垂直方向の振動と水平方向の皮膚変形による摩擦感呈示

○西村 奈令大 1), Daniel Leonardis2),
Massimiliano Solazzi2), Antonio Frisoli2), 梶本 裕之 1)3)
1)電気通信大学 2)PERCRO lab, Scuola Superiore Sant'Anna 3)科学技術振興機構さきがけ

Presentation of Friction by Vertical Vibration and Horizontal Skin Deformation

○Narihiro NISHIMURA1), Daniel LEONARDIS2)
Massimiliano SOLAZZI2), Antonio FRISOLI2) and Hiroyuki KAJIMOTO1)3)
1)The University of Electro-Communication 2)PERCRO lab, Scuola Superiore Sant'Anna, 3)Japan Science and Technology Agency

Abstract: In haptic interaction, it can be said that the presentation of friction, which is one of the essences of sliding feeling, greatly contribute to operability of mass. We assumed that the presentation of realistic friction can be connected to enhancement of haptic interaction. In this paper, we propose the device which can present vertical vibration and tangential skin deformation for presentation of realistic friction.

１．緒言

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．本稿では指先への装着を前提とし、垂直及び水平方向に駆動されるアクチュエータを用いた、高品位な摩擦感の呈示を実現するための触覚呈示デバイスについて述べる．この摩擦感の提示は例えば、医師が遠く離れた患者を診察する遠隔医療での触診の際に、皮膚の状態を知る、内部のしこりの有無を判断する等の応用が可能であると思われる．

1.1 従来手法

摩擦感を構成する要素は外力による力覚および皮膚感覚に分けることが出来るが、ここではポータブルな装置の実現を目指し、皮膚感覚のみに注目する．摩擦感を構成する皮膚感覚は、平面上で指を動かそうとする際に生じる抵抗力に起因する皮膚変形（低周波成分）と、平面上で指が動かされる際に生じる振動（高周波成分）の２つの要素に分解することができる(Fig.1).

皮膚変形を呈示するポータブルデバイスは、主に疑似的な力覚を呈示することを目的に提案されてきた．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、摩擦感のうちの主に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]．Massimiliano らは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手法を提案している[2]．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、疑似的な力覚を提示するのに十分な皮膚変形を発生させている．

振動を呈示するポータブルデバイスは、主に表面性状すなわちテクスチャ感の再現を目的に行われてきた．製品としては CyberTouch[3]が各指への振動提示を行っている．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、振動成分を呈示しており、呈示によって無意識の把持力調整が行われることを見出している[4].

以上のようなポータブルな皮膚感覚呈示装置の多くは皮膚変形あるいは振動のいずれかのみを呈示している．しかし例えば代表的な摩擦現象である stick-slip では、皮膚変形に続き高周波振動が生じることから、皮膚変形と振動の両者を呈示することは高品位な摩擦感呈示に必須であると考えられる．また、従来提案されてきた多くのものは「装着型」である．すなわち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[5]、また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合わせると[6]、摩擦感呈示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

SY0011/13/0000 - 0686 © 2013 SICE

成分を高品位に呈示できる方式として知られている[7][8]．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 らは遭遇型の方式によって触覚呈示を行う多指マスタハンドを提案している[9]．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[10]．

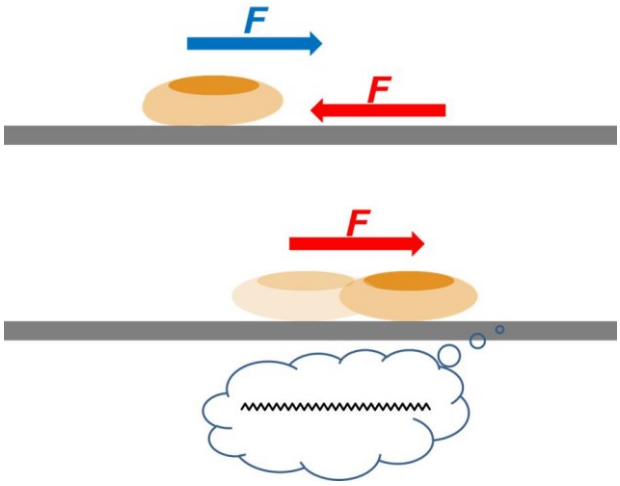

Fig.1 Components of frictional sensation. (Top) Tangential resistance (Bottom) Vibration from surface

２．提案手法

前章までの議論に基づき、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次の 3 点が重要であると考えられる．

(1)広帯域性：皮膚変形と振動を幅広い帯域で実現すること

(2)多方向性：垂直のみならず水平方向にも力を呈示すること

(3)遭遇型：デバイスが遭遇型であること

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[10][11]．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．しかし、用いたアクチュエータ（サーボモータ）の応答性の欠如、並びに PC を介したデバイスの位置センシングによるシステム全体の遅延が問題となった．

本稿ではこれらを踏まえ、応答性に優れたアクチュエータ、PC を介する必要のないセンシング方式を採用したデバイスを製作した．

2.1 デバイス概要

Fig.2 にデバイス概観を示す．本デバイスは垂直方向運動のためのボイスコイルモータ（以下、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, 東レデュポン社製)が取り付けられた DC モータ(3W, Maxon 社製)2 台から構成される．前者は皮膚の接地・非接地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．

システム構成図を Fig.3 に示す．DC モータの回転軸にはロータリーセンサが取り付けられ、DC モータの回転角度を読み取る．角度の情報はマイコン(mbed NCP LPC 1768, NXP Semiconductors 社製)に送られ、フィルムの移動量が計算される．また、デバイスの上下左右には 4 つのフォトリフレクタが搭載されている．Fig.4 の使用環境のイメージに示されるように、再帰性反射材を貼り付けた箱の中で操作することにより、フォトリフレクタが箱の壁面との距離に応じた反射光を検出する．ここでは上下、並びに左右の反射光強度の差分から現在位置が計算され、各アクチュエータはこれに基づいてそれぞれ駆動される．

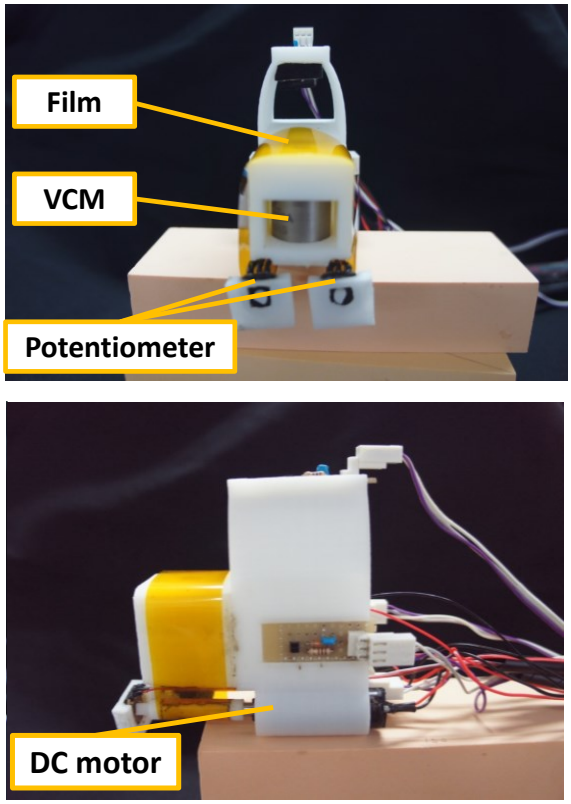

Fig.2 The overview of the device

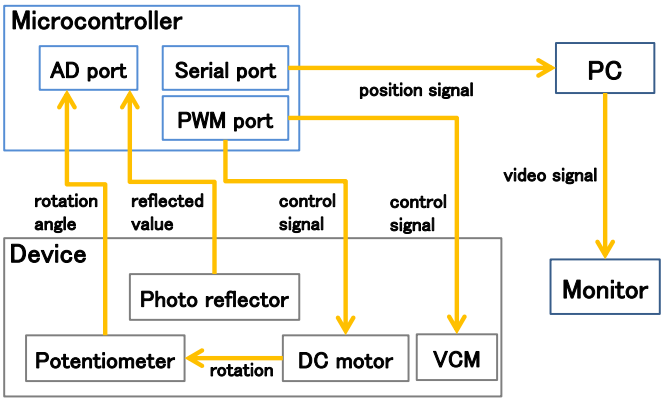

Fig.3 System structure

Fig.4 Image of usage

本デバイスは VR 空間中に描画された指と連動している．まず指先の垂直位置と平面との距離に応じて VCM が駆動され、平面に指が接地すると VCM は実際の指に接触を開始する．この状態で指を横に動かすと DC モータが駆動され、移動方向とは逆向きにフィルムが並進運動を開始し、指先に皮膚変形を与える．以上の仕組みにより、ユーザはバーチャルな平面からの摩擦感を感じることが出来る (Fig.5).

今回のシステムにおける前報[11][12]からの改善点は次のとおりである．第一に位置検出に関して従来の PC に接続するセンシングシステムではなくマイコンのみを用いるので、計測—制御ループを 10kHz 以上にすることが出来る．本計測原理は板による風センシング等に利用されているが[13]、空中で用いる触覚ディスプレイで利用することで制御ループを早めたのは我々の知る限り初めてである．第二に DC モータを使用しているため、以前の施策で用いたリニアサーボよりも応答性に優れている．第三にフィルムを使用することにより VCM および DC モータはフィルムのみ駆動できるため非常に軽く、高速な応答が可能である．フィルムを DC モータ等で巻き取るポータブルデバイスはすでにいくつか提案されているが[1][14]、フィルムの裏側から VCM で「叩く」ことで皮膚の水平・垂直変位と共に高周波振動呈示も行っている例は我々の知るかぎり初めてである．

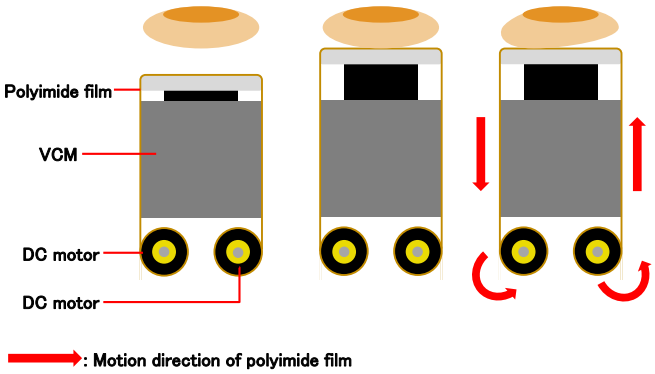

Fig.5 Principle of vertical and horizontal tactile presentation.
(Left) No touch condition (Center) Touch condition
(Right) Presentation of skin deformation

３．位置検出精度検証

前章でも述べたように、本提案システムでは位置センシングに再帰性反射材とフォトリフレクタを用いることで制御ループの高速化を行っている．ここでは本位置センシング手法の精度を検証する実験を行った．

まずデバイスを箱の左端地点にとどめ、その際の左右のフォトリフレクタから出力される電圧値の差分を 10 回記録した．その後デバイスを 1cm ずつ右に動かし、同様に値を記録した．

結果を Fig.6 に示す．横軸はデバイスの移動距離、縦軸は電圧値の差分、エラーバーは各計測位置における最大誤差を表す．箱の中ではデバイスが横方向において 28.6cm の範囲で操作可能であったため、移動距離は 28cm を最大とした．各計測地点においてすべてのデータ点が±0.015V の範囲内に収まっており、距離に換算すると中央付近で約 0.8mm、両端では約 0.4mm の誤差であることを確認した．よってこのセンシング方式により、1mm 以下の誤差範囲内での距離の算出が可能であると考えられ、この精度は皮膚変形および遭遇型呈示を実現するために十分であるといえる．

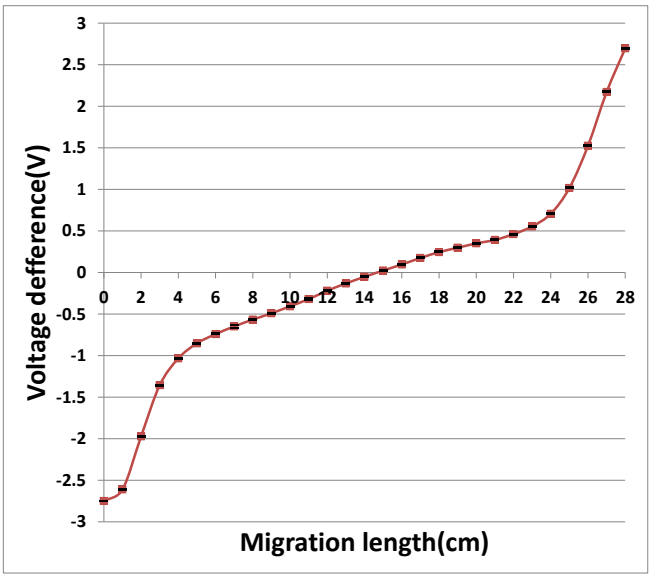

Fig.6 The result of experiment

4．結言

本稿では高品位な摩擦感呈示を行うことを目指し、指先へ装着する遭遇型触覚呈示デバイスについて述べた．今後はデバイスによる触感の再生だけではなく記録も行うことのできる機構を検討していく．また、デバイスに用いている VCM は上下運動だけではなく、数百 Hz の高周波成分も呈示することが可能であるため、様々な素材の平面をなぞった際の振動、つまりテクスチャ感の再現や、振動と遭遇型呈示、皮膚変形を組み合わせた stick-slip 現象の再現などを行っていく．

参考文献

[1]. Minamizawa, K.., Fukamachi, S., Kajimoto, H., Kawakami, N., and Tachi S., “Gravity Grabber: Wearable Haptic Display to present Virtual Mass Sensation”, ACM SIGGRAPH, p.8, 2007

[2]. Solazzi, M., Provancher, WR., Frisoli, A., and Bergamasco, M., “Design of a SMA Actuated 2 DoF Tactile Device for Displaying Tangential Skin Deformation”, IEEE World Haptics Conference, pp31-36, 2011

[3]. CyberTouch http://cybertouch.com/index.html

[4]. 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

[5]. 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

[6]. HEF/CETIM:摩擦と摩耗のマニュアル，泰山堂(1999)

[7]. Yokokohji, Y., Kinoshita, J., and Yoshikawa, T., "Path Planning for Encountered-type Haptic Devices that Render Multiple Objects in 3D Space," Proc. IEEE VR2001, pp.271-278, 2001

[8]. Tachi, S., Maeda, T., Hirata, R., and Hoshino, H., “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

[9]. 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

[10]. Sylvester, Nicholas, D., Provancher, William, R., “Effects of Lomgitudinal Skin Strech on the Perception of Friction,” IEEE World Haptics Conference, pp.373-378, 2007

[11]. 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

[12]. 西村奈令大，Daniel Leonardis, Massimiliano Solazzi, Antonio Frisoli, 梶本裕之，“高品位な摩擦感呈示のための遭遇型触覚提示デバイス”，第18回日本バーチャルリアリティ学会大会, , 2013

[13]. Sawada, E., Ida, S., Awaji, T., Morishita, K., Aruga, T., Takeichi, R., and Inami, M.. “BYU-BYU-View: a wind communication interface”. ACM SIGGRAPH 2007 emerging technologies, ACM, p.1, 2007

[14]. Kimura, F., and Yamamoto, A., “Rendering Variable-Sized Lump Sensations on a Softness Tactile Display”, IEEE World Haptics Conference, pp97-102, 2013