



ハイブリットアクチュエータシステムの開発とその 応用

メタデータ	言語: jpn 出版者: 日本機械学会 公開日: 2012-09-13 キーワード (Ja): キーワード (En): haptics interface, hybrid, piezo electric actuator 作成者: 桶谷, 涼太, 青柳, 学, 高野, 剛浩, 田村, 英樹 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/1649

ハイブリットアクチュエータシステムの開発とその 応用

その他（別言語等） のタイトル	Development and application of hybrid actuator system
著者	桶谷 涼太, 青柳 学, 高野 剛浩, 田村 英樹
雑誌名	日本ロボット学会学術講演会講演論文集
巻	2011
ページ	1A2-F07(1)-1A2-F07(4)
発行年	2011-05
URL	http://hdl.handle.net/10258/1649

ハイブリットアクチュエータシステムの開発とその応用

Development and application of hybrid actuator system

○桶谷 涼太 (室蘭工大) 青柳 学 (室蘭工大)
高野 剛浩 (東北工大) 田村 英樹 (東北工大)

Ryota OKEYA, Muroran Institute of Technology, s1724013@mmm.muroran-it.ac.jp
Manabu AOYAGI, Muroran Institute of Technology
Takehiro TAKANO, Tohoku Institute of Technology
Hideki TAMURA, Tohoku Institute of Technology

An ordinal force-feedback device mainly employs an electromagnetic motor(EMM), and it is excellent in the expression of an elastic feeling. However, it is not easy to express the sense of hardness and roughness. An actuator system(AS) using multilayered piezoelectric actuators has a characteristic which is contrary to AS using EMM. The objective of this study is the development of ideal actuator system for a haptic display. In this paper, a hybrid actuator system combining an EMM with a piezoelectric motor was proposed and examined. As a results, it was confirmed to be able to express hardness and softness by changing the combination of actuators.

Key Words: haptics interface, hybrid, piezo electric actuator

1. はじめに

触覚・力覚ディスプレイでは主に、制御性に優れる DC モータを使用しており、柔らかな弾性的感触の再現に優れているが[1]、硬い感触の表現は容易ではない。一方、積層圧電アクチュエータ (MPA) を用いた圧電クラッチ/ブレーキを用いた超音波アクチュエータシステム (AS) は、硬い感触をリアルに表現可能だが、柔らかい感触の再現は容易ではなかった[2][3]。

本研究の目的は、力覚提示に理想的な AS の実現である。具体的な実現方法として、電磁モータ (EMM) と圧電/超音波モータ (USM) を組み合わせ、幅広い範囲の感触を表現可能とするハイブリッド AS を開発した。

2. 構成および動作原理

Fig.1 に試作したハイブリッド AS の構成を示す。この装置は電磁モータ (コアレス DC モータ) 部、超音波モータ (USM) 部、変位拡大機構を用いた圧電クラッチ部で構成されている。

A 推力発生用超音波モータ

Fig.2 に示すように2つの MPA を変位拡大機構の上に直交するように配置する。それぞれの MPA の位相の異なる正弦波を印加することで、先端に楕円変位を発生させる。USM 部の先端がロータに接触することで、摩擦によってロータを回転させる。高速応答性に優れる。また、自己保持力を有し、無休電で保持できる。

B 予圧制御用圧電クラッチ/ブレーキ

通常、USM 部の先端はロータに予圧されている。MPA に直流電圧を印加することで MPA が伸び、変位拡大機構が両側に押し広げられる。その結果、拡大された変位により先端がロータから分離する。USM 非駆動時にはブレーキとして動作する。MPA の高速応答により、接触・分離が高速に行われる。

C 電磁モータ

永久磁石型コアレスモータを用いる。無鉄心により慣性モーメントが小さい。

3. 力覚提示システム

力覚提示システムの概要を Fig.4 示す。本システムではユーザーがレバーを操作することで、一軸上で仮想物体からの感触を感じることができる。デバイスに取り付けたロータリエンコーダより回転角度を、ひずみゲージの出力から反力を測定する。これらの測定値をもとに PC 上でプログラム (MATLAB/Simulink) により、圧電クラッチ等に印加する電

圧を制御し、力覚を表現する。また、ディスプレイ上では、設定した仮想物体を表示し、レバー操作と連動させた。

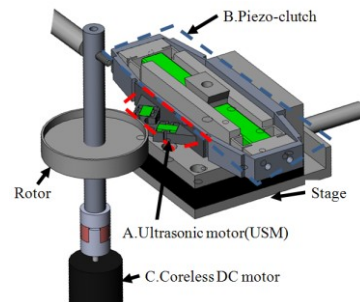


Fig.1 Hybrid actuator system.

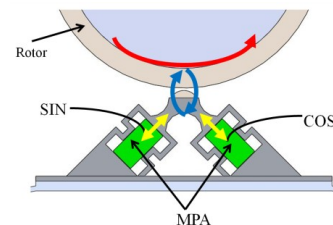


Fig.2 Operating principle of USM..

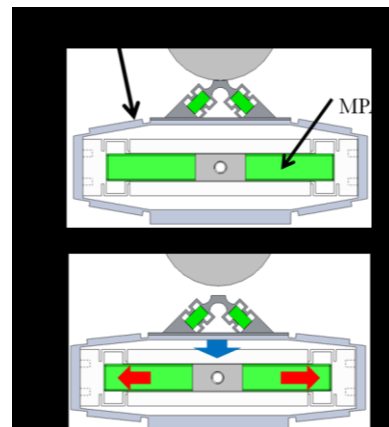


Fig.3 Operating principle of piezo-clutch.

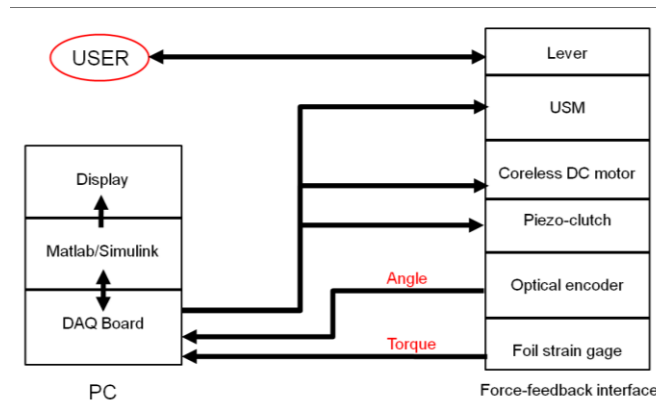


Fig.4 Block diagram of force-feedback system.

4. 力覚提示実験例

試作した力覚提示システムを用いて力覚提示実験を行った。再現した感触およびアクチュエータの組み合わせを Table1 に示す。

Table1 Combination of device with haptic display

Haptic	USM	EMM	Brake
Roughness			○
Block + friction			○
Spring	○		(Clutch)
		○	
		○	○

4.1 ざらつきの表現(圧電ブレーキによる表現)

Fig.5 に示すような5つの突起を仮想物体と設定し、力覚提示を行った。突起幅 1[deg]、間隔を 1[deg]と設定した。力覚再現中の反力、クラッチ電圧、レバー角度、回転速度を Fig.6 に示す。なお再現には圧電ブレーキのみを使用している。

- ・ A 区間 (トルクフリー状態)
クラッチ電圧を最大 (150V) にすることで、USM 先端がロータから離れ、レバーを自由に動かすことができる状態とした。
- ・ B 区間 (ざらつきの再現)
レバーが最初の突起のある位置 (0deg) に来た時から、クラッチ電圧を突起の位置に合わせて急激に変化させることで撃力を発生し、突起に触れている状態と触れていない状態(ブレーキ状態とトルクフリー状態)を再現できた。
- ・ C 区間 (トルクフリー状態)
レバーが最後の突起のある位置 (9deg) を超えると、再びクラッチ電圧を最大として、レバーを自由に動かせる状態とした。

4.3 ブロック移動の再現

Fig.7 に示すように平坦な床に置いているブロックを仮想物体と設定し、このブロックを押して移動させたときの力覚提示を行った。力覚提示中の反力、クラッチ電圧、レバーの角度、回転速度を Fig.8 に示す。なお表現には圧電ブレーキを使用している。

- ・ A 区間 (トルクフリー状態)
クラッチ電圧を最大 (150V) にすることで、USM 先端がロータから離れ、レバーを自由に動かすことができる状態とした。
- ・ B1 区間 (静止摩擦状態)
ブロックの初期位置 (0deg) にレバーが来た時、ブレーキをかけることで静止摩擦状態を表現した。
- ・ B2 区間 (動摩擦状態)
ユーザーが加える力が設定したしきい値を超えたときに、

反力を一定に保つようにクラッチ電圧を PID 制御することで動摩擦状態を表現した。これにより、ブロックを押している時の感触を表現することができた。

- ・ B3 区間 (静止摩擦状態)
加わる力がしきい値を下回ったとき PID 制御を停止しブレーキによる抗力が発生する状態となる。この状態で再び加える力大きくすると再び B2 区間へ移行することが可能である。
- ・ C 区間 (トルクフリー状態)
ブロックから離れる方向に力が加わった瞬間にクラッチ電圧を最大にすることでブレーキを離脱させ、再びトルクフリー状態を表現した。



Fig.5 Virtual roughness on display.

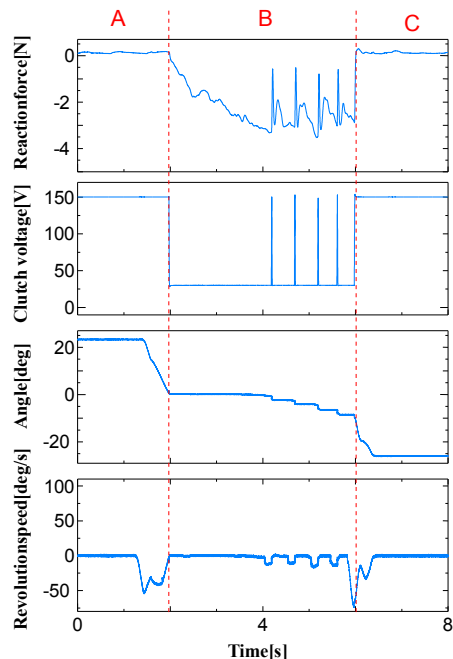


Fig.6 Resulting reaction force, clutch voltage, lever angle and rotation speed at virtual asperity.

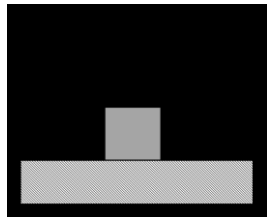


Fig.7 Virtual block on display.

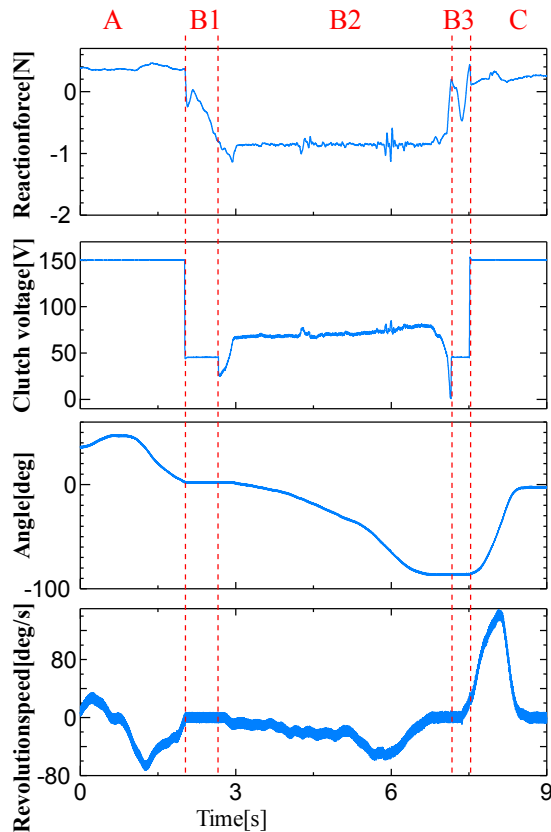


Fig.8 Resulting reaction force, clutch voltage, lever angle and rotation speed at virtual block displacement.

4.3 ばねの再現

Fig.9 に示すような有限長のばねを仮想物体と設定し力覚提示を行った。今回は、USM, EMM 単独, EMM と圧電クラッチ併用の 3 タイプについて報告する。

4.3.1 USM による表現

Fig.10 に USM と圧電クラッチを用いた場合でのレバー操作による反力, クラッチ電圧, 回転角度の結果を示す。

- ・ A 区間 (トルクフリー状態)
クラッチ電圧を最大 (150V) にすることで, USM 先端がロータから離れ, レバーを自由に動かすことができる状態とした。
- ・ B 区間 (弾性力再現)
レバーがばねのある位置 (0deg) に来た時, ばねの反発力を感じる状態となる。反発力表現は, USM に印加する電圧を一定とし, レバーの角度に対応してクラッチ電圧を変化させることで反発力の制御を行った。
- ・ C 区間 (トルクフリー状態)
レバーが再びばねから離れる位置に来た時, クラッチ電圧を最大にすることでトルクフリー状態を実現した。

USM でばねの感触を表現した場合, 大きな反発力を瞬時に

発生させることが可能であるが, 操作中に感じるロータとの摩擦感やトルクの不安定さにより連続して反発力を表現するのには向いていないと考えられる。

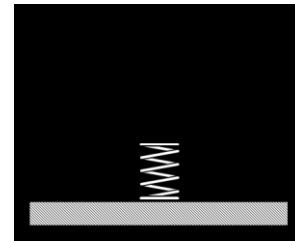


Fig.9 Virtual spring on display.

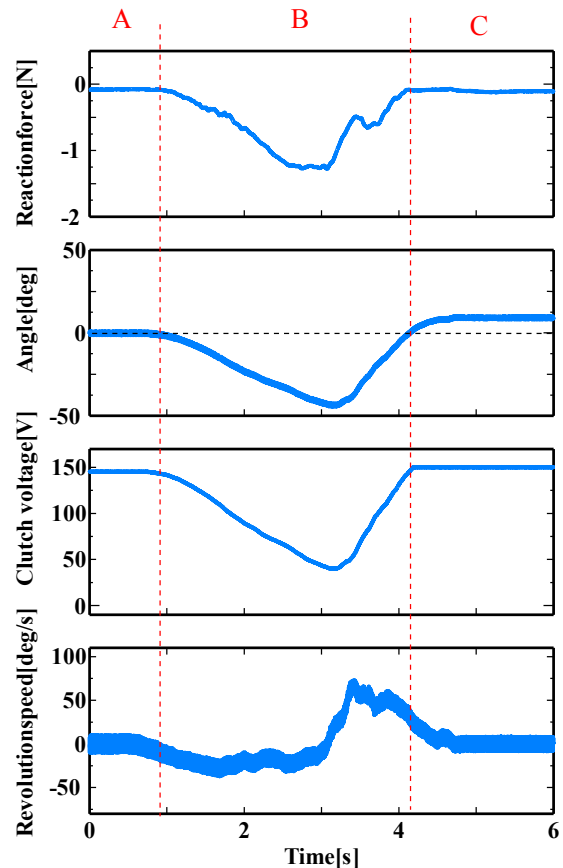


Fig.10 Resulting reaction force, lever angle, clutch voltage and revolution speed rate at USM and piezo-clutch.

4.3.2 EMM による表現

Fig.11 に EMM を用いた場合でのレバー操作による反力, クラッチ電圧, デューティ比, 回転角度の結果を示す。

- ・ A 区間 (トルクフリー状態)
クラッチ電圧を最大 (150V) にすることで, USM 先端がロータから離れ, レバーを自由に動かすことができる状態とした。
 - ・ B 区間 (弾性力再現)
レバーがばねのある位置 (0deg) に来た時, ばねの反発力を感じる状態となる。EMM を PWM 制御することで行い, レバーの角度に対応してデューティ比を変化させることにより反発力を制御し, ばねの感触を再現した。
 - ・ C 区間 (トルクフリー状態)
レバーがばねの初期位置 (0deg) に来た時, PWM 制御を停止しトルクフリー状態を実現した。
- EMM で表現を行った場合, USM と比較して摩擦感がない分反発力をなめらかに変化させることができた。しかし, 加わ

る力が最大トルクを超えたとき、設定したモデルと異なる感触を提示してしまう。

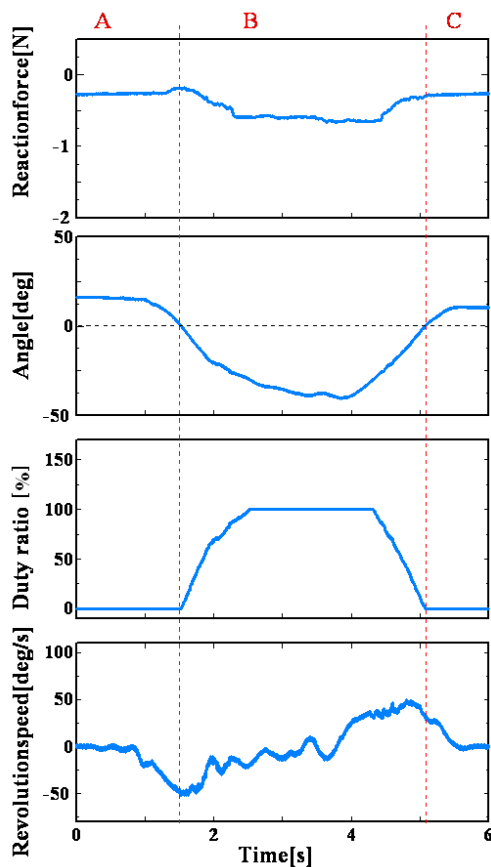


Fig.11 Resulting reaction force, lever angle, clutch voltage and revolution speed rate at EMM.

4.3.3 電磁モータ、圧電ブレーキ併用による表現

Fig.12に EMM と圧電ブレーキを用いた場合でのレバー操作による反力、レバーの角度、クラッチ電圧、デューティ比の結果を示す。

- ・ A 区間 (トルクフリー状態)
クラッチ電圧を最大 (150V) にすることで、USM 先端がロータから離れ、レバーを自由に動かすことができる状態とした。
- ・ B1 区間 (弾性力再現)
レバーがばねのある位置 (0deg) に来た時、ばねの反発力を感じる状態となる。反発力の表現は、EMM を PWM 制御することで行い、レバーの角度に対応してデューティ比を変化させることにより反発力を制御し、ばねの感触を再現した。
- ・ B2 区間 (抗力発生状態)
レバーの位置が Fig.9 におけるばねの終端 (30deg) に来た時、ばねによる反発力状態から床からの抗力を感じる状態へと移行する。レバーがばね終端に達した瞬間 EMM に印加電圧を 0V とし、クラッチ電圧を 0V とすることで、ブレーキをかけ、それ以上の操作を制限し、床に触れた状態を再現した。
- ・ B3 区間 (弾性力再現)
ユーザーの加える力が設定したしきい値を下回るまたは、床から離れる方向にレバーを動かしたとき、クラッチ電圧を最大としブレーキを OFF に、また EMM の PWM 制御を開始することで、再びばねの再現へと移行させた。
- ・ C 区間 (トルクフリー状態)

レバーがばねの初期位置 (0deg) を超えたとき PWM 制御を停止し、再びトルクフリー状態を表現した。

EMM 単独での表現と比較すると、EMM の最大トルク時にブレーキをかけることで、より設定したモデルに近い感触を表現することができた。EMM とブレーキの切り替えをスムーズに行うことでより現実に近い感触を表現することが可能であると考えられる。

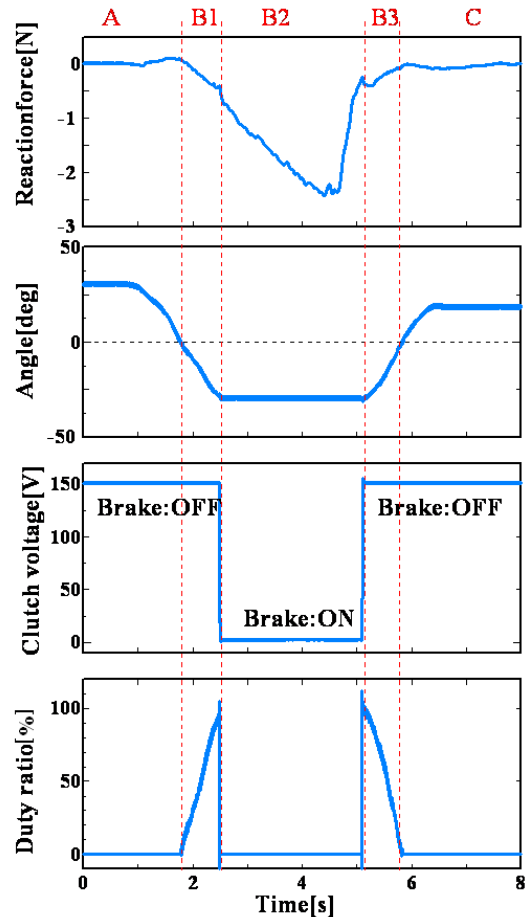


Fig.12 Resulting reaction force, lever angle, clutch voltage and revolution speed rate at EMM and piezo-brake.

5. まとめ

電磁モータと超音波モータを組み合わせたハイブリッド AS を考案・作製し、USM、圧電ブレーキ、EMM を組み合わせ硬い感触、柔らかい感触の再現を行った。再現の結果、圧電ブレーキを用いることで壁などの硬い感触を、電磁モータ、超音波モータを用いることでばねなどの柔らかい感触の表現が可能であった。

今後の課題として、装置の安定化および高トルク化、力覚のプロファイリングを行い、その結果との比較およびプロファイルデータに基づき力覚の制御法の検討を行う。

参考文献

- [1] <http://www.sensable.com/>
- [2] M.Aoyagi, T.Tomikawa, T.Takano, "A Novel Ultrasonic Motor with a Built-in Clutch Mechanism for a Force-feed-back Actuator," 2004 IEEE Ultrasonics Symposium, p.2239, 2004
- [3] T.Takemura, M.Aoyagi, T.Takano, H.Tamura, and Y.Tomikawa, "Hybrid Ultrasonic Actuator for Force-Feedback Interface," Japanese Journal of Applied Physics, Vol.47, No.5 2008, pp. 4265-4270.