ms] のサイクルタイムで実現する能力を持つ。

4. 衝撃力軽減制御

作業支援の一例として、道具を物体に接触させる瞬間の衝撃力を軽減するために、次式で表されるような制御アルゴリズムを開

発した．

$$\tau = \begin{cases} 0 & \text{if } z > z_o \\ J^T(d\dot{z} + k(z - z_o))\mathbf{n} & \text{if } 0 < z \leq z_o \\ J^T(f_{zref} - f_z)\mathbf{n} & \text{if } z = 0 \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 $\tau \in \mathbf{R}^3$ はトルク指令値、 $J \in \mathbf{R}^{3 \times 3}$ は関節角ヤコビアン、 $z \in \mathbf{R}$ は接近距離、 $\mathbf{n} \in \mathbf{R}^3$ は対象表面上の法線ベクトル、 $f_z \in \mathbf{R}$ は Z 軸方向の接触力、 $f_{zref} \in \mathbf{R}$ はその目標値である．また、 d, k は粘性とバネ定数を表す定数である．

このアルゴリズムでは、まず、道具が対象表面から十分遠い場合 ($z > z_o$) には、力の提示は行わない．次に、道具が対象表面の近傍にある場合 ($0 < z \leq z_o$) には、接触の瞬間の衝撃力を軽減するために、接近距離 z と接近速度 \dot{z} に応じた仮想インピーダンスを提示する．最後に、道具が対象表面に接触した場合 ($z = 0$) には、力センサを用いた接触力制御に切り替える．

これらの支援制御は接触法線方向にのみ行われ、他の自由度は人間の自由な運動に割り当てられる．

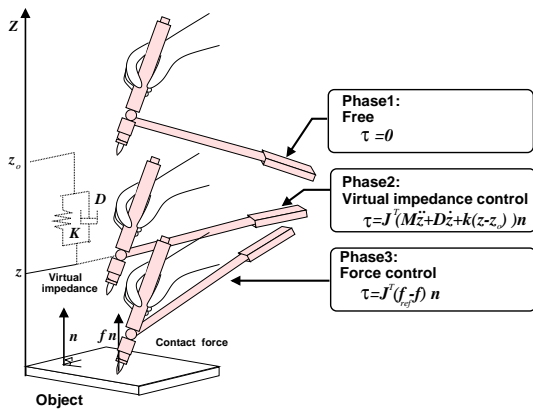


Fig. 2 Control algorithm for haptic display

5. 実 験

衝撃力軽減アルゴリズムを用いて作業支援実験を行った．ここでは、適当な位置姿勢に不安定な状態で置かれた対象に対して、 $z = 150[\text{mm}]$ の距離から人間の手で筆ペンを振り下ろして、線を描画するタスクを実行した．実験は、作業支援を行う場合と行わない場合の両方に対して実行し、両者の結果を比較することとした．

Fig. 3に、実験の結果を示す．作業支援を行わない場合 (左図) には、ペンを対象に接地した瞬間に大きな衝撃力が加わり、対象が動いてしまい、描画タスクに失敗している．一方、作業支援を行う場合 (右図) には、ペンは対象に柔らかく接地するために、対象の位置姿勢は不動であり、正確な描画が行われている．

Fig. 4に、各パラメータの時間応答の様子を示す．作業支援を行わない場合 (左図) には、接近距離が小さくなるに従って接近速度が増大し、その結果、接触の瞬間の接触力が大きなものとなっている．一方、作業支援を行なった場合 (右図)、接近距離が小さくなるにつれて、仮想インピーダンス制御の効果により接近速度が減衰し、その結果、接触の瞬間の接触力が小さく抑えられ、手を近づけてから、描画を行うまでの過程が滑らかに行われていることがわかる．

6. ま と め

本研究では、視覚フィードバックを用いた実環境作業支援システムを構築した．また、システム上に衝撃力軽減アルゴリズムを実装することで、作業支援の有効性を確かめた．

今後の課題としては、衝撃力の軽減以外の様々な支援効果に対応したアルゴリズムの開発と、医療やデザインなどの、具体的な

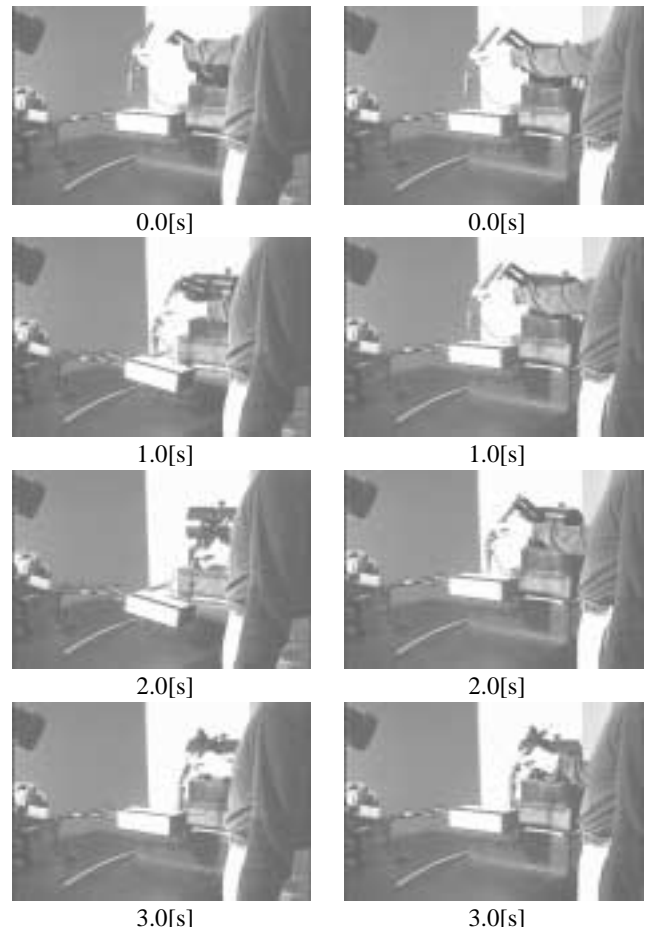


Fig. 3 Experimental result: motion with supporting control (left), motion without supporting control (right)

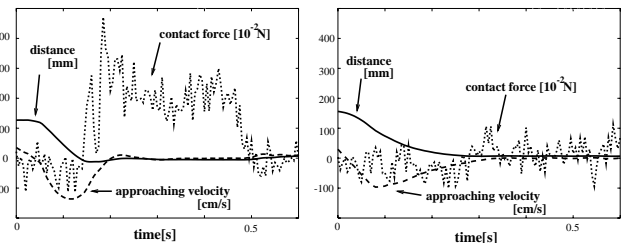


Fig. 4 Time response: motion with supporting control (left), motion without supporting control (right)

アプリケーションへの応用がある．また、現在開発中の小型ペン型デバイスと合わせてシステム構築も今後の課題である [4] ．

参 考 文 献

- [1] 小宮 一弘, 風村 典秀: 人と協調するロボットの運動生成, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'97 講演論文集, pp. 599-600, 1997.
- [2] 白須 潤一, 並木 明夫, 石井 抱, 石川 正俊: 描画機能を有する実環境作業支援システム, 第16回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 771-772, 1998.
- [3] 並木 明夫, 中坊 嘉宏, 石井 抱, 石川 正俊: 1ms 感覚運動統合システムにおける高速並列分散処理, ロボティクス・メカトロニクス'99 講演論文集, 2P2-49-058, 1999.
- [4] 並木 明夫, 石井 抱, 石川 正俊: 視覚フィードバックを用いた小型作業支援ツールの開発, ロボティクス・メカトロニクス'00 講演論文集, 2P2-76-101, 2000.