



ピンアレイ触力覚ディスプレイを用いた 細かな皮膚変形による接線方向への圧覚提示

谷口登章¹⁾, 櫻井翔¹⁾, 野嶋琢也¹⁾, 広田光一¹⁾

1) 電気通信大学 情報理工学研究所 情報学専攻 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1,
{takaaki16, sho, hirota}@vogue.is.ucc.ac.jp, tnojima@nojilab.org)

概要: 近年数多くの触力覚ディスプレイが開発されており, 皮膚を剪断変形させることで横滑りの感覚や摩擦感を提示するデバイスの開発もなされている. しかし, これらのデバイスは皮膚全体に対して横ずれを起こしているため, 局所的な皮膚変形を起こすことができない. そこで本研究では, ピンアレイ触力覚ディスプレイにおいて, ピンを斜め方向に配置することで, より局所的な接線方向への皮膚変形を生じさせる手法を提案する. また, 提案した手法を元にデバイスを作成し, 方向知覚についての実験を行い, デバイスの性能を評価する.

キーワード: ピンアレイ方式, 触覚ディスプレイ, 剪断皮膚変形, 圧覚提示

1. 背景・目的

近年, 現実の触感覚を再現するために様々なタイプの触力覚デバイスが開発されている[1][2][3]. 近年は, 軽量化や小型化, 使用者の負担の軽減を考慮し, 提示範囲を指先に限定したする傾向が強い[4][5]. その中でも, ピンアレイ方式の触力覚デバイスは刺激密度の高さから, より局所的な触力覚刺激の再現が可能である[6][7]. しかし, これらのピンアレイ触力覚デバイスはピンを押し出して圧覚を提示しているだけであり, 皮膚に対して法線方向の力の提示には優れているが, 接線方向の力を出力できないという問題点がある. 一方, 指先への接線方向の触力覚提示デバイスも開発されており[8][9][10], 仕様用途やアプリケーションに応じたデバイスの使い分けがされているのが現状と言える. これらのデバイスは, 接線方向に対しての提示に優れているが, 指の腹に対して面を押し当てて皮膚全体を剪断変形させているため, ピンアレイの様な局所的な皮膚の変形は再現することができない. しかし, 物を持つ, 操作するなどの際の皮膚変形は全体が一方向に剪断変形するだけでなく, 部分部分で様々な変形がなされている. そのため, これらの感覚を再現するためには, より局所的な剪断変形を皮膚に対して行う手法が必要と考える.

本研究ではピンアレイ触力覚ディスプレイを用いることで指先に対して高い刺激密度を実現しつつ, 接線方向への圧覚提示をおこない, 皮膚を局所的に変形させることが可能な触力覚ディスプレイを開発した. また, 開発したデバイスを

Takaaki TANIGUCHI, Sho SAKURAI, Takuya NOJIMA and Koichi HIROTA

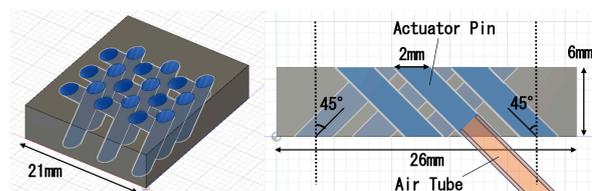


図 1. 駆動システム

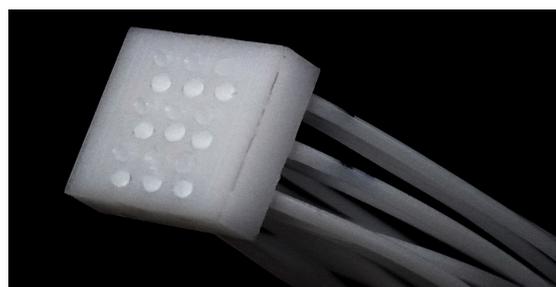


図 2. デバイス実装

用いて, 接線方向に提示される力ベクトルがどの程度表現可能かについての実験を行い, デバイスの性能を評価した.

2. デバイスとシステム

2.1 デバイス

デバイスの内部構造を図 1 に, 外形を図 2 に示す. デバイスはピンアレイを内蔵しており, 18 個のアクチュエーターピン(以下ピン)を持つ. 18 点の内 9 点は左に 45°, 残りの 9 点は右に 45° 傾いている. 左右それぞれに傾いたピンは交差するように配置され, 空気チューブを通して空

気圧を出力することでピストンのように駆動し、皮膚を剪断変形させる。ピンと空気チューブの直径は2mmであり、デバイスを使用する際は上面に指の腹を押し当て、指の上からテープを被せて固定する。

2.2 駆動システム

デバイス駆動システムの概要を図3に示す。本システムは Okano らによって提案されたシステムの一部を用いている[11]。コンプレッサを用いてエアタンクに圧縮空気を格納し、電空レギュレーターによって空気チューブを介してデバイスに空気圧を出力することで、アクチュエータピンを押し出す。押し出されたピンが皮膚を圧迫することで圧覚を提示する。

3. 評価実験

デバイスによる接線方向の圧覚提示によって接線方向への力が知覚されるかを評価するために評価実験を行なった。

3.1 実験手順

被験者はデバイスを右手の親指に装着した状態で椅子に座る。この状態でまず、カベクトルが指に対して、垂直方向になるように調節した刺激を標準刺激として提示し、その刺激の感覚を覚えてもらった。その後、ノイズキャンセリング機能付きのヘッドフォンを装着し、ホワイトノイズを流し、環境音を遮断した状態で評価刺激を提示した。評価刺激としては標準刺激に対して、図4の様にカベクトルの方向を左右に 5° ずつ、それぞれ 45° まで変化させた刺激をランダムに提示した。その上で、評価刺激が被験者の指先の向きに対して、「右寄り」か「左寄り」かの2択で回答させた。この際、各試行毎に評価刺激を行う前に標準刺激の提示を行った。

被験者は、右に 45° ($+45^\circ$)から左に 45° (-45°)までの 5° 刻みの18種類の角度について、それぞれ5回ずつの計90回の刺激を評価した。各刺激のカベクトルの総和は一定して1Nになる様に調整され、評価刺激は順序効果を排除するためにラテン方格法を用いてランダムな順序で提示された。

本実験においては被験者の回答を記録した。提示刺激のカベクトルの角度が 0° から傾くほど方向の知覚が容易になるため、角度が左に寄るほど「左寄り」と答える割合が増え、右に寄るほど「右寄り」と答える割合が考えられる。

被験者は22~26歳の男女8名(男性6名、女性2名)であった。

3.2 実験結果

被験者の回答の平均値を図5に示す。予想された通り、被験者の回答には角度が右に傾いていくにつれて、右の回答が増加する傾向が見られた。しかし同時に、標準誤差が大きく、被験者ごとの回答にばらつきが大きかったことも分かる。

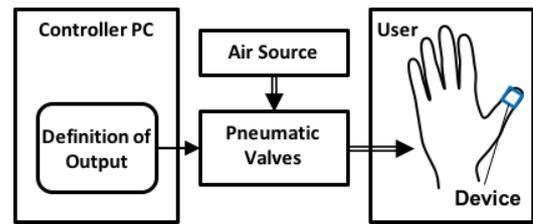


図3. 駆動システム

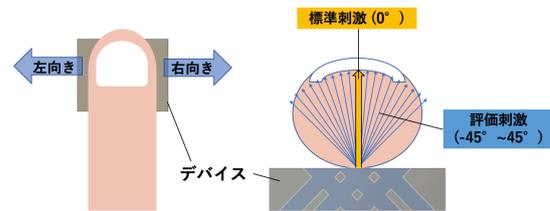


図4. 提示刺激と回答方向

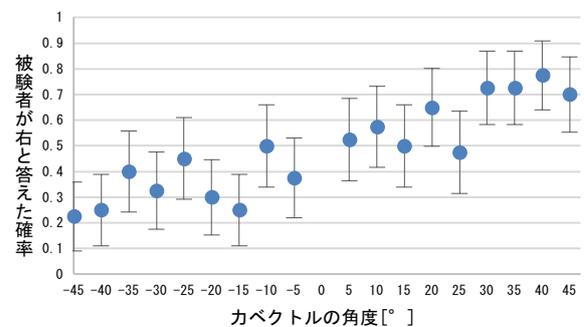


図5. 被験者の回答平均

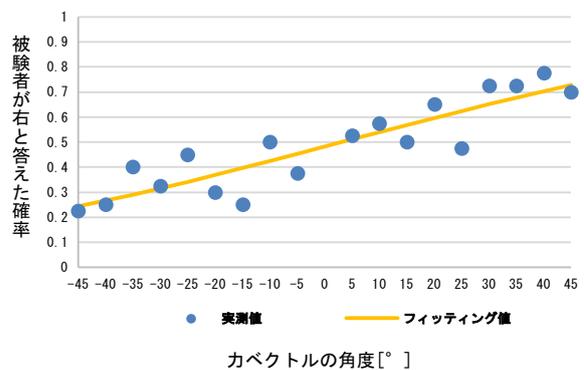


図6. 正規累積分布関数による最小二乗フィッティング

被験者の主観的等価点と明瞭に角度の違いを認識するための弁別閾を調査するために、正規累積分布関数を用いた最小二乗フィッティングを行った。その結果を図6に示す。「標準刺激に等しい」と平均して判断された評価刺激の値を表す主観的等価点は 3.1° であった。上弁別閾と下弁別閾の大きさの差で表す不確定帯(IU)は 86.6° であった。また、「判断回数50%の信頼率で弁別される2刺激間の最小差異」を表す丁度可知差異(JND)は 43.3° であった。

3.2.1 考察

被験者の回答にばらつきが見られた要因として、指へのデバイスの固定方法が適切でなかった事が考えられる。本実験ではデバイスを被験者の指の腹に押し当て、上からテープを用いて固定したが、被験者から「締め付けが強すぎて分かりづらかった」、「締め付けが弱い」など異なる意見が上がっている事から、固定の際の指の傾きや固定位置に差異が生じた可能性がある。また、デバイスの仕様上、駆動中は常にピンと穴の隙間から空気が漏れるため、テープの位置や締め付けに変化が生じた事も考えられる。

また、JND が提示可能な角度の限界である 45° に近い値を示していることから、角度の弁別閾が大きくなっている事が分かる。この要因の一つとして、皮膚とピンの間の摩擦が十分でなかった事が考えられる。現在、デバイスに搭載されているピンの上下動が空気圧を利用してスムーズに行える様に、表面が滑らかなプラスチックを用いている。皮膚との接触面も同様の材質であるため、皮膚とピンとの間の摩擦が十分でなく、接線方向への皮膚変形が十分に生起されなかった可能性がある。

4. 結論・展望

本研究では、ピンアレイ型触覚ディスプレイを用いて、皮膚を局所的に剪断変形させ、接線方向の力を提示する手法の提案と、手法に基づくデバイスの開発を行った。デバイスを用いた評価実験では、刺激の角度が変わるにつれて被験者の回答も偏る傾向が見られたが、JND が 43.3° であり、角度についての弁別閾が大きくなっている。

今後は、デバイスに内蔵されたピンと皮膚との間の摩擦を増加させる事で、弁別閾を縮められる様にデバイスの改良を検討している。そのための具体的な手法として、ピンの先端に摩擦の大きなゴムの様なパットを取り付けることを検討している。

参考文献

- [1] T. Taniguchi, S. Sakurai, T. Nojima, K. Hirota: Multi-Point Pressure Sensation Display using Pneumatic Actuators. Euroaptics2018, June 13-16, 2018, Pisa, Italy.
- [2] CyberGloveSystems.
<http://www.cyberglovesystems.com/cybergasp>. Accessed 24 Jan 2018.
- [3] K. Tanabe, S. Takei, H. Kajimoto: The Whole Hand Haptic Glove Using Numerous Linear Resonant Actuators, IEEE World Haptic Conference 2015, June 22-25, 2015, Northwestern University, Eanston, Illinois.
- [4] M. Gabardi, M. Solazzi, D. Leonardis, and A. Frisoli; A new wearable fingertip haptic interface for the rendering of virtual shapes and surface features. In Proceedings. IEEE Haptic Symposium, 2016, pp. 140-146.
- [5] F. Chinello, M. Malvezzi, C. Pacchierotti, and D. Prattichizzo: Design and Development of a 3RRS Wearable Fingertip Cutaneous Device. In Proceeding. IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, 2015, pp.293-298.
- [6] Kim, S.-C., Kim, C.-H., Yang, T.-H., Han, B.-k., Kang, S.-C., Kwon, D.-S.: Small and Lightweight Tactile Display(SaLT) and Its Application. In: Proceeding WorldHaptics, pp.69-74 (2009)
- [7] I. Sarakoglou, N.Tsagarakis, D.G. Caldwell: A Portable Fingertip Tactile Feedback Array Transmission System Reality and Modelling. In Proceedings of World Haptics Conference 2005. Pisa. Italy.
- [8] K. Minamizawa, S. Fukamachi, H. Kajimoto, N. Kawakami, S. Tachi: Gravity Grabber: Wearable Haptic Display to present Virtual Mass Sensation, ACM SIGGRAPH 2007 emerging technologies Article No.8, 2007.
- [9] G. Inabe, K. Fujita: A Pseudo-Force-Feedback Device by Fingertip Tightening for Multi-Finger Object Manipulation. In Proceedings of EuroHaptics2006 Conference. Paris, France, 275-278.
- [10] Samuel B. Schorr, Allison M. Okamura: Fingertip Tactile Devices for Virtual Object manipulation and Exploration, CHI 2017, May 6-11, 2017, Denver, CO, USA.
- [11] T. Okano, K. Hirota, T. Nojima, M. Kitazaki, Y. Ikei: Haptic Feedback for Foot Sole Using Pneumatic Pressure Device. In Proceeding. ASIAHAPTICS2016, 3-6, 2016.3.