

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05893

研究課題名(和文) 作業意図を考慮したパワー増幅型マスタ・スレーブシステムのスケーリング則

研究課題名(英文) Scaling Law for Master Slave System

研究代表者

毛利 哲也(MOURI, Tetsuya)

岐阜大学・工学部・准教授

研究者番号：40418728

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：宇宙空間や原子炉等、人間の立ち入りが困難な極限環境では、人間型ハンドロボットによる巧緻な作業の実現が期待されている。しかし、高度な判断を必要とする作業は自律的に人間型ハンドロボットを制御するよりも人間が遠隔地からロボットを操作することが実際的で有用と考える。本研究では物体との把持・操作を伴う作業のための遠隔操作システムの制御方法を研究した。本研究の成果は、極限環境でのロボット遠隔操作だけでなく、ヒューマノイドロボットへの作業教示、医療分野での遠隔触診など、幅広い応用へ展開できる。

研究成果の概要(英文)：In many fields, a humanoid robot is required instead of human. The humanoid robot has multi-degree of freedom. It is not easy to control the humanoid robot by autonomous control system. One of solutions of this problem is teleoperation such as tele-operation system. This research has developed a control method for tele-operation system such as grasping and manipulation objects. The system is able to be applied not only in dangerous environments but also in service environments, telemedicine, and biomanipulation.

研究分野：ロボット

キーワード：遠隔操作 ロボットハンド

1. 研究開始当初の背景

人間の手を模擬した人間型ハンドロボットは、器用に様々な物体を操作できるロボットとして期待が大きい。しかし、ロボットは人間の手の器用さと同程度に自律制御可能な段階には至っていない。また、これまでのハンドロボットは指先力が人間よりも弱く、人間が通常行う作業を全て実行することが困難である。人間の特性以上のハンドロボットによる遠隔操作をできれば、これまで人間にも実現できなかった作業を遠隔地からロボットを操作することで実現できる。しかし、人間と力や寸法が異なるハンドロボットを操作するには、人間の手指の動きの追従性と指先力の制御を両立する必要がある。従来、ハンドロボットの力学特性は人間よりも低く、力や位置の差異を考慮する必要がなかった。しかし、人間の能力を超越したパワー増幅型ハンドロボットをその特性を活かして操作するためには、位置・力情報等のスケールが不可欠になる。従来、異なるスケールのロボットを用いて物体を移動するには、位置と、力をスケールする。他方、ネジ回し、ドアノブの回転、バルブの開閉等のような回転を伴う作業では、姿勢は維持し、モーメントはスケールし、姿勢は維持する。このため、硬さや重量は現実世界と同様に感じられるが、慣性モーメントはスケールを縮小した場合に無視でき、拡大した場合に非常に大きく感じられる。このようにパワー増幅型のマスタ・スレーブシステムでは、物体の把持・操作において位置・力だけでなく姿勢・モーメントを考慮する必要がある。

2. 研究の目的

宇宙空間や原子炉等、人間の立ち入りが困難な極限環境では、人間型ハンドロボットによる巧緻な作業の実現が期待されている。しかし、高度な判断を必要とする作業は自律的に人間型ハンドロボットを制御するよりもマスタ・スレーブによる制御が实际的で有用と考える。しかし、重量物が把持可能な人間型ハンドロボットのマスタ・スレーブの研究開発例はない。そこで、本研究では物体との把持・操作を伴う作業で必要不可欠な力・モーメントを考慮したパワー増幅型マスタ・スレーブシステムのスケール則を研究する。本研究の成果は、原子力・海底・宇宙等の極限環境でのロボット遠隔操作、ヒューマノイドロボットへの作業教示、医療分野での遠隔触診など、幅広い応用へ展開できる。

3. 研究の方法

多指ハプティックインターフェイスを用いた人間型ハンドロボットのパワー増幅型マスタ・スレーブシステムを実現するため、モーメントや作業を考慮した物体の把持・操作を実現するスケール則を確立する。このため、多指ハプティックインターフェイスと人間よりも高出力なハンドロボットを配

置したパワー増幅型マスタ・スレーブシステムを構築する。従来のスケール則の問題点や操作者の知覚へ及ぼす影響を評価する。物体の把持・操作に不可欠な力・モーメントを考慮したスケール則を提案し、実機による有効性を検証する。作業意図解析に基づき、作業に応じてスケール則を切り替える手法を確立してマスタ・スレーブシステムの安定性と操作感の向上を図る。通信遅延が顕著な海外との遠隔操作実験を行い、提案手法の有効性と問題点を明確にする。

4. 研究成果

上述を目標として得られた研究結果を次に述べる。

スレーブ側のハンドロボットの動作を模擬したCGシミュレーションシステムを図1のように構築した。本システムは、多指ハプティックインターフェイスの指先力を入力としてシミュレーション上のハンドロボットを操作できる。仮想物体との接触力を計算可能である。ドアノブの回転動作を模擬したシミュレーション上で力とモーメントを考慮したスケール則について有用性を確認した。

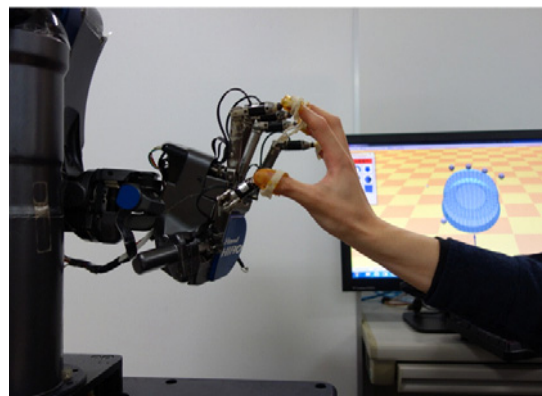


図1 CGシミュレーション

実験用に人間型ハンドロボットとハプティックインターフェイスによりマスタ・スレーブシステムを構築した。マスタ側に対向型多指ハプティックインターフェイス HIRO III を用いる。HIRO III は 21 関節 21 自由度のハンド・アームから構成される。スレーブ側には図2の高出力な人間型ロボットハンドを配置してパワー増幅型のマスタ・スレーブシステムを構成した。マスタからスレーブへ5指15成分の指先位置、スレーブからマスタへ5指15成分の指先力をLANを介して送信する。この人間型ロボットハンドは分布型触覚センサによる圧力中心位置、接触力の計測システムも構築した。物体の把持力、接触点の滑りを検出できる。また、触覚センサ情報による指先や指腹部の力制御も実現した。図3に実験結果を示す。また、対向型多指ハプティックインターフェイス HIRO II も指先端を半球状に取り換えて図4のように実験に利用した。

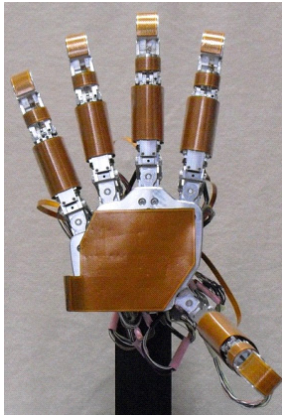


図2 人間型ロボットハンド

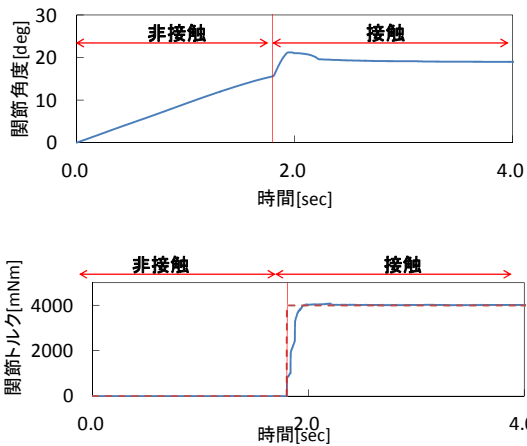


図3 ロボットハンドの力制御

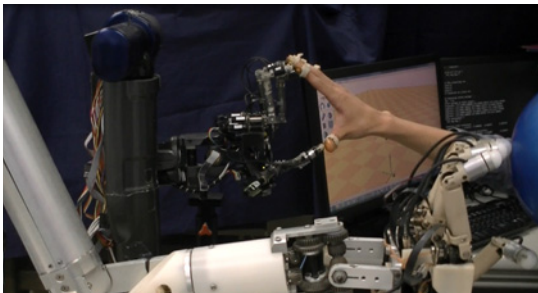


図4 マスタ・スレーブシステム

マスタとスレーブ間において通信回線の遅延によりシステムが不安定となるため、ウェーブフィルタを用いてシステムの安定化を図る手法を提案した。そのシステムを構成を図5に示す。マスタとスレーブ間で送受信するデータは、

$$u_m = \frac{b \Delta p_m + f_m}{\sqrt{2b}}$$

$$v_s = \frac{-b \Delta p_r + f_s}{\sqrt{2b}}$$

である。ただし、 Δp は1サンプリング前の指先位置との偏差、 f は指先力、添字 m はマスタ、 s はスレーブ、 r は目標値とした。

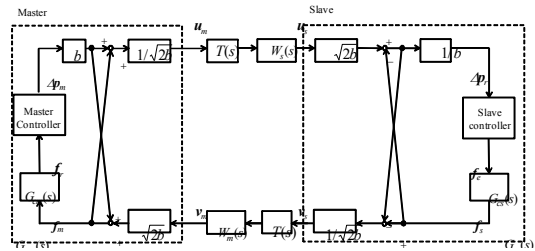
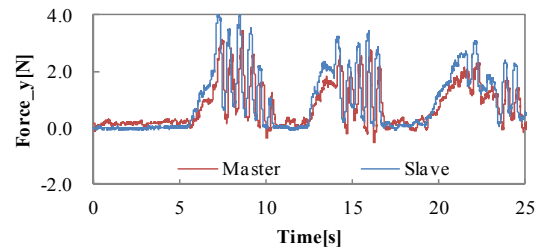


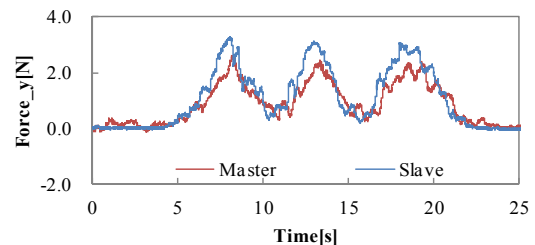
図5 マスタ・スレーブシステム

通信遅延環境下において提案した通信遅延を考慮したシステムの有効性を確認した。また、接触を伴う実験では、従来の通信遅延を考慮していないシステムと提案システムとの比較を行った。カルロス3世大学(スペイン)と岐阜大学にて測定した通信遅延の結果に基づき、マスタ・スレーブ間で擬似的に発生させ、片道の遅延を100[ms]とした。通信遅延を考慮していないシステムの結果と提案システムの結果を図6に示す。それぞれ中指y軸方向の指先力を示す。通信遅延を考慮していないシステムでは接触時にシステムが不安定になるが、提案したシステムでは安定して物体との接触力を操作者に提示可能であることを確認した。また、本研究の応用として衛星通信を用いた船舶の遠隔操縦における許容される遅延時間についても研究した。

これらの結果に基づいて、今後は海外とのネットワーク通信によるロボットの遠隔操作を実現する。



(a) 通信遅延の考慮なし



(b) 通信遅延の考慮あり

図6 実験結果

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 5 件)

- ① 毛利哲也, 安部貴大, 川崎晴久, 触覚センサを装着した高出力な人間型ロボットハンド, 第33回日本ロボット学会学

術講演会, 2015.

- ② T. Mouri, H. Kawasaki, and S. Ueki, Teleoperated Humanoid Hand Robot Using Force Feedback, Proc. of 2015 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), pp. 942-947, 2015.
- ③ 毛利哲也, 山村響, 藤井裕太, 川崎晴久, 人間型ハンドロボットの通信遅延を有する遠隔操作, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017, 2017.
- ④ T. Mouri, H. Kawasaki, and S. Ueki, Bilateral Tele-operated Hand Robot with Communicational Time Delay, Preprints of 20th IFAC World Congress, pp. 13260-13265, 2017.
- ⑤ 佐々木和也, 岡崎忠胤, 毛利哲也, 衛星通信を用いた船舶の遠隔操縦における遅延の限界値の検討, 第 18 回システムインテグレーション部門講演会, 2017

6. 研究組織

(1) 研究代表者

毛利 哲也 (MOURI, Tetsuya)

岐阜大学・工学部・准教授

研究者番号: 4 0 4 1 8 7 2 8

(2) 研究協力者

ルイス モレノ (Luis Moreno)

カルロス 3 世大学・工学部・教授