

ツインドライブシステムを用いたパラレルマニピュレータにおける触覚伝送

80121575 影山 貴史

指導教員 大西 公平

1 序論

現在、手術ロボットを含む遠隔操作ロボットにおいて、操作者が遠隔地の“モノ”に触れた感触を正確に感じ取ることができる技術は確立されていない。しかしモノをつかんで持ち上げる作業を例に取っても、モノを扱う作業における触覚の重要性は明らかである。本研究では、インピーダンスモデル追従型の触覚伝送システムにおいてロバストな加速度制御系を構成してその技術の向上を図る。

また力制御において必要となる力情報は従来力センサを用いて得られてきた。これに対し、反力推定オブザーバを用いて力センサレスで力情報を推定する方法がある。正確な反力推定を実現するために、ロボットの各関節にツインドライブシステム [2] を採用する。ツインドライブシステムを用いたパラレルマニピュレータにより正確な反力推定を行い、この力情報を利用した触覚伝送システムを開発する。

2 触覚伝送装置

本研究で用いるパラレルマニピュレータは、3つの3自由度シリアルアームの組み合わせにより構成されている。その各関節には非線形摩擦を無くす効果を持つツインドライブシステムを採用している。3つのアームの組み合わせという特徴を活かし、パラレルマニピュレータの運動学はアームの運動学の組み合わせにより求めることとする [1]。

このパラレルマニピュレータ2台を用い、1台を操作者が操作するマスタロボット、もう1台を環境と実際に触れるスレーブロボットとし、触覚伝送システムを構成する (図 1)。



図 1: Picture of remote sensation system.

3 コントローラ

3.1 インピーダンスモデル追従型バイラテラル制御

触覚伝送システムとして、インピーダンスモデル追従型のバイラテラルシステムを採用する。

参照モデルとして、あるインピーダンスモデルを考える。参照モデルはマスタ、スレーブの両ロボットに加えられる力の合力 F_{ext} に応じた応答を示す。

慣性 M_c 、粘性 D_c 、剛性 K_c の力学的インピーダンスを持つ参照モデルを考える。参照モデルは外力 F_{ext} により次の方程式を満たす振る舞いをする。

$$F_{ext} = M_c \ddot{p}_c + D_c \dot{p}_c + K_c (p_c - p_0) \quad (1)$$

ただし p_0 は基準位置を表す。マスタ、スレーブ両ロボットにおいてこのモデル応答を参照値とする制御系を構成し、触覚伝送を実現する。このとき、作業空間における外乱オブザーバを適用することによりロバストな加速度制御系を構成する。

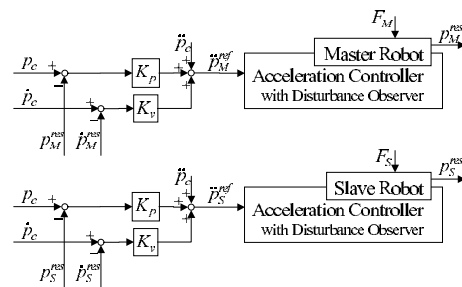


図 2: Block diagram of the bilateral system.

3.2 反力推定オブザーバ

反力推定オブザーバを構成するには、予めその関節にかかる外乱を同定しておく必要がある。外乱オブザーバを用いる方法で関節毎に同定試験を行い、それらを組み合わせる方法で6軸(並進3,回転3)の反力推定オブザーバを実現する。反力推定オブザーバのブロック線図を図3に示す。

各関節において推定された力を $\hat{\tau}_a (\in \mathbf{R}^3)$ (添字 a はアームを意味する。 $a=A, B, C$) とすると、各アームにおいて、関節変位とベース座標系におけるアーム先端位置変位を関係付ける行列を $J_a (\in \mathbf{R}^{3 \times 3})$ として、アーム先端空間

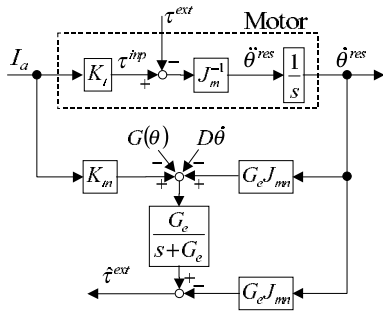


図 3: Block diagram of reaction torque observer.

における推定力ベクトル $\hat{F}_x (\in R^9)$ は次式のようになる .

$$\hat{F}_x = \begin{bmatrix} J_A^{-T} \hat{\tau}_A \\ J_B^{-T} \hat{\tau}_B \\ J_C^{-T} \hat{\tau}_C \end{bmatrix} \quad (2)$$

作業空間位置変位 $\Delta P (\in R^6)$ とアーム先端位置空間の変位 $\Delta X (\in R^9)$ とを関係付ける行列を $J_0 (\in R^{9 \times 6})$ とすると ($\Delta X = J_0 \Delta P$) , 作業空間における推定力 $\hat{F} (\in R^6)$ は次式により計算できる .

$$\hat{F} = J_0^T \hat{F}_x \quad (3)$$

4 実験

4.1 反力推定オブザーバ

反力推定オブザーバにより推定した力情報を力センサ出力と比較した結果を図 4 に示す . 高精度で反力推定が実現されていることがわかる .

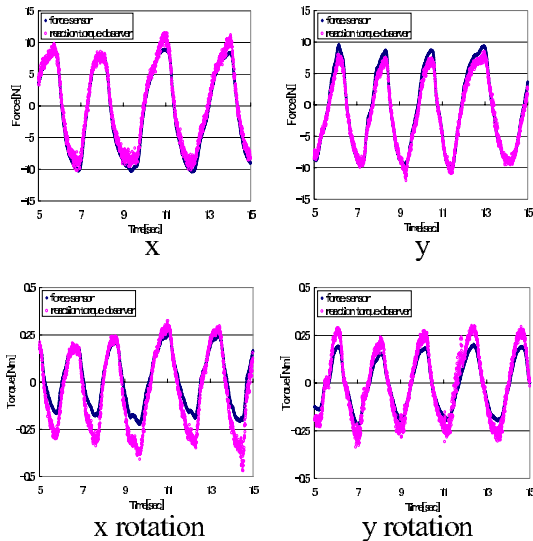


図 4: Evaluation of estimated force.

4.2 触覚伝送

ツインドライブシステムを用いたパラレルマニピュレータ 2 台を用いて触覚伝送の実験を行った .

反力推定オブザーバにより推定した力情報を用いた触覚伝送システムにおける触覚伝送の実験結果を図 5 に示す . インピーダンスモデル追従型をロバストな加速度制御系で構成した触覚伝送システムを採用している . 上段がマスタ , スレーブロボット手先の位置応答 (z 成分) , 下段が力応答 (z 成分) を示しており , 網かけの部分はスレーブロボットが環境と接触している期間を表している . 図 5 より , マスタとスレーブにおいて位置応答と力応答がよく一致しており , 高精度な触覚伝送が実現されたことがわかる .

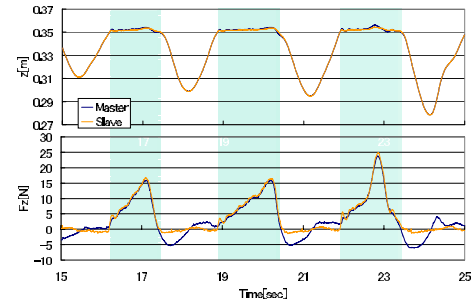


図 5: Reaction of remote sensation system.

5 結論

- ツインドライブシステムを用いたパラレルマニピュレータにおいて高精度な 6 軸の反力推定オブザーバを実現した .
- インピーダンスモデル追従型の触覚伝送システムに作業空間における外乱オブザーバを適用し加速度制御系を構成した . この制御系により高精度な触覚伝送を実現した .

参考文献

- [1] Takashi Kageyama, Kouhei Ohnishi. “An Architecture of Decentralized Control for Multi-Degrees of Freedom Parallel Manipulator” 7th International Workshop on Advanced Motion Control(AMC2002-Maribor, Slovenia), pp.74-79, 2002.
- [2] 林田宣弘. “ツインドライブシステムを用いたバイラテラルロボットの実現と仮想モータ制御” 平成 12 年度修士論文, 慶応義塾大学