PAS における遠隔操作時の力覚提示と操作性向上に関する研究

Development of Force Feedback Device for Improvement of Operation Interface of the PAS

○学 濱田 隆裕 (芝浦工大) 正 水川 真 (芝浦工大) 正 安藤 吉伸 (芝浦工大)

Takahiro HAMADA, Shibaura Institute of Technology
Makoto MIZUKAWA, Shibaura Institute of Technology
Yoshinobu ANDO, Shibaura Institute of Technology

Abstract: I propose new haptic device for the Operation improvement of PAS(Physical Agent System). This device is a force and torque hybrid interface with 6 DOF force feedback. Force and torque are generated by the sense of forward movement out of reciprocated vibration of micro-displacement through adroit utilization of human sensory characteristics or the sense of rotational force by adjusting rotation velocities and position of four eccentrically weighted rotors. I verified whether the power and the torque of the device were generated by the simulation. As a result, the wave of the simple harmonic motion was able to be confirmed.

Key Words: Haptic interface, Teleoperation, PAS(Physical Agent System)

1. はじめに

ネットワークを介してロボットを遠隔操作しようとする試みはテレオペレーションや、操作者自身の身体として動かす「レイグジスタンス」としてRTやVRなどの分野で盛んに研究が行われている。

遠隔操作ロボットはカメラおよび各種センサによる取得情報を映像や音により操作者に提示する方法が一般に採用されている。しかし提示される情報はモニタ内の映像に限られるなど限定的であり、操作者が自身の感覚に仮想的に照らし合わせる事となる。操作者は常に対象物や空間情報、ロボット姿勢などを把握しなければならず、認識を誤った場合操作ミスを起こす可能性がある。ロボットの状況や遠隔地の空間情報を効果的に操作者に示すため、映像、音声など間接的な情報に加え、直接的な情報の提示により、柔軟にロボットを遠隔操作できるシステムの構築が求められている。

2. PAS 概要

本研究では、遠隔操作された半自律移動ロボットを用いて、遠隔地との協調作業を支援するロボットシステムとして物理エージェントシステム(PAS:Physical Agent System)^[1]を提案している。PASは自律移動系、電源系、画像処理系、入力インタフェース系など複数の開発系がハードウェア、ソフトウェア、ネットワークを基盤に統合し形成されている。PASにおいてロボットは操作者に代わり遠隔地の空間情報の取得と動作を代行するエージェントとして機能する。PASの概念を図1に示す。

本研究はロボットの遠隔操作のための入力インタフェース系に属する。

3. 研究目的

本研究では、操作性と空間情報の共有化を満たす操作システムの構築を目的とする。この要求を満たす新たな力覚提示機能を持つ操作デバイスを提案し、PASにおいてその有効性を実証していくこととする。

Fig.1 System model of PAS

4. 操作デバイスの必要条件

ロボット操作に対し、操作デバイスのハードウェアに求める条件を以下に示す。

- (1)X, Y, ZおよびPitch, Roll, Yawの3次元情報の入力
- (2)多用途スイッチによる操作の入力
- (3)使用者の身体への非拘束
- (4)小型軽量

また、操作者への力覚提示法に求める条件を以下の3点に定める。

- (1)X, Y, Zの並進力の再現
- (2)Pitch, Roll, Yawの回転力の再現
- (3)把持動作などの指の反力の再現

上記条件より、操作デバイスは非設地非拘束で小型軽量な3Dハプティックインタフェースとする。

5. 力覚提示機構の実験機の作製と検証

5.1. 偏心回転子による力抽出手法

偏心回転子による力抽出手法とは産業技術総合研究所が開発した2つの偏心回転子を同軸上に配置し、位相と回転方向、回転速度を制御することで並進、回転、振動の3種の力覚を再現する手法^{[3][4]}である。回転子の関係図を図3に示す。この手法では2次元平面での並進および回転の3自由度しか提示できない。そこで本研究では3次元空間における6自由度を再現するため、新たに小型の力覚提示機構として4つの偏心回転子を用いた合成角速度による力抽出機構を提案する。

5.2. 力覚提示の力学検証

力覚提示機構の力学モデルを図4に示す。回転子の重心をそれぞれ P_1, P_2, P_3, P_4 として質量 m がかかっている。回転軸から重心までの距離を r 、座標系の中心を点 O 、点 O から回転中心までの距離を L とする。

並進力は、各回転子の動きを単純な円運動とみなし、そのときの遠心力から振動の発生について検証することとする。このときXYZ方向の遠心力の合成は次の通りである。

$$F_x = mr(\cos\theta_1\omega_1^2 + \cos\theta_2\omega_2^2 + \cos\theta_3\omega_3^2 + \cos\theta_4\omega_4^2) \quad (1)$$

$$F_y = mr(\sin\theta_1\omega_1^2 + \sin\theta_2\omega_2^2) \quad (2)$$

$$F_z = mr(\sin\theta_3\omega_3^2 + \sin\theta_4\omega_4^2) \quad (3)$$

また、X軸を回転軸とした点 O にかかる回転モーメントを検証するため、時計回りを正として、次式を用いた。

$$M_x = mrL(\sin\theta_1\omega_1^2 - \sin\theta_2\omega_2^2 + \sin\theta_3\omega_3^2 - \sin\theta_4\omega_4^2) \quad (4)$$

なお、この時回転子の動きは並進時と同様なので、X軸方向の並進力は式(1)を用いればよい。

5.3. シミュレーション結果

MATLAB, Simulink を用いたシミュレーションモデルを構築し、力覚提示機構の力学検証を行った。5.1の各式よりXYZ各方向に対して並進力を生み出すための単振動の生成が可能であることを確認した。また、2種類の振動を組み合わせることによって3次元的に振動を発生させられると考えられる。

また、X軸を回転軸とした回転モーメントについて検証を行った。回転子の位相を180[deg] ずらした状況で回転子を並進時同様それぞれ逆回転させる。このとき、 P_1, P_2 および P_3, P_4 の2つの回転子の組が生み出す並進方向の力が逆方向に働くことで打ち消され、図5に示すように点 O を中心とした回転モーメントの単振動モデルが生成された。この結果より並進力の抽出と回転力を抽出することが可能ではないかと考えられる。

このシミュレーション結果から、XYZ方向の並進とPitch, Roll, Yawの6自由度について任意の方向に単振動のモデルを生成できることが確認された。

5.4. 力覚提示機構の実機検証

シミュレーション結果は計算上の数値であり、人間の知覚との比較のためには実験機を作成しての実機検証が不可欠である。この実験機のシステム構成を図6に示す。PCより並進、回転の動作命令、力の大きさと向きをマイコンに送信する。制御用マイコンはH8Sを使用することとし、DCモータを駆動させ4つの偏心回転子を回転させる。ロータリエンコーダ

Fig.3 Motion model of twin rotor

Fig.4 Dynamics model of Rotation

Fig.5 Model of rotation moment and simulation result

Fig.6 System model of experimental machine

からデータを取得し、速度制御および位置情報をフィードバックする。同時にH8SよりPCへ出力し、角度および角速度を記録する。また実際の運用に近づけるため、姿勢センサと組み合わせ検証できるものとする。

6. おわりに

本報告ではPASにおける操作者への情報提示と操作性向上について、提案している操作デバイスにおける力覚提示機構の6自由度の力発生メカニズムについてシミュレーションを用いての検証を行った。今後は実験機を作製し実際の効果について検証を行うものとする。

文 献

- [1]水川真, 松原安彦, 安藤吉伸, 平岩明, 町野保: 物理エージェント(PAS)を用いた、遠隔地人間協調系の基本検討, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門学術講演会講演論文集(2000), pp125-126
- [2]水川真, 磯部真吾: Sensory Gloveにおける感覚フィードバックシステムに関する研究, 芝浦工業大学工学部電気工学科卒業研究論文, 2003
- [3]産総研 TODAY Vol.5 No.9 HP
http://www.aist.go.jp/aist_j/aistinfo/aist_today/vol05_09/p22.html
- [4]中村則雄, 福井幸男: 非設地型力・トルク提示インターフェイスの開発, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌第11巻第1号, pp87-90