

環境適応型ハイブリッド制御器を用いたモーションコントロール Motion Control with Environment Adaptive Hybrid Controller

80223072 西岡督雄 (Yoshio Nishioka) Supervisor 大西公平 (Kouhei Ohnishi)

1 序論

人間社会のような非構造環境、すなわちロボットにとって未知の環境下で用いられるロボットの実現には、環境を認識してそれに適応する能力が必要である。本研究では非構造環境下におけるモーションコントロール実現のために、新たな環境適応制御手法を提案する。また、提案手法をバイラテラル制御に適用してシミュレーションと実験を行い、有効性を確認する。

2 環境適応型ハイブリッド制御

2.1 同一軸方向のハイブリッド制御

環境に適応する能力の獲得として、加速度制御系において、同一軸方向の位置と力のハイブリッド制御器を提案する。図1はコンプライアンス制御器を、ロボットの等価質量行列 M_n を用いて等価変換したものである。コントローラの特性は仮想インピーダンスモデル (M_e, D_e, K_e) によって任意に設定される。

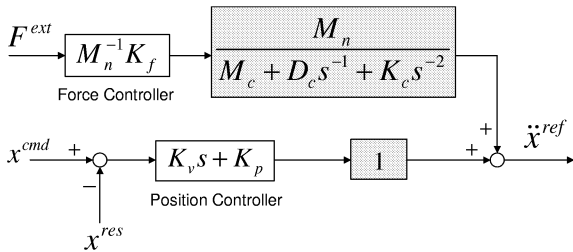


図 1: コンプライアンス制御器の等価ブロック線図

図1のように位置制御器と力制御器が構成されているものとみなし、制御器の特性を決定する要素を選択比 S, T と定義すると、図2の位置と力のハイブリッド制御器を考えることができる。本制御器では、適切な選択比を設定することにより任意の制御特性が獲得される。

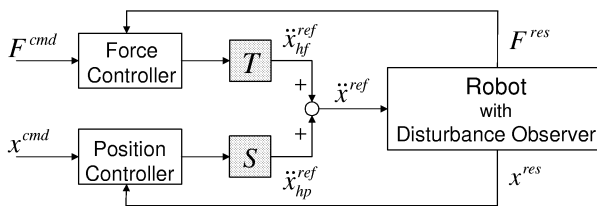


図 2: 同一軸方向の位置と力のハイブリッド制御器

2.2 選択比の設定

環境認識の手法として、選択比の概念に基づいた環境情報の表現方法を示す。図1と図2の比較から、選択比と仮想インピーダンスモデルの関係式は次式となる。

$$\frac{T}{S} = \frac{M_n}{M_c + D_c s^{-1} + K_c s^{-2}} \quad (1)$$

一方、環境は一般的に環境のインピーダンスモデル (M_e, D_e, K_e) を用いて次式のように表される。

$$F_{env} = M_e s^2 x + D_e s x + K_e x \quad (2)$$

ここで、環境情報を選択比を用いて表現するために、(1)式の仮想インピーダンスモデルとして環境モデルを設定した場合を考える。ただし、非構造環境下においては環境モデルは未知である。そこで、ロボットの位置と力の応答値を用い、(1)式と(2)式から次式を導く。

$$\frac{T}{S} = \frac{M_n}{M_e + D_e s^{-1} + K_e s^{-2}} = \frac{s^2 x^{res}}{M_n^{-1} F^{res}} \quad (3)$$

環境との接触状態において、ロボットの位置と力の応答値 x^{res}, F^{res} はそれぞれ(2)式の x, F_{env} に等しい。

さらに、選択比 S, T を決定するために次の制約条件を加える。理想的な位置制御と力制御がモーションコントロールの両極端の関係にあることを考えれば、この制約条件を加えることは妥当であり、ハイブリッド制御器の基本的な特性は変わらない。

$$S + T = I \quad (4)$$

(3)式と(4)式を解くことにより、環境情報は選択比を用いて以下のように表現される。

$$S = \frac{|\beta|}{|\alpha| + |\beta|} \quad (5)$$

$$T = I - S = \frac{|\alpha|}{|\alpha| + |\beta|} \quad (6)$$

$$\alpha = \frac{d\dot{x}^{res}}{dt} \quad \beta = M_n^{-1} F^{res} \quad (7)$$

このように環境情報をシステムの内部情報として表現することにより、ロボットは環境を認識することが可能となる。

3 提案手法を用いたモーショントロール

3.1 バイラテラル制御

バイラテラル制御は遠隔操作において、環境からの反力を操作者に伝えるための技術である。したがって実環境との接触を陽に含み、かつ環境情報を適切に取り入れることが重要となる。提案手法を用いて図3に示すバイラテラル制御系を構成する。マスタ、スレーブの選択比はそれぞれスレーブ、マスタの応答値から決定される。

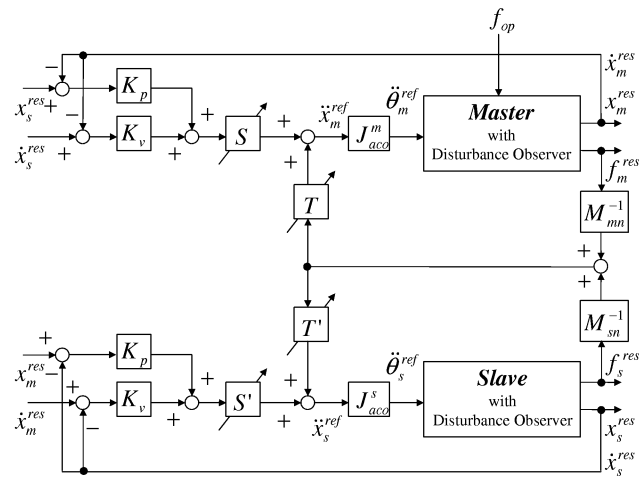


図 3: 提案手法を用いたバイラテラル制御のブロック線図

3.2 シミュレーション

図3のバイラテラル制御系でシミュレーションを行った。図4から、マスタとスレーブの位置と力の応答値が常に一致していることが分かる。また、図5より、環境との接触状態あるいは環境に応じて各選択比が変化していることが分かる。これらの結果から、提案手法により環境適応性が獲得されていることが確認された。

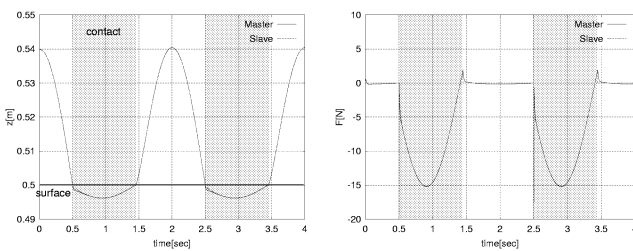


図 4: 提案手法による位置・力応答

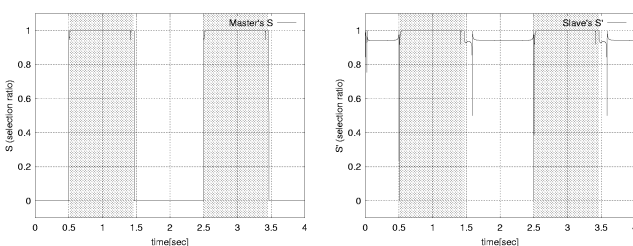


図 5: 選択比の変化

3.3 実験

図3のバイラテラル制御器を2台の3リンクマニピュレータに用いて、複数の環境に対する接触動作の実験を行った。硬い環境として金属板、柔らかい環境としてスポンジを用いた。実験結果より、両環境に対してパラメータの調節を行うことなく所期の応答が得られた。また高い操作性が達成され、環境に対してダイレクトな接触感覚が実現された。環境に応じて選択比を変化させることにより、それぞれの環境に適応した結果である。

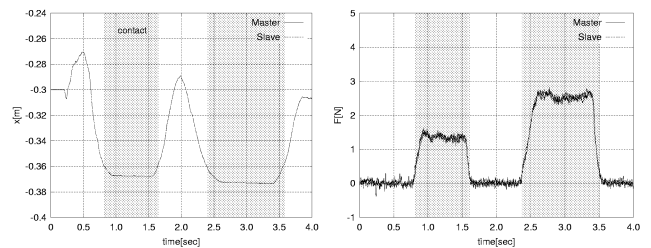


図 6: スポンジ環境に対する位置・力応答

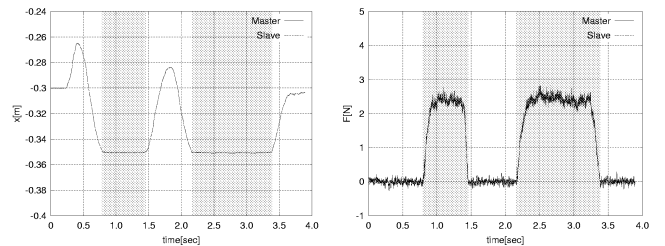


図 7: 金属板環境に対する位置・力応答

4 結論

本論文では、モーショントロールのための環境適応手法を提案した。環境に適応する能力の獲得として、同一軸方向のハイブリッド制御器を提案し、任意のモーショントロールを可能とした。また、環境を認識するための手法として、選択比を用いた環境情報の表現方法を示した。そして、提案手法の有効性を確認するために本手法を適用したバイラテラル制御系を構成し、シミュレーションと実験を行った。環境との接触状態あるいは環境の特性に応じて、選択比を変化させることにより所望の応答が得られていることが確認され、提案手法の環境適応性が示された。

参考文献

- [1] 西岡督雄, 大西公平: “ハイブリッド制御を用いたマスタスレーブマニピュレータのバイラテラル制御”, 平成14年電気学会産業応用部門大会講演論文集, Vol.1, pp.217-222, 2002.
- [2] Y. Nishioka, K. Ohnishi: “Hybrid Control of Position and Force for Bilateral System”, *IEEE Conf., IECON'03*, pp.1349-1354, 2003.