



# 振動摩擦感提示による指の誘導手法の検討

小林優人<sup>1)</sup>, 設楽幸寛<sup>1)</sup>, 金子征太郎<sup>1)</sup>, 梶本裕之<sup>1)</sup>

1) 電気通信大学 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {kobayashi, shitara, kaneko, kajimoto}@kaji-lab.jp)

**概要**: 物体に特定の振動を与えることにより, 物体表面の摩擦感が増加することが知られている. 本研究は指の動きに合わせてタッチパッド表面の摩擦感を増加させることで, 指を特定の方向にナビゲーションすることを目的とする. 本稿では振動摩擦感提示を用いた指の誘導手法, 及びその予備的な実験の結果について報告する.

**キーワード**: タッチパッド, 振動摩擦感, 異方性摩擦感, 誘導

## 1. はじめに

近年, 従来のマウス操作に比べて直観的な操作が可能なタッチパッドやタッチパネルの搭載されたデバイスが普及している. しかし, これらのデバイスにはクリック感などの触覚フィードバックが欠如しており操作ミスに繋がることが先行研究により知られている [1] [2]. この問題を解決するためにタッチデバイスにおける指先への触覚提示手法が多く提案されてきた. 例えば Fukumoto らの ActiveClick [3]は振動子を用いてタッチパネル全体を振動させることでアイコン押下時のクリック感の提示を実現した.

また, これらのタッチデバイスにクリック感のみならず摩擦感を提示する手法も複数提案されている. なお摩擦感という言葉は, 狭義には接触面水平方向の摩擦による抵抗力 (Friction) に起因する感覚と考えられるが, ここでは指を動かした際に生じる振動に起因するいわゆるテクスチャ感 (Roughness) も, 摩擦力の高い平面を想起させるという意味で摩擦感と呼ぶことにする. また特に後者を振動摩擦感と呼ぶことにする.

摩擦力を提示する方法として静電気力による吸着 [4] [5] や超音波振動によるスクイーズ効果 [6] [7] [8]を用いた方法が知られている. またこれらの手法を用いて摩擦力を高速に変動させることで, 振動に起因する摩擦感を生起させるテクスチャ面の表現も行われている. saga らの 2.5D Display は指にタッチパネル水平方向の力を加える事で凹凸形状を提示し, さらに力とは垂直な方向に振動を加えることによって振動摩擦によるテクスチャ感の表現を行った [9][10]. また Okamoto らは振動提示によって対象物体の Roughness を改変する提案を行っている [11]

これらの提案に共通しているのは, 振動摩擦感を提示するに際して, 指の動きに対して等方性の振動を提示してい

るという点である (ここで等方性とは, 指の動く方向に依存せずに速度の絶対値に依存して振動パラメータを決定することを意味する). このため, 提示される振動摩擦感には「ある場所は摩擦があり, ある場所は無い」という空間的な (すなわち指の座標に依存した) 情報を提示するに留まっている.

一方で現在, タッチデバイス用の様々なアプリケーションの中には, 操作している指が特定の方向へ移動することを求めるものがある. この場合, 振動摩擦感提示は, ある「方向」には進みやすく, ある「方向」には進みにくいという, 指の速度ベクトル依存の提示が行われることが望ましいと考えられる.

本研究ではこのような進行方向に依存した摩擦感の提示方法を異方性摩擦感制御とよび, 異方性摩擦感制御によって指を任意の方向にナビゲーションする手法を提案する. 本手法では, タッチパッド上で指を動かす際に摩擦感が提示されることで, 物理的ないしは心理的に指を動かすににくいという状況を作り出し, 摩擦感による抵抗がない方向に指を誘導させることを目指す.

本稿では振動摩擦感提示を用いた指の誘導手法, 及びその予備的な実験の結果について報告する.

## 2. 関連研究

指の誘導や牽引を目的としたデバイスは複数提案されている. Ho らによる The Slip-pad [12]ではベルトの回転を利用し指にせん断力を与えることで方向を提示するデバイスを提案していた. Mullenbach らは横方向のせん断力と静電気吸着を同期して高速に行うことで, 指を移動させることに成功した [13]. しかし, 今回の研究のように摩擦感の変化による誘導は, 筆者らの知る限り研究されていない.

### 3. 提案システム

#### 3.1 実験デバイス

本研究では指の動きに合わせてタッチパッド表面上の摩擦感が増えるタッチパッド型デバイスを提案する(図 1). デバイスはタッチパッド本体(ペリックス PERIPAD-501), オーディオスピーカ(AURASOUND NSW 1-205-8A(2)), 振幅制御基板, マイクロコントローラ(Arduino UNO), オーディオアンプ(MUSE M50)で構成されており, Processing を用いて作成したソフトウェアを介して動作する. スピーカ駆動部分にはアタッチメントが接着されており, スピーカの振動がアタッチメントを通してタッチパッドに伝わり振動する. 振幅の大きさは指の動きに応じて制御されスピーカに伝わる. 本デバイスでは指の動作から摩擦力の提示までは約 50msec の遅延があることを事前の計測により確認している.

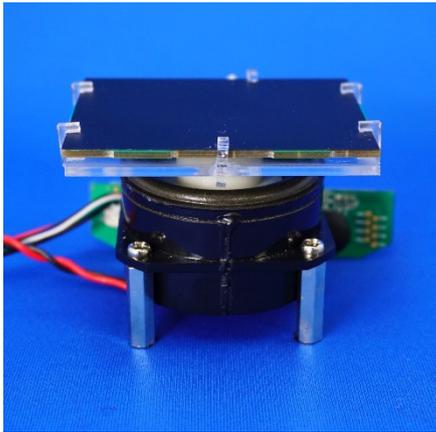


図 1 摩擦感提示タッチパッド

#### 3.2 誘導方向の提示

本手法では, ユーザの指の動作方向に合わせてタッチパッド上の摩擦感を変化させることで指の方向誘導が可能だと考えた.

図 2 のように指を誘導する目標地の方向を表すベクトルと指の移動方向を表すベクトルのなす角の差に応じて摩擦力を提示する. 摩擦の大きさを制御することで特定方向にユーザの指が動きやすい状況を作り出す.

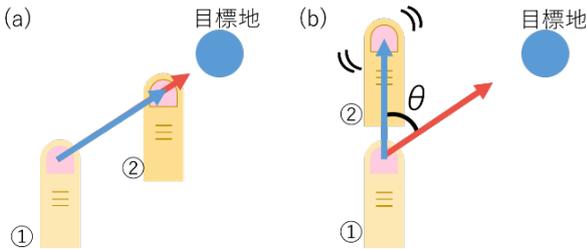


図 2(a) 指を目標地方向に移動させたときには摩擦の提示が行われずスムーズな移動が可能である. (b) 指を異なる方向へ移動させたときに摩擦による抵抗が生じる.

#### 3.3 2つの異方性摩擦の提案

本研究では指を誘導するために摩擦感の違いを用いる. 誘導のための摩擦感として 2 種類の異方性摩擦感の提示

手法を提案する. それぞれの手法のイメージを図 3 に示す.

- 手法 1: 複数の細い棒を横に並べ, その上をなぞった時の摩擦感. 棒に対して垂直方向になぞると棒を横切ることによる摩擦感を感じ, 棒と同じ方向に動く場合は摩擦感を感じない手法.
- 手法 2: 動物の毛のように毛が逆立つ方向には摩擦感が大きく, 毛に沿う方向になるにつれて摩擦感が小さくなる手法.

これらの摩擦感の大きさ $A_F$ は図 2b に示した 2 つのベクトルのなす角 $\theta$ を用いて, 式(1)で与えられる.

$$A_F = \begin{cases} |\sin(\theta)| & (\text{手法 1}) \\ |\sin(\theta/2)| & (\text{手法 2}) \end{cases} \quad (1)$$

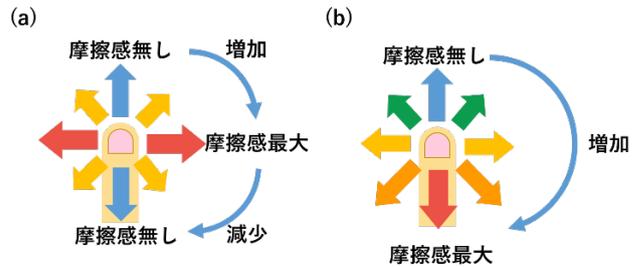


図 3 目標方向を図の上側としたときに発生する摩擦感の大きさの変化イメージ(a)手法 1. 目標方向に対して水平方向に指を移動させたときに最大の摩擦感が発生する. (b)手法 2. 目標方向の反対方向に指を移動させたときに最大の摩擦感が発生する.

### 4. 実験

#### 4.1 予備実験

本実験の前に指の移動に対して摩擦感を提示することにより, 進行を妨げるように感じるか実験を行った. 2 人の被験者に対して行ったところ 2 人とも摩擦感による方向提示を確認できたと回答した.

#### 4.2 実験概要

実験で用いたシステムを図 4 に示す. PC の画面上に 4 つの目標地の候補が用意され, 提案システムを用いて被験者を目標地点に誘導する実験を行った. 被験者が目標方向に移動しているときは抵抗なくカーソルを移動させることができ, そうでない場合は前述のアルゴリズムで摩擦感を生起する振動が提示される. 被験者は摩擦感が発生しない方向に指を進めることで目標地点を探索することができる.

本実験では, 提案した 2 つの異方性摩擦感提示アルゴリズムを用いて実験を行い, 被験者が目標地点の探索にかかる時間, 正しく目標地点に誘導できたかの正答率を計測し比較した.

#### 4.3 実験条件・手順

図 5 に実験の様子を示す. 被験者は研究室内の 8 名 (男性 5 名, 女性 3 名 21 歳~24 歳, 右利き 7 人) とした. 実験前にタッチパッドの操作感, 及び摩擦感による抵抗を確認

させるため、3回の練習タスクを行ってもらいように指示した。実験ではタッチパッドを操作してもらい4つの目標地の候補から1つの目標地点を探索するタスクを行うように指示した。画面中央から目標地点をタップして解答するまでを1試行とした。1被験者当たり、4条件の目標地点と摩擦感の提示手法2条件の合計8条件を5試行ずつランダムな順序で合計40試行行った。被験者には、各試行の開始時に画面の中央で指をタップするように指示した。図5エラー! 参照元が見つかりません。のように実験中はヘッドホンからホワイトノイズを提示して聴覚情報を遮断した。

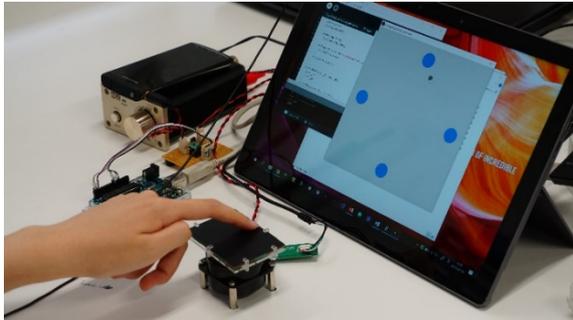


図4 実験システム。4つの候補地の中から1つの目的地を探索する。

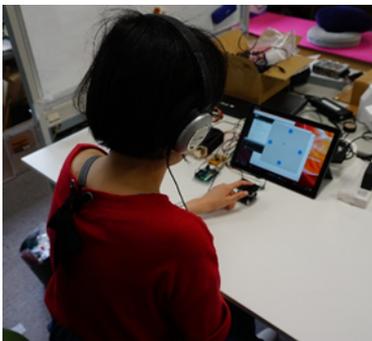


図5 実験の様子。

#### 4.4 実験結果と考察

図6に手法ごとの被験者の平均正答率の結果を示す。横軸はそれぞれの摩擦感提示手法を示し、縦軸は正答率である。正答率において手法1と手法2の間には有意差( $p < .05$ )が確認できた。図7は手法ごとの探索にかかった時間を示している。横軸はそれぞれの摩擦感提示手法を示し、縦軸は回答にかかった時間を示している。回答時間において手法1と手法2の間には有意差( $p < .001$ )が確認できた。図8に手法1、図9に手法2における試行回数ごとの回答時間の結果を示す。横軸は試行回数を示し、縦軸は回答時間である。

図6より手法2で目標地の探索を行った場合、手法1を用いた場合に比べ正答率が高くなった。手法1では目標方向と反対方向の運動でも摩擦感の提示が行われなため間違いの原因になったと考えられる。また手法2は正答率のばらつきが小さく、被験者によらず安定して正解できる傾向があった。手法1において正答率が被験者ごとに差が出た原因として今回の実験では探索時間に制限がなく、十

分に時間をかけて探索した被験者が居たためと考えられる。

図7より手法2で探索した場合は手法1に比べ短い時間で探索できることがわかった。手法1は今回のように目標地点の候補が対になった配置では目標地点と平行方向の探索だけでは候補を1つに絞ることが原理的に出来ない。そのため今回の実験で用意した目標地点の配置では手法2に比べ時間がかかるという結果になったと考えられる。

図8と図9の結果より、試行を繰り返すことによる回答時間は変化しないことが分かった。よって本システムは数回程度の使用ですぐに操作に慣れることができると考えられる。

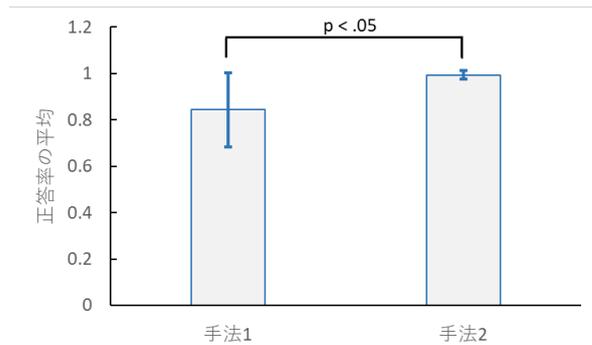


図6 条件ごとの正答率の計測結果

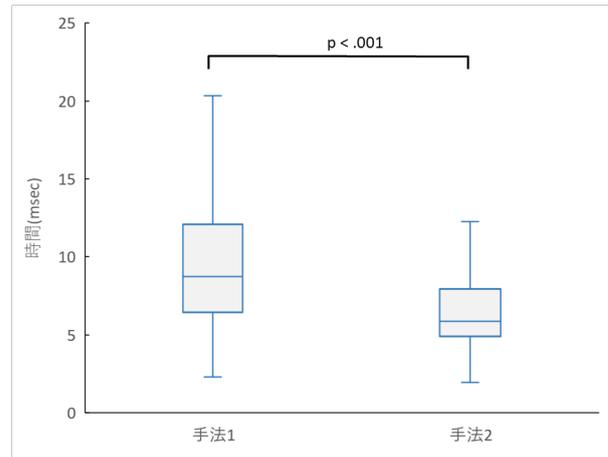


図7 条件ごとの回答時間の計測結果

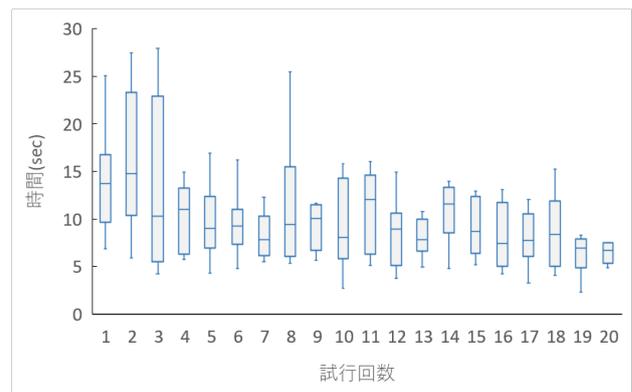


図8 手法1の試行回数に対する回答時間の変化

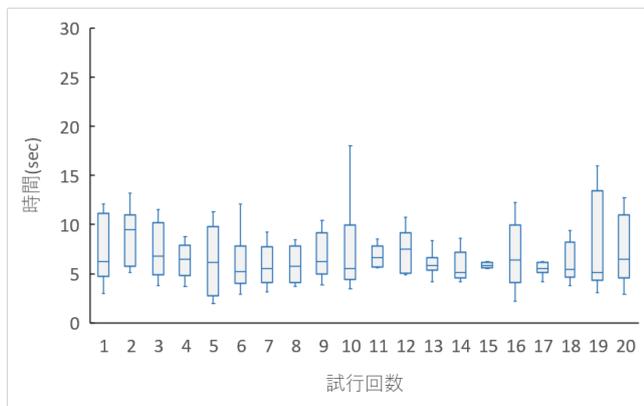


図 9 手法 2 の試行回数に対する回答時間の変化

## 5. まとめと今後の展望

本研究では、タッチパッド表面上の摩擦感を変化させることで指を誘導する手法を提案した。本稿ではタッチパッドとスピーカからなる振動による摩擦感提示タッチパッドを作成し、誘導したい方向に対する手がかりとして、運動方向に依存した摩擦感、異方性摩擦感を提示することでタッチパッドを操作する指の誘導を行う実験を行った。結果として摩擦の提示によって指の誘導を行うことができた。さらに提示する異方性摩擦の種類を変えることで誘導の結果や時間が変化することを確認した。

今後は誘導の手がかりとなる摩擦の適切な強さを調べ、摩擦感の強さにより今回の実験結果がどのように変化するかを実験し評価を行う

本実験では 50msec 程度の遅延を持つ摩擦提示タッチパッドを用いて実験を行ったが、今後は遅延の少ないデバイスを作成し遅延による誘導結果の評価を行う。

## 参考文献

- [1] Sears,A, “Improving Touchscreen Keyboards:Design issues and a comparison with other devices, Interacting with Computers,” Vol.3, Issue.3 1991, 253-269.
- [2] A.Hasegawa, T.Yamazumi, S.Hasegawa , M.Miyano, “Evaluating the input of characters using software keyboards in a mobile learning environment,”

WMUTE2012 214-217.

- [3] M.Fukumoto , T.Sugimura, “Active Click Tactile Feedback for Touch Panels,” CHI2001.
- [4] O. Bau, I. Poupyrev , C. Harrison, “TeslaTouch: Electro-vibration for Touch Surfaces,” UIST '10 Proceedings of the 23rd annual ACM symposium on User interface software and technology, October 03-06,2010.
- [5] R. M. Strong , D. E. Troxel, “An Electrotactile Display,” IEEE Transactions on Man-Machine Systems, March, 1970.
- [6] T. Watanabe , S. Fukui, “A method for controlling tactile sensation of surface roughness using ultrasonic vibration,” 1995 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 21-27 May 1995.
- [7] M.Takasaki, H.Kotani, T.Mizuno , T.Nara, “Transparent surface acoustic wave tactile display,” In proc. of Intelligent Robots and Systems(IROS), 2005.
- [8] L.Winfield, J.Glassmire, J.E.Colgate , M.Peshkin, “T-Pad:Tactile Pattern Display through Variable Friction Reduction,” In proc. of EuroHaptics Conference 2007 and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems. World Haptics 2007. Second Joint.
- [9] S.Saga , K.Deguchi, “Lateral-Force-Based 2.5-Dimensional Tactile Display for Touch Screen,” Haptics Symposium 2012.
- [10] S. Saga , R. Raskar, Feel through window:simultaneous geometry and texture display based on lateral force, SIGGRAPH Asia 2012 Emerging Technologies, November 28 - December 01, 2012.
- [11] S.Asano, S.Okamoto, Y.Matsuura , Y.Yamada, Toward Quality Texture Display:Vibrotactile Stimuli to Modify Material Roughness Sensations, ADVANCED ROBOTICS[2014].
- [12] C. Ho, J. Kim, S. Patil and K. Goldberg, "The Slip-Pad:A Haptic Display Using Interleaved Belts to Simulate Lateral and Rotational Slip," 2015 IEEE World Haptics Conference, 22-26 June 2016.
- [13] J. Mullenbach, M. Peshkin , J. Colgate, “eShiver:Force Feedback on Fingertips through Oscillatory Motion of an Electro-adhesive Surface,” Haptics symposium'16, 8-11 April 2016.