

宇宙遠隔操作オペレータ支援グラフィックシミュレータ

Operator Supporting Graphic Simulator for Space Teleoperation

○御所園敏彦, 妻木勇一, 内山勝

○Toshihiko Goshozono, Yuichi Tsumaki, Masaru Uchiyama

東北大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Tohoku University

キーワード: 宇宙遠隔操作 (space teleoperation), 予測表示 (predictive display),
グラフィカルユーザインターフェース (graphical user interface),
オペレータ支援システム (operator support system)

連絡先: 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 01 東北大学大学院工学研究科航空宇宙工学専攻
宇宙機システム学講座

御所園敏彦, Tel.: (022)217-6973, Fax: (022)217-6971, E-mail: gosh@space.mech.tohoku.ac.jp

1. はじめに

現在, 日本, アメリカ, ヨーロッパ, カナダ及びロシアの国際協力のもとに国際宇宙ステーションの建設計画が進行中であり, 宇宙開発がますます盛んに行われるようになってきている。

しかし, 宇宙空間のような厳しい環境下において大型構造物を建設する場合, 莫大な費用と危険が伴う。そこで, 人命の危険回避, コストの削減などといった問題を解決するため, 宇宙用ロボットの開発が必要となる。このような宇宙用ロボットは, 完全自律化されることが望ましいが, 現在の技術ではその実現は難しい。そこで, 現実的であるのが遠隔操作によるロボットの活用である。とくに, 有人打ち上げ技術を持っていない日本にとって, 宇宙遠隔操作技術は早急に開発しなくてはならない技術のひとつである。

しかし, 宇宙遠隔操作では, 地上系と軌道上系の間为数秒単位の通信時間遅れが存在するため, オペレータの操作性は著しく劣化し, 作業効率も低下する。そこで, 効果的なオペレータ支援を行い, オペレータの負担を軽減させることが必要となる。

これまで, 視覚情報の時間遅れの影響に対しては, 予測表示が有効であることが報告されている^{1),2),3)}。一方, 力情報への時間遅れの影響に対する方法としては, モデルに基づいた遠隔操作システムが提案されている^{4),5),6)}。

筆者らの研究室では, 宇宙遠隔操作実験システムを用いて, モデル誤差にロバストなモデルに基づいた遠隔操作システムを提案してきた⁷⁾。しかし, これまで構築してきたグラフィックシステムは, MS-DOS 上に構築していたため, 解像度が低いなど, グラフィックス描画能力に大きな制限が

あった。このため、仮想環境等はワイヤフレームモデルしか使えず、臨場感に欠けていた。また、直交3自由度の力提示デバイスを用いていたため、姿勢情報を提示することができず、力情報に関しても高度な臨場感を得ることは困難であった。

本論文では、3Dグラフィックス作成ツールキット Open Inventor を用いて仮想環境を構築し、新たに製作した小型6自由度ハプティックインターフェースと組み合わせ、より高度な臨場感を提示可能なオペレータ支援システムを構築したのでこれを報告する。さらに、本実験システムの基本性能を検証するため、ドイツ航空宇宙研究所(DLR)と基礎的な通信実験を行ったので、これについても述べる。

2. 遠隔操作実験システム ARS/A

2.1 システム構成

遠隔操作実験システム ARS/A (Aerospace Robot System for A-ARM) は、A-ARM (Aoba-ARM) と呼ばれる6軸多関節型産業用ロボットを中心とする軌道上系(スレーブ側)および6自由度小型ハプティックインターフェースを中心とする地上系(マスタ側)により構成される。地上系と軌道上系のコンピュータ間はメモリンクによって接続されており、非同期で通信することが可能である。遠隔操作実験システム ARS/A の全景を図1に示す。また、ARS/A のハードウェア構成を図2に示す。以下に、軌道上系および地上系の概要を示す。

- 軌道上系

軌道上系は、6軸多関節型ロボット A-ARM、制御用コンピュータ、手首部に装着された6軸力覚センサ、ハンド、ビデオカメラなどから構成される。

- 地上系

地上系は、6自由度小型ハプティックインター

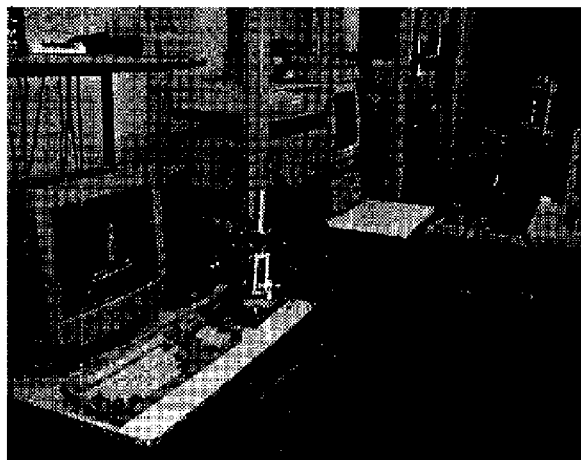


図1 ARS/A の全景

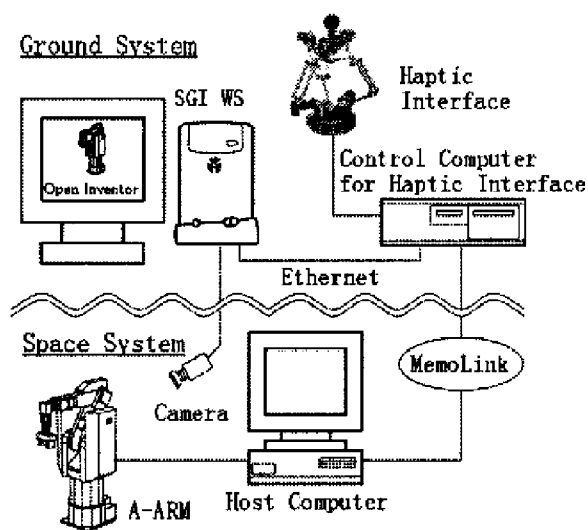


図2 ARS/A のハードウェア構成

フェース、制御用コンピュータ、グラフィックス用ワークステーションなどから構成されている。

2.2 A-ARM

A-ARM は日立製作所(株)製6軸多関節型産業用ロボット A6030 である。A-ARM の外観を図3に示す。A-ARM の手首部には、エンドエフェクタ等にかかる外力を検出するための6軸力覚センサ、およびハンドなどを取り付けることができる。また、可搬重量は3 [kg] である。

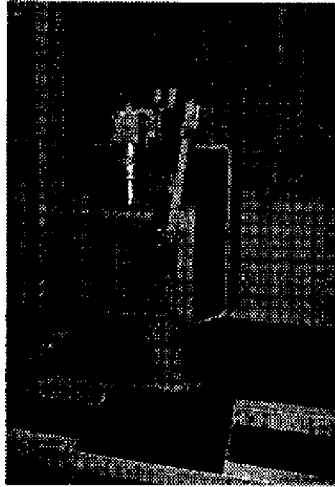


図3 A-ARMの外観

2.3 ハプティックインターフェース

ハプティックインターフェースは、並進3自由度平行機構である改良型デルタ機構と回転2自由度平行機構を組み合わせたハイブリッド型の平行機構を採用している。回転2自由度平行機構には5リンク平行ジンバル機構が用いられている。このような機構にすることで、小型ながらも広い作業領域を実現している。ハプティックインターフェースの概観を図4に示す。

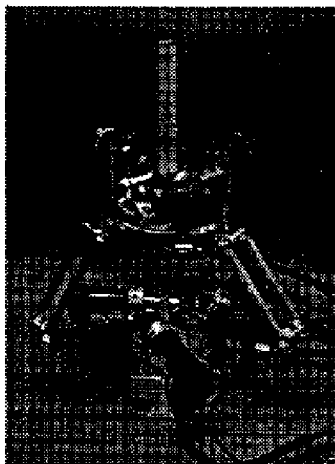


図4 ハプティックインターフェースの外観

3. オペレータ支援グラフィックシミュレータ

宇宙遠隔操作では、数秒の時間遅れがあるため、軌道上系にあるスレーブアームをカメラの映像だけを見ながら遠隔操作するのは非常に難しい。そこで、時間遅れの影響を軽減するため、3Dグラフィックスにより仮想環境を構築し、予測表示を行うシステムを構築した。

現在、グラフィックシステムはSGI (Silicon Graphics Inc.) 社製のワークステーション O2 上に構築されている。また、プログラム開発環境には、オブジェクト指向の3Dグラフィックス作成ツールキットである Open Inventor を用いた。Open Inventor は立方体、ポリゴン、テキスト、カメラ、光源といった豊富なオブジェクトを備えており、インタラクティブな3Dアプリケーション開発にかかる時間を大幅に短縮することができる。

Open Inventor によって作成した A-ARM のモデルを図5に示す。

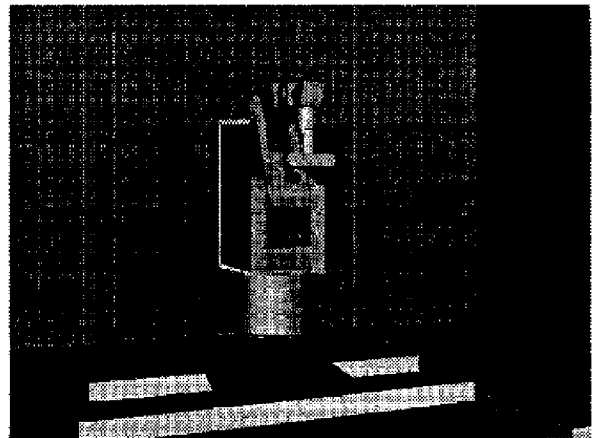


図5 A-ARM モデル

予測表示を行う場合気をつけなければならないことは、データの受渡しである。通常、グラフィックスの処理速度は、マニピュレータのサーボサンプリング周期に比べ遅い。したがって、グラフィックスの処理速度にあったデータの受渡しを行わなくてはならない。このため、現在、グラフィック

スのデータサンプリング周期を、グラフィックスの処理時間に比べ十分大きく取っている。しかし、通信周期が長くなるため、将来的には、非同期のシェアドメモリ方式を採用する予定である。

4. DLR との通信実験

1998年の秋に、ドイツのDLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt: ドイツ航空宇宙研究所) とこれまで構築してきたシステムの有効性を検証するため、インターネットを用いた遠隔操作実験を行う予定である。

そこで、本実験に備え、1998年3月に基礎的な通信実験をDLR-東北大学間で行ったので、これを示す。

4.1 DLR との通信

DLR側のオペレータとの連絡用としてインターネットによるビデオ会議システムを用いた。ビデオ会議システムは3種類ほど用意したが、最も適していたのが、vic (Video Conferencing tool), vat (Visual Audio Tool) というビデオ会議ツールおよびオーディオ会議ツールであった。実際に通信を行っている様子を図6に示す。長距離であるため、ビデオの映像や音声に多少の乱れはあったが、コミュニケーションをとるには十分な明瞭さであった。情報量の多い画像よりも音声の方が時間に依存するため、ネットワークの影響を受けやすいようであった。また、音声の状態が悪い場合は、talkによるコミュニケーションが効果的であった。

4.2 通信実験

今回は、基礎実験として、東北大学からハプティックインターフェースを用いて、DLRのWS上のA-ARMモデルを操作するという実験を行った。図7に示すように、ハプティックインターフェースの制御用コンピュータからEthernetを介して双

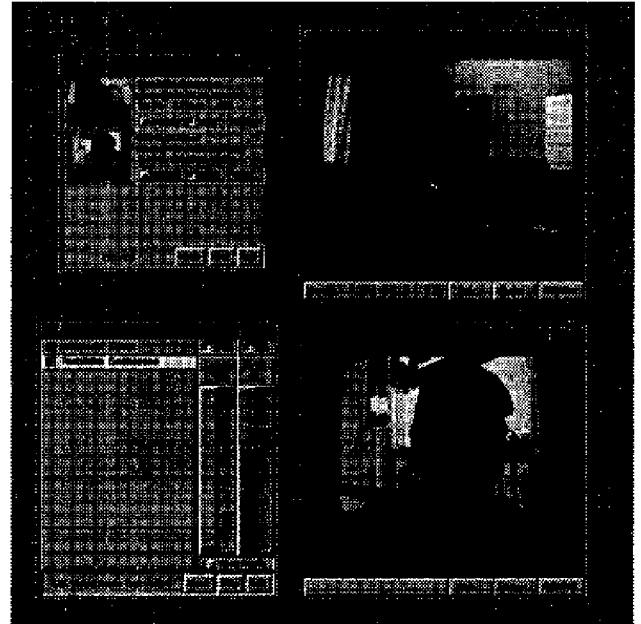


図6 vic および vat による通信の様子

方のグラフィックス用WSへ指令値を送り、グラフィックスモデルを操作した。

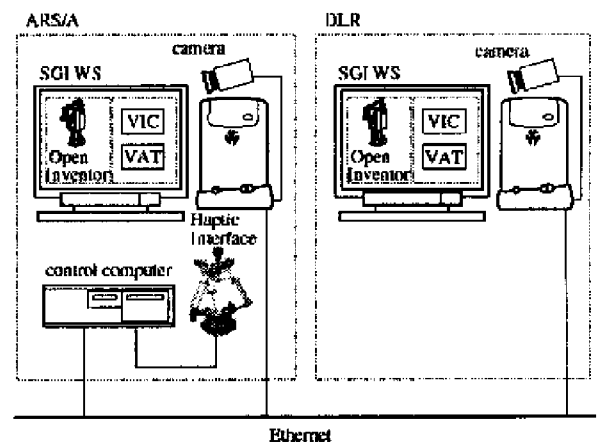


図7 実験システム

本実験では、ドイツと日本という非常に遠距離での通信であったため、ネットワークの状態はあまり良くなかった。このため、ハプティックインターフェースの制御用コンピュータとDLR側のSGIワークステーション間の通信は、予想どおり円滑に行われなかったが、DLRのグラフィックモデルを遠隔操作することは可能であった。この際約1秒程度の時間遅れが存在した。pingコマンドでネットワークの状態を調べると、64バイトの

データを送信し、そのデータが返ってくるまで約 400 [ms] かかっていた。また、パケットロス率は 30% 近くあった。

このように、インターネットの環境は、宇宙遠隔操作の環境に似ており、検証実験を行うには適していることがわかった。

5. おわりに

本研究では、遠隔操作において重要な役割を持つオペレータ支援グラフィックシミュレータを SGI のワークステーション上に新たに構築した。また、6 自由度のハプティックインターフェースと組合せ、DLR-東北大学間で基礎的な遠隔操作実験を行った。

今後の課題としては以下のようなことが挙げられる。

- インターネット上における効率的な通信方法の確立。
- リアリティのある仮想環境の構築。
- 3次元物理モデルの構築。
- 障害物情報等の効果的な情報提示システムの構築。

参考文献

- 1) 橋本, T. B. Sheridan, M. V. Noyes: 時間遅れを有するテレオペレーションにおける予告情報の効果, 人間工学, vol. 22, no. 2, pp. 91-92, 1986.
- 2) A. K. Bejczy, W. S. Kim and S. C. Venema: The Phantom Robot: Predictive Displays for Teleoperation with Time Delay, Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 546-551, 1990.

- 3) 妻木, 内山: 力制御型遠隔宇宙ロボット操作システムにおける仮想ビームを用いた予測表示の効果, 機械学会論文集 C 編, vol. 62, no. 601, pp. 3603-3608, 1996.
- 4) 館, 榊: インピーダンス制御型マスタ・スレーブ・システム (I), 日本ロボット学会誌, vol. 8, no. 3, pp. 241-252, 1990.
- 5) 神徳, 谷江, 横井, 藤川: 仮想環境におけるバイラテラルマスタ・スレーブテレオペレーションに関する基礎実験, 計測自動制御学会論文集, vol. 28, no. 6, pp. 750-759, 1992.
- 6) 中里, 妻木, 内山, リー: 地上モデルからの力フィードバックを用いた宇宙テレロボティクス実験, 第 10 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 489-492, 1992.
- 7) 妻木, 星, 成瀬, 内山: 幾何学的モデル誤差にロバストなモデルに基づいた宇宙遠隔操作システム, 日本ロボット学会誌, vol. 15, no. 7, pp. 1025-1033, 1997.