

平成 27 年 4 月 16 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560290

研究課題名(和文) 作業意図を考慮した人間型ロボットハンドの遠隔操作

研究課題名(英文) Tele-manipulation of humanoid robot based on task intention

研究代表者

毛利 哲也 (Tetsuya, Mouri)

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) 4,300,000円

研究成果の概要(和文)：遠隔地における人と人、人と物体とのインタラクション(相互作用)には、音声や映像だけでなく力覚通信が重要な課題である。力覚通信を実現するための鍵となる入出力デバイスがハプティックインターフェイスである。本研究は、多指ハプティックインターフェイスを用いて人間型ロボットハンドを遠隔操作することを目的とする。多指の遠隔操作では、ハプティックインターフェイスとロボットハンドの構造の違い、多点力覚提示による通信量の増大等の問題が生じる。そこで、遠隔操作を実現するため、操作者の作業意図に基づくロボットハンドの制御方法、通信情報の軽減手法、力覚と視覚の同時提示法を研究した。

研究成果の概要(英文)：Force communication is very important issue for the interaction of the people in a remote place. Haptic interface is a key for input-output device to realize force communication. This research aims to manipulate a humanoid robot hand using a multi-fingered haptic interface. Multi-fingered tele-manipulation causes problems such as different mechanical structure and heavy communication traffic. A control method of a robot hand based on task intention, a method of saving communication traffic, and a method of displaying both force and visual information have been proposed.

研究分野：ロボット

キーワード：テレオペレーション ロボットハンド

1. 研究開始当初の背景

宇宙空間や原子炉等、人間が立ち入ることの困難な極限環境での作業を行わせるのにロボットの活躍が期待されている。しかし、高度な判断を必要とする作業は自律的にロボットを制御することは難しく、人間が遠隔地から判断してロボットを操作することが望ましい。ロボットの遠隔操作では、多点での位置や力の情報の送受信（力覚通信）が必要である。5指に3次元の力覚提示できれば、これまで人間にしかできなかった巧みな作業を遠隔地からロボットを操作することで実現可能である。さらに、操作者の作業意図を解析することで必要な情報量のみを送受信することで遠隔操作を安定して実行可能である。しかし、力覚通信に不可欠なハプティックインターフェイスを用いて力覚提示するには、一般的に高速な制御・通信が必要とされる。これは映像等と比較すると非常に高速であるため、通信遅延や情報欠損が生じて力覚提示が困難になる。

近年、力覚通信を用いたロボットの遠隔操作に関する研究が盛んに行われている。一般的に設置型ハプティックインターフェイスは装置間の干渉により複数台の設置は困難であるため、多点への力覚提示は困難である。また、装着型ハプティックインターフェイスを用いた力覚提示では、物体の摩擦力や重量は提示困難である。このため、多点での3次元の力覚通信は研究されていない。

2. 研究の目的

遠隔地における人と人、人と物体とのインタラクション（相互作用）には、音声や映像だけでなく力覚通信が重要な課題である。力覚通信を実現するための鍵となる入出力デバイスがハプティックインターフェイスである。本研究は、多指ハプティックインターフェイスを用いて人間型ロボットハンドを遠隔操作することを目的とする。多指の遠隔操作では、ハプティックインターフェイスとロボットハンドの構造の違い、多点力覚提示による通信量の増大等の問題が生じる。そこで、遠隔操作を実現するため、操作者の作業意図に基づくロボットハンドの制御方法、通信情報の軽減手法を提案し、その有効性を検証する。

3. 研究の方法

本研究の目的のため、計画した方法を次に述べる。

(1) 多指ハプティックインターフェイスを用いた人間型ロボットハンドの遠隔操作は、実験用プログラムの作成途中においてロボットの暴走等の危険を伴う。このため、ロボットハンドの動作を模擬したCGシミュレーションシステムを構築する。実機による実験時には、ロボットハンドの状況を操作者に視覚提示用モニタとして活用する。

(2) 5指ハプティックインターフェイスを用

いて、人間型ロボットハンドを遠隔操作する。これまで、ロボットハンド単体による3次元の力覚提示を伴う遠隔操作を実施してきたが、指先の可動範囲が限定され、物体の操作空間は限定されている。また、操作者の指先位置をロボットハンドへと変換するスケールリング行列を試行錯誤的に求めている。本研究では、人間型ロボットハンドをロボットアームに装着して、物体の広範囲な操作空間を実現する。また、操作者からロボットハンドへの指先位置の変換法では、ハプティックインターフェイスとロボットハンドの可動範囲を考慮した変換法を提案する。

(3) 人間の作業意図を解析し、作業内容に応じてロボットハンドの制御方法を切り替える手法を検討する。これまでに、人間型ロボットハンドのVR教示において操作者の作業意図をオフラインで解析している。本研究では、操作者の指先位置、指先力、物体の位置姿勢から操作者の作業意図をリアルタイムで解析し、人間型ロボットハンドの制御モードを切り替える。

(4) 遠隔操作では、力の提示と同時にロボットハンドや把持対象物の映像を提示することで操作性が向上すると期待できる。本研究では、遠隔操作における力覚と視覚を同時提示して物体を把持する。

(5) 多指の遠隔操作では、指先力(3×5次元)と指先位置(3×5指)を相互に送受信しているため、これらのデータを圧縮して通信帯域を確保する。

(6) 上述の提案手法の有効性と問題点を明確にするため、日本との通信遅延が顕著な海外との遠隔操作実験を行う。

4. 研究成果

上述の研究方法により得られた結果を次に述べる。

(1) ロボットハンドとロボットアームから構成する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、ハンドロボットの手指形状をシミュレーションするだけでなく仮想物体との接触力も計算可能である。このため、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。

(2) 本研究で構築した人間型ハンドロボットのマスタ・スレーブシステムを図2に示す。マスタ側、スレーブ側共に対向型多指ハプティックインターフェイスHIRO IIを用いる。HIRO IIは21関節21自由度のハンド・アームから構成される。ただし、スレーブ側はハンドロボットとして用いるため、指先を半球状に変更する。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。

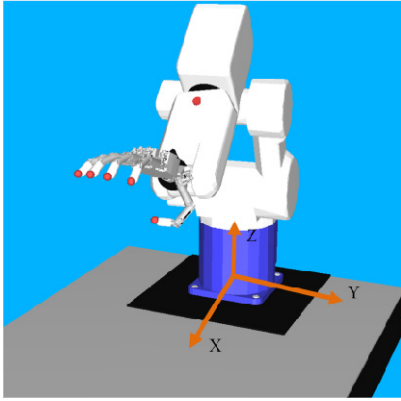
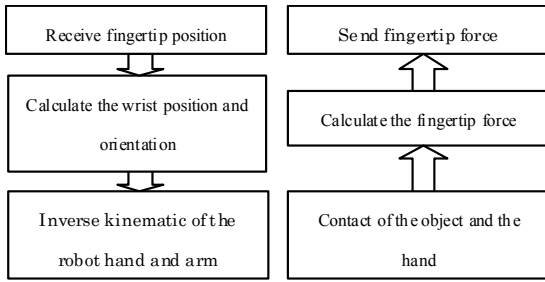


図1 シミュレーションシステム

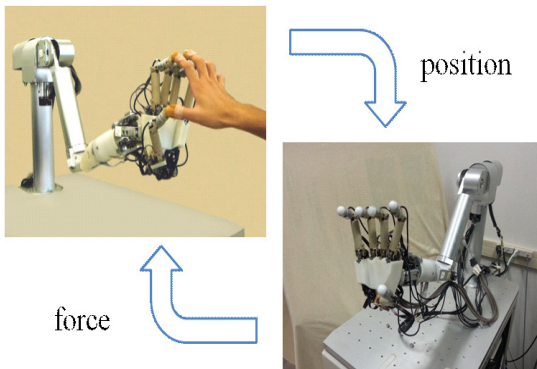


図2 マスタ・スレーブシステム

マスタ側のハプティックインターフェイスは、ハンドロボットの指先力を目標として力制御する。一方、スレーブ側のハンドロボットは操作者の指先位置を目標として位置制御する。マスタ側のハンド部は指先力制御として、

$$\tau_m = J_F^T (K_{pm} f_e + K_{im} \int f_e dt + f_s) - K_{dm} \dot{q}_m$$

スレーブ側のハンド部は指先位置制御として、

$$\tau_s = J_F^T (K_{ps} p_e + K_{is} \int p_e dt) - K_{ds} \dot{q}_s$$

とする。マスタおよびスレーブ側のアームは関節角度制御として、

$$\tau_A = K_{pA} q_e + K_{iA} \int q_e dt - K_{dA} \dot{q}_A + g$$

とする。ただし、 τ は関節トルク、 J はヤコビ行列、 f_e は指先力誤差、 p_e は指先位置誤差、 f は指先力、 q_e は関節角度誤差、 \dot{q} は関

節角速度、 g は重力項、 K_p は比例ゲイン、 K_d は微分ゲイン、 K_i は積分ゲインとする。添え字 m, s, A, F はそれぞれマスタ、スレーブ、アーム、指を示す。

アームの目標角度はハンド部の可操作性に関する関数 W_i 、関節の可動域に関する関数 P_i 、手首位置姿勢に関する関数 Q_A を含む評価関数

$$PI = \sum_{i=1}^5 (\alpha_i W_i - \beta_i P_i) - Q_A$$

$$Q_A = \frac{1}{2} (r_{Ad} - r_A)^T \Gamma (r_{Ad} - r_A)$$

の最適値を利用する。ただし、 α, β は重みを示し、添え字 i は第 i 指を意味する。重み行列 Γ を変更することにより、ロボットアームの位置・姿勢を陽に制御可能とする。

提案した制御法により、VR シミュレーションシステムで、物体の把持を伴う作業を行った。その動作は、図3に示すように①移動 (Move)、②把持動作 (Grasp)、③把持と移動 (Translate)、④手を放す (Release) から構成する。これらの動作を表1のように重み行列を4通りに設定した。表2に各場合の手首位置・姿勢の変化量の平均を示す。手首位置の重みを付加した場合、ハンドロボットの手首位置変化量が減少していることが確認できる。同様に、手首姿勢の重みを付加した場合、ハンドロボットの手首姿勢変化量が減少していることが確認できる。手首位置姿勢両方に重みを付加した場合、位置姿勢共に変化量は減少するが、互いに変化を増加させるので、片方のみ重み係数を付加した場合より変化量の減少が少ない。

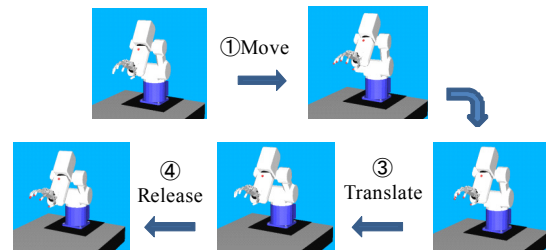


図3 VR シミュレーション

表1 パラメータ

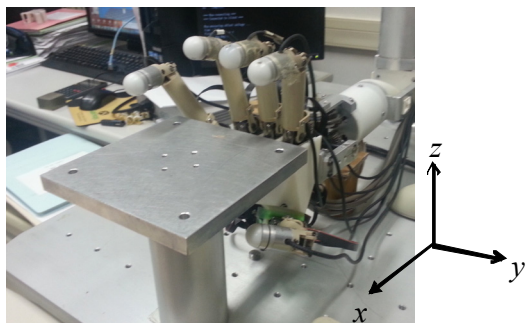
Case	Weight Matrix[Γ]
1	[0, 0, 0, 0, 0, 0]
2	[1, 1, 1, 0, 0, 0]
3	[0, 0, 0, 1000, 1000, 1000]
4	[1, 1, 1, 1000, 1000, 1000]

表 2 手首位置・姿勢の変化

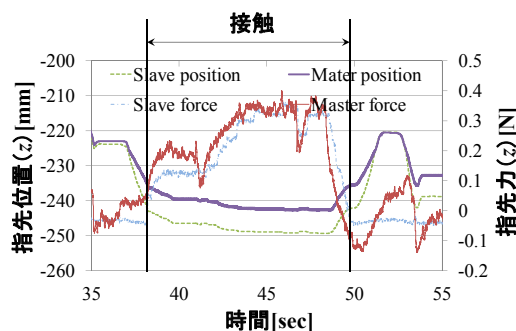
Task		Case			
		1	2	3	4
①Move	position[mm]	0.19	0.19	0.17	0.16
	posture[rad]	0.09	0.19	0.00	0.00
②Grasp	position[mm]	0.12	0.11	0.11	0.11
	posture[rad]	0.05	0.11	0.00	0.00
③Translate	position[mm]	0.17	0.16	0.16	0.15
	posture[rad]	0.08	0.14	0.00	0.00
④Release	position[mm]	0.11	0.16	0.09	0.11
	posture[rad]	0.05	0.18	0.00	0.00

構築したシステムにより力覚提示する。スレーブ側のロボットハンドを図 4(a)のように金属板に接触するようにマスタ側のハプティックインターフェイスを操作する。中指の指先位置と指先力の比較を図 4(b)に示す。非接触時にはマスタ側の指先位置にスレーブ側の指先位置が追従し、接触時にはスレーブ側の指先力がマスタ側の操作者の指先力に提示されている。

本システムを利用した物体の剛性計測システムも提案している。



(a) 実験外観



(b) 接触力

図 4 接触実験

(3) 操作者の作業意図を解析し、作業内容に応じてロボットハンドの制御方法を切り替えるため、音声によるロボットハンドの制御切替法を提案した。コマンドとして zero, approach, grasp, hold, move, release, run, stop の 8 種類を用意した。各コマンドに対して上述のロボットアーム先端の位置・姿勢を決定する重み Γ を変更した。これにより、ロボットハンドの自律性が増し、遠隔操作で

の安定性が向上すると期待できる。

(4) RGB-D カメラおよびステレオ CCD カメラを用いてスレーブ側のロボットハンドの作業環境を立体視可能なシステムを構築した。そのシステムを用いて力覚と視覚の同時提示による物体を確認した。

(5) 指先力 (3×5 次元) と指先位置 (3×5 指) を相互に送受信しているため、通信量が増大する。そこで、初期位置および 1 制御サイクル前の状態からの指先位置と指先力の差分を送受信する手法を提案し、通信量の軽減を図った。

(6) カルロス 3 世大学 (スペイン) の協力を得て、UDP および TCP による力覚通信実験を行った。通信では送信番号、送信状態、送信時間、指先位置、ハンド関節角度、アーム関節角度、指先力、CRC(合計 432[byte])を 1 パケットとして送受信した。その結果、通信時間の平均は TCP で 2.050[sec], UDP で 0.310[sec] を得た。UDP による欠損率は 0.015[%]であった。この結果に基づいて、今後は通信遅延を考慮した遠隔制御法を研究する。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 7 件)

- ① 毛利哲也, 川崎晴久, 藤井裕太, 人間型ロボットハンドの力覚を伴う遠隔操作, 第 32 回日本ロボット学会学術講演会, 1Q-07, 2014 年 9 月 4 日, 九州産業大学 (福岡).
- ② 毛利哲也, 川崎晴久, 本田裕哉, 遠隔操作人間型ロボットハンド, 第 14 回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 SI2013, 2C2-7, 2013 年 12 月 19 日, 神戸国際会議場 (神戸).
- ③ 本田裕哉, 毛利哲也, 川崎晴久, 人間型ハンドロボットの研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013, 1A1-J02, 2013 年 5 月 23 日, つくば国際会議場 (茨城).
- ④ 毛利哲也, 今田葉子, 川崎晴久, 石樽康彦, ロボットハンドを用いた剛性計測システム, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013, 1A1-L06, 2013 年 5 月 23 日, つくば国際会議場 (茨城).
- ⑤ T. Mouri, Y. Imada, Y. Ishigure, and H. Kawasaki, Haptic Interface Robotic Measurement System for Breast Engorgement, Proceedings of 2012 5th International Conference on BioMedical Engineering and Informatics, pp.670-675, 2012 年 10 月 16 日, 重慶 (中国).

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