

高品位な摩擦感呈示のための ウェアラブルな遭遇型触覚呈示デバイス

A Wearable Encounter Type Haptic Device for Presentation of Realistic Friction

西村奈令大¹⁾, Daniel Leonardis²⁾, Massimiliano Solazzi²⁾,
Antonio Frisoli²⁾, 梶本裕之¹⁾³⁾

Narihiro NISHIMURA, Daniel LEONARDIS, Massimiliano SOLAZZI,
Antonio FRISOLI, Hiroyuki KAJIMOTO

1) 電気通信大学大学院 総合情報学専攻

(〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {n-nishimura, kajimoto}@kaji-lab.jp)

2) PERCRO lab, Scuola Superiore Sant'Anna

(Via Alamanni, 13b, 56100 Ghezzano San Giuliano Terme, Italy, {d.leonardis, m.solazzi, a.frisoli}@sss.up.it)

3) 科学技術振興機構さきがけ

概要: 指先への表面滑りに起因する摩擦感の呈示は触覚インタラクションにおいて物体と皮膚との相対運動の情報を伝える上で重要である。本研究では垂直及び水平方向に駆動するアクチュエータを用いて、摩擦感の要素を幅広い帯域で実現することが可能な触覚呈示デバイスを提案する。デバイスは DC モータとボイスコイルモータ(VCM)から構成される。DC モータによる水平変位と VCM による垂直変位の組み合わせにより、物体をなぞった際の摩擦感が高品位に呈示される。本システムは VR 空間での手作業のように指の 3 次元運動が必要な状況において作業性の向上に貢献すると考えられる。

キーワード: 遭遇型、皮膚感覚、摩擦感、触覚ディスプレイ、ウェアラブル

1. はじめに

触覚インタラクションにおいて、物体をなぞった際の感覚を再現することは重要である。特に、指先への表面滑りに起因する摩擦感の呈示は物体の表面性状のみならず、自己と対象との相対的な運動に関する重要な手掛かりであり、対象物の操作性に直結すると考えられる。本論文では指先への装着を前提とし、垂直及び水平方向に駆動するアクチュエータを用いた、摩擦感を高品位に実現するための触覚呈示デバイスについて述べる。

1.1 従来手法

これまで、装着型のデバイスによる指先への摩擦呈示について様々な提案がなされてきた。Minamizawa らは、モータでベルトを巻き取る簡便なデバイスによって皮膚変形を発生させ、摩擦感のうちの低周波成分である力覚を方向も含めて呈示し、グラスの内容物の重量感などを再現することに成功している[1]。低周波成分を提示するもう一つの例として、Massimiliano らが提案した形状記憶合金アクチュエータによって刺激子を 2 次元平面上で駆動させるデバイスが挙げられる[3]。このデバイスはモータを用いる場合よりも軽量でありながら、力覚を提示するのに十分な

皮膚変形を発生させている。また昆陽らは、ICPF アクチュエータを用いた指先装着型のデバイスにより、振動によって指先への摩擦感のうちの高周波成分を呈示することに成功している[2]。以上のような装着型のデバイスの多くは、装着している間皮膚とデバイスが接触し続けるため、常に触覚が呈示され続ける。しかし、皮膚と対象との接触面積自体が触覚の一要素である柔軟感に寄与しているという観察があり[3]、物理的な摩擦に接触面積が寄与することが知られていることと考え合わせると[4]、摩擦感においても平面との接触面積、ひいては接触の有無が手掛かりになっている可能性がある。

平面との接触の有無を含めて呈示する触覚呈示手法は遭遇型と呼ばれ、接触瞬間の衝突に起因する高周波成分を高品位に呈示できる方式として知られている[5][6]。一般に遭遇型の呈示はシステムが大がかりになる傾向があるが、Nakagawara らは遭遇的方式によって触覚呈示を行う遭遇型多指マスタハンドを提案している[7]。しかしシステム自体が高コストであり、また皮膚鉛直方向の力の呈示のみ行っているため、摩擦感呈示としては自然であるといえない。実際、Sylvester らは摩擦感の呈示にはせん断方向

の皮膚変形が重要であると報告している[8].

1.2 提案手法

前節より、指先への摩擦感呈示を現在よりも高品位に実現するためにはデバイスが遭遇型であり、かつ垂直のみならず水平方向に力を呈示することができることが重要であると考えられる。そこで我々は、従来から実現されてきた皮膚変形に加え平面との接地条件および垂直・水平方向の反力を再現することのできるデバイスを提案してきた[9]. このデバイスは遭遇型でありながらせん断方向の皮膚変形を呈示することができる。

1.3 前報における成果

前節で述べたように我々は、遭遇型でありかつせん断方向への反力を呈示することができるデバイスを試作した[9]. ここでは、垂直方向運動にボイスコイルモータ(VCM)を、水平方向運動にリニアサーボを用いた。使用したリニアサーボ (Single Linear Servo, 2.4Ghz SuperMicro Systems社製) はラジコン飛行機の尾翼の制御等に用いられるものである。このデバイスを大学主催のオープンキャンパス等で展示したところ、「本当に平面を滑っているように感じる」、「本物のテーブルに触れているかのような」といったような好意的な意見を得ることができた。

しかしその一方で、「不自然な振動を感じる」、「ギアの音が気になる」、「やや時間遅れがある」といったような指摘も受けた。このことから我々は、使用したリニアサーボが持つギアが体験者にとって不快な音・振動を生み出している原因であり、また応答性に劣るため、触覚呈示デバイスに用いるアクチュエータとして不適切であると考えた。さらに使用したリニアサーボは速度などに応じた細かい制御が不可能であるため、再現することができる摩擦感の高品位とはいえない。

このような背景を踏まえ、本稿では幅広い帯域での摩擦感の要素の実現を目指し、より細かい制御が可能なアクチュエータを用いたデバイスについて述べる。

2. デバイス

図1 にデバイスの外観を示す。本装置は垂直方向振動のためのVCM(LA08-10-000A, BEI KIMCO MAGNETICS社製)と水平方向運動のためのポリイミドフィルム(Kapton100H, 東レデュボン社製)が取り付けられたDCモータ(118601, MAXON社製)から構成される。前者は皮膚の接地・非接地条件を実現すると共に摩擦によって生じる振動を呈示し、後者は指先に水平方向の皮膚変形を起こすことによって摩擦感の一要素である抵抗力を呈示する。使用環境のイメージを図2に示す。前方には赤外LEDが取り付けられ、赤外線位置センサ (Wiiリモコン, 任天堂社製)によって位置情報が読み取られる。位置情報はPCを介してマイクロプロセッサ (mbed NCP LPC 1768, NXP Semiconductors社製) に送られ、これに基づいてそれぞれのアクチュエータが駆動される (図3)。フィルムには図4のようにグラデーションのパターンが印刷され、これをデバ

イス下部に取り付けられたフォトフレクタで読み取ることによってDCモータの回転数を制御する。

本試作システムではVR空間中の水平な平面との触覚的インタラクションを実現している。指先の垂直位置の値が平面の高さ以上だと接触子は皮膚に触れないが、それ以下になるとVCMが駆動されて接触を開始する。さらにその状態で指先位置が水平方向に移動すると、DCモータによって指の進行方向と逆向きにフィルムが巻き取られ、摩擦に起因する皮膚変形が表現される (図4)。以上の仕組みにより、ユーザはバーチャル平面からの摩擦を感じることができると考えられる。また、VCMは数百Hz程度の高周波も呈示することが可能であるため、様々な素材をなぞった際の摩擦の高周波成分、すなわちテクスチャ感を呈示できると考えられる。

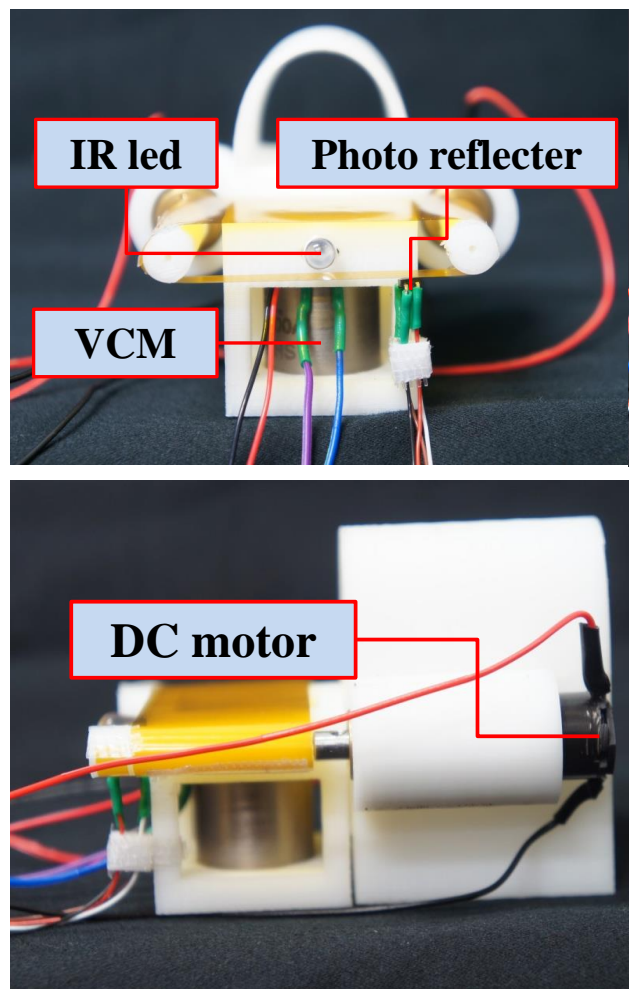


図1 デバイス外観 (上) 前から見た様子 (下) 横から見た様子

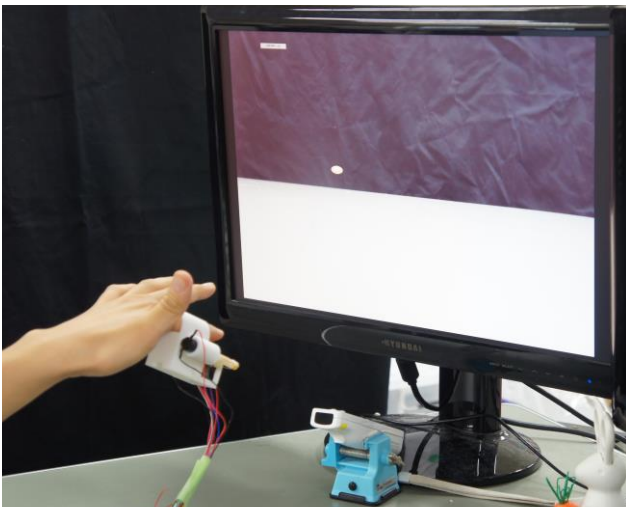
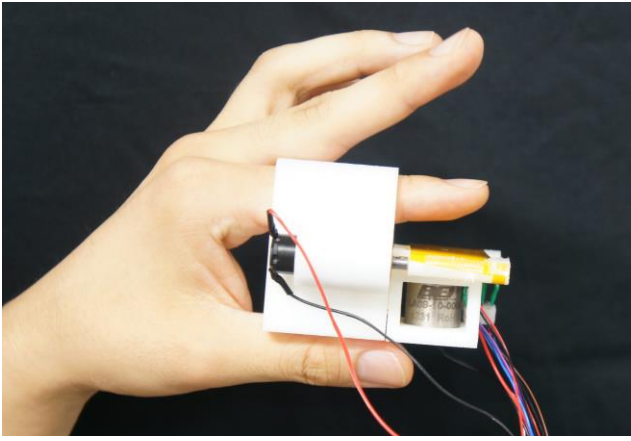


図2 (上) デバイスを装着した様子 (下) 使用環境のイメージ

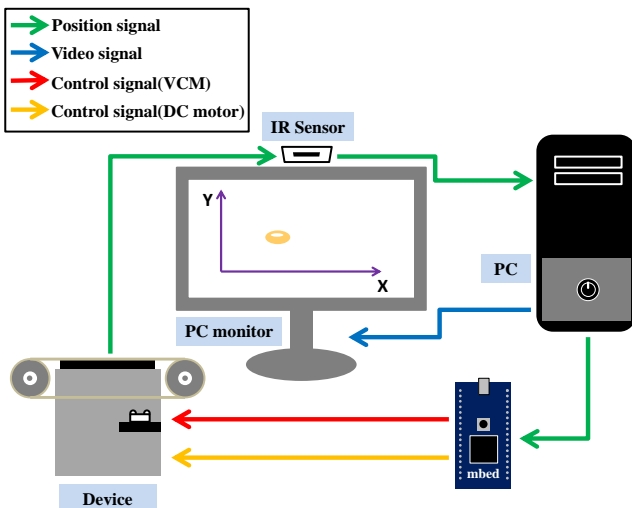


図3 システム構成図

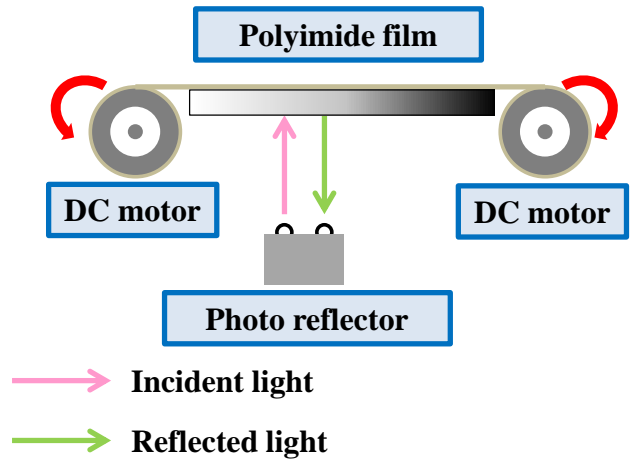


図4 フォトセンサによる DC モータの制御

3. おわりに

本稿では指先への装着を前提とし、高品位な摩擦感呈示を行うことのできる触覚ディスプレイを提案した。今後はデバイスの改良を行うと共に、摩擦感の呈示のために必要な VCM 振動数と DC モータの回転数の最適な組み合わせを実験によって検証していく。

参考文献

- [1] Minamizawa, K., Fukamachi, S., Kajimoto, H., Kawakami, N., Tachi, S., "Gravity Grabber: Wearable Haptic Display to present Virtual Mass Sensation", ACM SIGGRAPH, p.8, 2007
- [2] Solazzi, M., Provancher, WR., Frisoli, A., Bergamasco, M., "Design of a SMA Actuated 2 DoF Tactile Device for Displaying Tangential Skin Deformation," IEEE World Haptics Conference, pp31-36, 2011
- [3] 昆陽雅司, 中本雅崇, 前野 隆, 田所 諭, "ICPF アクチュエータを用いたヒト指腹部への分布振動刺激に基づく把持力調整反射の誘発", VR 学会論文誌, vol11, no.1, pp.3-10, 2006
- [4] 池田義明, 藤田欣也. "指先の接触面積と反力の同時制御による柔軟弾性物体の提示." VR 学会論文誌, vol9, no.2, pp187-194, 2004
- [5] HEF/CETIM: 摩擦と摩耗のマニュアル, 泰山堂(1999)
- [6] Y.Yokokohji, J.Kinoshita, and T.Yoshikawa, "Path Planning for Encountered-type Haptic Devices that Render Multiple Objects in 3D Space," Proc. IEEE VR2001, pp.271 - 278, 2001
- [7] S. Tachi, T. Maeda, R. Hirata and H. Hoshino: A Construction Method of Virtual Haptic Space, Proceedings of the 4th International Conference on Artificial Reality and Tele-Existence (ICAT '94), pp.131-138, 1994
- [8] Nakagawara, S., Kawabuchi, I., Kajimoto, H., Kawakami, N., and Tachi, S., "An Encounter-type Multi-fingered

- Master Hand Using Circuitous Joints,” Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2005), pp.2667-2672, 2005
- [9] Sylvester, Nicholas, D., Provancher, William, R., “Effects of Longitudinal Skin Stretch on the Perception of Friction,” IEEE World Haptics Conference, pp.373-378, 2007
- [10] 西村奈令大, Daniel Leonardis, Massimiliano Solazzi, Antonio Frisoli, 梶本裕之, “遭遇型指装着触覚ディスプレイによる摩擦感提示”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013, 1A2-E08, 2013