

# 電気刺激を用いた滑り感提示における方向特性

Directional Characteristic of Fingertip Slip Illusion with an Electrocutaneous Display

岡部浩之<sup>1)</sup>, 蜂須拓<sup>1) 2)</sup>, 佐藤未知<sup>1) 2)</sup>, 福嶋政期<sup>1) 2)</sup>, 梶本裕之<sup>1) 3)</sup>

Hiroyuki OKABE, Taku HACHISU, Michi SATO, Shogo FUKUSHIMA and Hiroyuki KAJIMOTO

1) 電気通信大学

(〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {h.okabe, hachisu, michi, shogo, kajimoto}@kaji-lab.jp)

2) 日本学術振興会特別研究員 3) 科学技術振興機構さきがけ

**Abstract:** In recent years, touch panel has become widespread as a method of intuitive operation. Since the touch panel has a space on which a finger and a corresponding cursor move, it is intuitive, contrary to the force input type device such as pointing stick. If we can add an illusory feeling of finger motion with the force input interface, it will be more intuitive. We have found a new haptic illusion of “motion”, which occurs when electrical tactile flow is presented at the fingertip, while a shearing force is also applied to the fingertip. We have also investigated the occurrence conditions, focusing on the relation between horizontal force and movement speed of electrical tactile stimulation. In this paper, we investigate directional characteristic focusing on the illusory position of the finger perceived using a new electrocutaneous display mounted on a six axis force sensor.

**Key Words:** *Electrocutaneous display, haptic illusion, slip sensation, input interface.*

## 1. はじめに

現在、PC やスマートフォンの直感的な入力手法としてタッチパッドやタッチパネルなどのタッチ型の入力インタフェースが利用されている。これらの入力インタフェースは十分に指を動かせる範囲があり、カーソルの移動と指が移動する触覚とが一致しているので直感的な操作が可能だと考えられる。しかし、直感的操作という利点は入力インタフェースの設置面積に依存し、直感性を保ったまま小型化することが難しいというトレードオフが存在する。我々は、もし小面積の入力インタフェースにタッチパネル上を移動するような指が移動する感覚を付加することが出来れば、小面積かつ直感的操作が可能で入力インタフェースが実現可能だと考えた。

そこで指を移動する感覚の提示手法として、我々が発見した錯触に着目した[1][2][3]。この錯触は、皮膚感覚上の運動を与えると指は動いていないにも関わらず自身の指が移動していくように知覚されるというものである。この錯触を小面積の入力インタフェースに用いることで、小面積かつ指の移動感が付加された直感的操作が可能で入力インタフェースが実現できると考えた。

本稿では、6 軸力センサを搭載した新たな電気刺激装置を用い、本錯触が生じた際に知覚される指の位置を回答させることで、指先の力の方向と移動する電気刺激の方向

特性を調べ、入力インタフェースへの応用を検討する。

## 2. 先行研究

### 2.1 タッチ型入力インタフェース

タッチ型の入力インタフェースの小面積化に関する先行研究として、池田ら是指紋センサを用いた指紋変形によってポインタを操作するポインティングデバイスを提案している[4]。提案されたデバイスのセンシング面は15×15[mm]程度でありながら従来のタッチパッドと同等の操作性能を示しており、タッチパッドの小面積化は十分に可能だと考えられる。しかし、GUI 環境での操作性能に着目しており、タッチパッドを使用する際の操作感の向上は目的とされていない。

Harrison らは大型のタッチパネルの下に可動部を設けることで、従来のタッチパネルにポインティングスティックを使用する感覚を付加している[5]。これにより、物理的に押しこむ動作が可能となり従来のタッチパネルのシングルタッチでは不可能だったドラッグなどの操作が可能となる。また、Tsuchiya らの Vib-Touch はポインティングスティックに振動を付加することで、小面積でありながらカーソルで把持した物体の滑りや粘性などを知覚させる錯覚を実現している[6][7]。これらの研究は、ある入力インタフェースに触力覚を加えることで異なる特性をもつイン

タフェースのように振舞わせている。我々は同様に、ポインティングスティックにタッチパッド操作時の指が移動する感覚を付加することで、小面積かつ直感的操作が可能な入力インタフェースが実現出来ると考えた。

## 2.2 指の自己運動感

Pasquero らは、指腹に移動する皮膚感覚を提示することで、指の移動感を誇張しスクロールタスクにおけるタスク完了時間を短縮出来ることを示した[8]。このことから、指腹に移動する皮膚感覚を提示することで指の移動感が提示出来ると示唆されている。

一方で、指の移動量の知覚[9]、指や肘の屈伸知覚[10]、手の回転知覚[11]などの自身が動いていくように感じる自己運動感に関しては、共通して皮膚感覚のみでも提示可能だが、固有受容感覚を付加することでより強くなることが示されている。つまり、我々が提示したいタッチパネル上を移動するような指の自己運動感は、指の移動時に生じる皮膚感覚と固有受容感覚を提示することで提示できると考えられる。

以上の考察を元に、我々は自身の指が移動していく感覚を錯覚させる新たな錯覚を発見した。本錯覚は、指腹を接触させた状態で指を動かそうとする力の方向とは逆の方向に移動する電気刺激を提示すると、指は動いていないにも関わらず自身の指が移動していくように知覚されるというものである(図 1)。

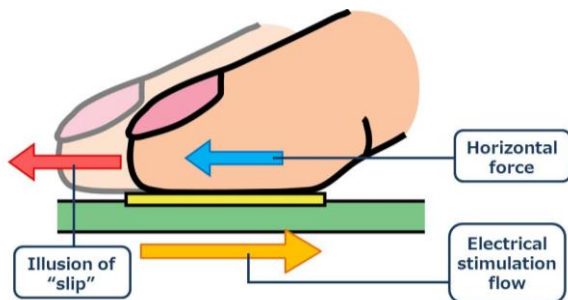


図 1 指の移動錯覚

本錯覚は、一定の移動速度で提示される電気刺激の線に対し、水平方向の力を増加させていくと、本来指の滑りを知覚する水平方向の力に満たずとも指の移動が知覚されるといものである。また、指先を上方向とする上下左右の方向で錯覚が生じることも確認されている。本稿では、指の移動がどの程度錯覚しているのかを定量的に評価する。

## 3. 実験

指の移動感が錯覚される際の錯覚の強度を定量的に評価するための実験を行った。

### 3.1 実験装置

指に皮膚刺激を提示する装置として我々が開発している電気触覚ディスプレイを用いた[12](図 2)。本触覚ディスプレイは指が接触する部分に 61 個の電極が 2.0mm 間隔で配置されている。移動する触覚パタンの形状は線状とし

た(図 3)。被験者は実験前に触覚の強度(電流値)を 0.0-5.0mA の間で触覚が明瞭に感じられるように調整し、実験中はその値を用いた。

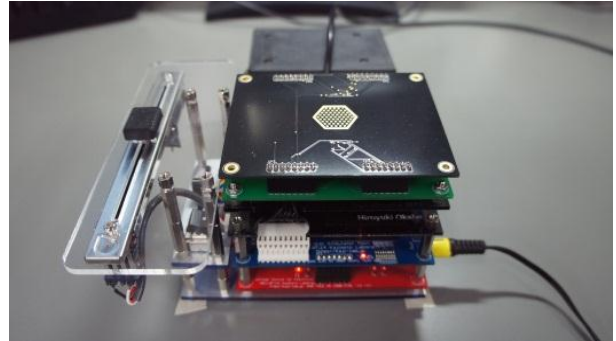


図 2 実験で用いた電気触覚ディスプレイ

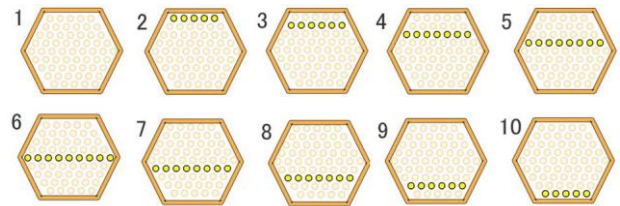


図 3 移動する電気刺激の線(負方向)

指先にかかる力の計測には、ひずみゲージ式 6 軸力センサ(ニッタ製, TFS12-10)を用いた。圧力センサは電極の約 20mm 直下に配置され、装置を押し付ける垂直方向の力と水平方向の力を計測した(図 4)。

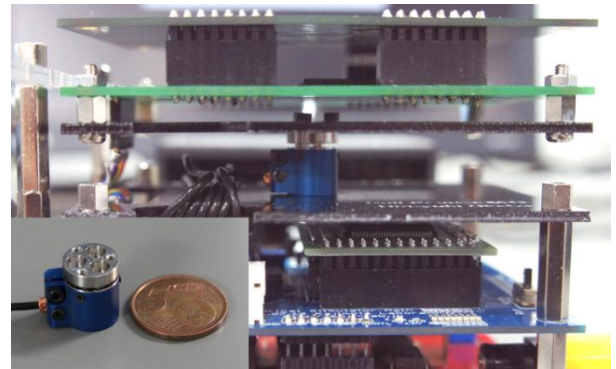


図 4 6 軸力センサ配置

### 3.2 実験条件

実験は 4 名(男性 2 名(実験者を含む)、女性 2 名、21-25 歳)の被験者に対して行った。電気刺激は陽極刺激のパルス波形でおこない、刺激パルス周期 50Hz、刺激パルス幅 50 $\mu$ s、刺激パルス高さは被験者が設定した 0.0-5.0mA の値で提示した。

回答は装置左に設置したスライドポテンショメータで行った。被験者は右手に電気刺激を提示され、指が移動したと感じた場合に左右の指が同じ位置になるように電気触覚ディスプレイ左側のスライダを上下させた(図 5)。

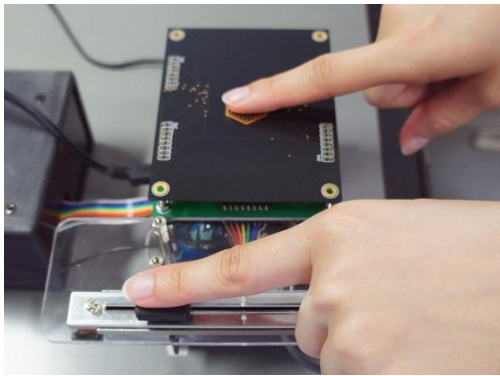


図 5 スライダを用いた指位置の回答

提示した電気刺激の移動は、速度 2 パタン(10.0mm/sec, 20.0mm/sec)と移動方向 2 パタン(指先方向を正とする正方向, 負方向)の組み合わせからなる 4 パタンである。これに対し、指を歪ませる力は試行中一定に保つように指示し Low (0.0-1.0N で保つ)条件と High(1.0-2.0N で保つ)条件の 2 パタンと正負方向の組み合わせで 4 パタン提示した。電気刺激と指先の力の組み合わせ  $4 \times 4 = 16$  条件をランダムで提示し、各条件 4 回合計 64 試行を回答させた(表 1)。

表 1 実験条件の組み合わせ

総移動距離[mm]		電気刺激の移動速度[mm/sec]			
		-20	-10	+10	+20
指先の力の方向	+ High				
	+ Low				
	- Low				
	- High				

### 3.3 実験手順

まず被験者に 10mm/sec と 20mm/sec で移動する電気刺激の線を提示し、線を明瞭に知覚出来る電気刺激の強度を求めた。次に、指先の装置への押し付け力を統一するために電子はかりを用い 1.0-3.0N で保つ訓練を行った。この値はタッチ型入力インタフェースを操作する際に指にかかる垂直方向の力を想定している。

試行中は、手元が見えないようにカバーで覆い、視覚的手がかりを排除した。被験者は図 6 のようなカラーバーを見た状態で実験を行った。緑色は Low, 青色は High の条件を意味し、被験者には「(正 or 負)方向に(青 or 緑)色になるように水平方向の力を維持して下さい」と指示した。水平方向の力が落ち着いた後、実験者が記録ボタンを押すとスライダの位置の記録が始まるとともに、右指に電気刺激の移動が提示された。記録ボタンを押してから 1.0s から 11.0s までの 10.0s 間の指の移動を記録した。試行は全てランダムに提示された。

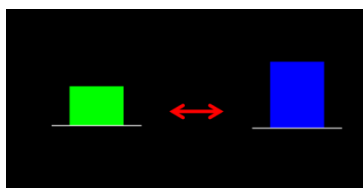


図 6 水平方向の力を示すカラーバー

## 4. 実験結果

実験結果を表 2, 標準偏差を表 3 に示す。各セルは記録ボタンを押してから 11.0s のスライダ位置から 1.0s のスライダ位置を引いた値を総移動距離としてまとめたものである。正方向に移動したセルを赤色で、負方向に移動したセルを青色で示す。色の濃さは移動量の大きさを表す。

表 2 総移動距離の平均

総移動距離[mm]		電気刺激の移動速度[mm/sec]			
		-20	-10	+10	+20
指先の力の方向	+ High	6.48	6.54	5.09	10.13
	+ Low	6.51	5.01	3.61	8.09
	- Low	-6.51	-6.42	-6.94	-7.38
	- High	-7.84	-5.59	-8.68	-8.64

表 3 総移動距離の標準偏差

総移動距離[mm]		電気刺激の移動速度[mm/sec]			
		-20	-10	+10	+20
指先の力の方向	+ High	7.51	7.39	5.81	9.19
	+ Low	5.21	6.50	5.80	7.72
	- Low	5.29	5.92	5.24	5.33
	- High	5.87	4.85	6.69	6.89

横軸に電気刺激の移動速度、縦軸に総移動距離をとったグラフを図 7, 図 8 に示す。

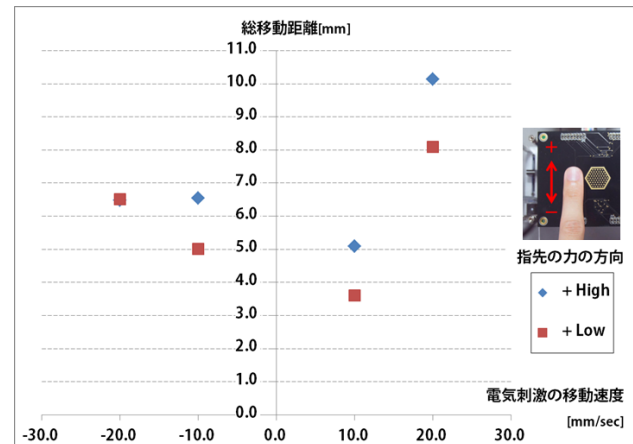


図 7 正方向に力を加えた際の総移動距離

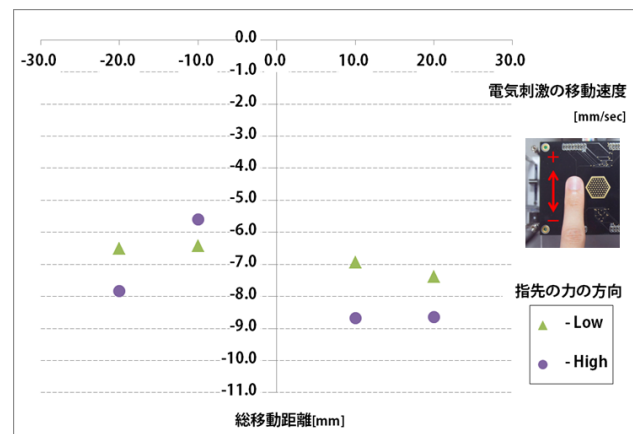


図 8 負方向に力を加えた際の総移動距離

## 5. 考察

実験結果より、指が移動していくように錯覚される場合は、必ず力を加えた方向に錯覚が生起していることが明らかになった(図 7 ではすべての結果が正方向, 図 8 ではすべての結果が負方向の移動である)。この結果は、2.2 節で紹介した先行研究同様に、自己運動感の知覚において固有受容感覚が皮膚感覚よりも優位に働いていることとも合致する。また、知覚される滑り感は提示された電気刺激の移動速度によって変化することが分かった。しかし、必ずしも速度が大きければ移動量が大きくなるとは限らず逆転している箇所もあり、今後より詳細に調べる必要がある。

我々は、指が移動している様に錯覚させるためには、指先の力と対抗する方向に移動する電気刺激の提示が必要と考えていたが、矛盾条件(例えば、正方向に力を加えた際の正方向へ移動する電気刺激)であっても滑りは知覚され、知覚された移動量も決して小さくはなかった。内観報告からも、矛盾条件で刺激された場合に、指が滑っていく方向と触覚が噛み合わない不思議な感じがするといった意見や、力をかけた方向に電気刺激の移動によって押されていった感じがしたなどの意見があった。つまり、固有受容感覚が優位に働く条件のもとでは、指の滑り感を様々な方法で解釈している可能性が考えられる。今後は、この可能性を検証するために、ランダムな電気刺激や、全く電気刺激を提示しない条件と比較していく。

入力インタフェースへの応用を考えると、等速で移動する電気刺激ではタッチパネル上を動くような指の動きを提示するには不十分だと考えられる。今後は、指先の力によって方向や速度が変化する電気刺激を提示することで、さらなる滑り感を生起させるとともに、任意の方向、任意の速度で指が移動するように知覚されることを目指す。

## 6. 終わりに

本稿では、小面積かつ直感的操作が可能な入力インタフェースを実現するために、指が動いていないにも関わらず、移動していくように錯覚する我々が発見した錯触に着目した。本稿では、指の移動感が錯覚される際の錯覚の強度を定量的に評価するための実験を行った。その結果、指の滑り感は力をかけた方向に生起し、移動量は電気刺激の移動速度によって変化することが分かった。今後は、さらなる錯触の生起条件を解明すると共に、ポインティングデバイスへの応用を試みる。

### 参考文献

- [1] 岡部浩之, 大原淳, 蜂須拓, 古川正紘, 福嶋政期, 梶本裕之. 電気触覚ディスプレイを用いた指先への滑り錯覚の提示日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2010.
- [2] 岡部浩之, 大原淳, 蜂須拓, 古川正紘, 福嶋政期, 梶本裕之. 電気刺激を用いた指先への滑り感提示, 日本バーチャルリアリティ学会研究報告(力触覚の提示と計算研究会), Vol. 1, pp. 41-44, 2010.
- [3] Hiroyuki Okabe, Shogo Fukushima, Michi Sato, Hiroyuuki Kajimoto, Fingertip Slip Illusion with an Electrocutaneous Display, The 21st International Conference on Artificial Reality and Telexistenc, November 28-30, 2011.
- [4] 池田 篤俊, 栗田 雄一, 上田 淳, 小笠原 司. 初期滑り時の指紋変形を利用した小型ポインティングデバイスの開発, 情報処理学会論文誌, Vol. 45, No. 7, pp. 1769-1778, 2004.
- [5] Harrison, C., and Hudson, S. E., Using Shear as a Supplemental Two-Dimensional Input Channel for Rich Touchscreen Interaction. In Proceedings of the 30th Annual SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (Austin, Texas, May 5 - 10, 2012). CHI '12. ACM, New York, NY. 3149-3152.
- [6] Sho Tsuchiya, Masashi Konyo, Hiroshi Yamada, Takahiro Yamauchi, Shogo Okamoto and Satoshi Tadokoro, Vib-Touch: Virtual Active Touch Interface for Handheld Devices, 18<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, pp. 12-17, 2009.
- [7] Sho Tsuchiya, Masashi Konyo, Hiroshi Yamada, Takahiro Yamauchi, Shogo Okamoto and Satoshi Tadokoro, Virtual Active Touch II: Vibrotactile Representation of Friction and a New Approach to Surface Shape Display, Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 3184-3189, 2009.
- [8] Jerome Pasquero and Vincent Hayward, Tactile Feedback Can Assist Vision During Mobile Interactions, Proc. 2011 Annual Conference on Human Factors in Computing Systems, Vancouver, BC, Canada, 2011.
- [9] Bergmann Tiest, W.M., van der Hoff, L.M., Kappers, A.M.: Cutaneous and kinaesthetic perception of traversed distance. In: Proceedings of the IEEE World Haptics Conference, pp. 593-597, 2011.
- [10] D. F. Collins, K. M. Refshauge, G. Todd, S. C. Gandevia, Cutaneous Receptors Contribute to Kinesthesia at the Index Finger, Elbow, and Knee, Journal of Neurophysiology, Sep 1, 2005.
- [11] Caroline Blanchard, Régine Roll, Jean-Pierre Roll, Anne Kavounoudias, Combined contribution of tactile and proprioceptive feedback to hand movement perception, Brain Research, Volume 1382, Pages 219-229, 25 March 2011.
- [12] Hiroyuki Kajimoto, Electro-tactile Display with Real-time Impedance Feedback, EuroHaptics 2010, pp. 285-291, 2010