

異方性 roughness 提示を用いた方向提示によるタッチデバイスの操作誘導 —異方性 roughness と等方性 roughness の手法間比較—

Operation Guidance Method for Touch Devices by Direction Presentation Using Anisotropic Roughness -Comparison of Anisotropic Method and Isotropic Method-

○学 小林 優人 (電通大) 設楽 幸寛 (電通大)
学 金子 征太郎 (電通大) 梶本 裕之 (電通大)

Masato KOBAYASHI, The University of Electro-Communications, kobayashi@kaji-lab.jp
Takahiro SHITARA, The University of Electro-Communications, shitara@kaji-lab.jp
Seitaro KANEKO, The University of Electro-Communications, kaneko@kaji-lab.jp
Hiroyuki KAJIMOTO, The University of Electro-Communications, kajimoto@kaji-lab.jp

Most previous studies of tactile presentation for touch devices have presented tactile cues as a function of the position of the finger. In the current study, we examined whether directional information could be presented by modulating tactile cues depending on the direction of motion of the finger, using a new method called "anisotropic tactile presentation". We conducted two experiments comparing the proposed system with a conventional position based guidance method. The results revealed that the proposed method enabled participants to search for the target more quickly and accurately compared with the conventional tactile presentation method.

Key Words: Anisotropic roughness, Direction presentation, Navigation, Touch device

1 緒言

近年、従来のマウス操作に比べて直感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。これらのタッチデバイスをなぞった時に摩擦感や凹凸感などの触覚的テクスチャを変化させる手法が複数提案されている。これらのタッチデバイスは物体の触覚的テクスチャを指先へ伝えることを意図したものである [1][2][3]。

一方で現在、タッチデバイス用の文字のトレースを行う子供向け学習アプリケーションでは指を特定の方向へなぞることを求めるものがある。このような状況では、なぞる指を正しい方向へ誘導するテクスチャ提示が有効であると考えられる。

指先へ方向を伝える方法として Jang らの PinPad[4] ではペンアレイ式のタッチパッドを用いて、操作に応じてピンを配置することでアシストや制限を行なった。また、Klatzky らは静電摩擦の粗さのレベルを段階的に変えることにより、静電触覚ディスプレイ上における 1 次元の勾配を表現し、勾配方向が認識可能であることを報告した [5]。

これらの従来のテクスチャ提示ディスプレイの多くは指の座標、すなわち位置に対応したテクスチャフィードバックを行なっている。しかし、指を特定方向へ動かすように求めるアプリケーションでは、指の移動する「方向」に応じたテクスチャフィードバックが適していると考えられる。本稿ではこのような移動する「方向」に応じたテクスチャ提示を異方性テクスチャ提示と呼び、従来の「位置」に応じたテクスチャ提示を等方性テクスチャ提示と呼ぶ。

我々は前報において、異方性テクスチャ提示を用いることで指を特定の位置まで誘導できることを確認した [6]。本稿では本研究で提案する異方性テクスチャ提示と、従来の等方性テクスチャ提示を用いた指の誘導に関する比較実験の結果について報告する。

2 異方性 roughness 提示を用いた指の誘導手法

2.1 異方性 roughness 提示

異方性とは「方向に依存する」という意味であり、例えば、動物の毛や細長い溝がある表面などのなぞる方向によってテクスチャ感が変わる表面は異方性テクスチャ面である。つまり、本研究で提

案する異方性テクスチャ提示とは、指をなぞる方向に依存したテクスチャ提示である。本研究ではテクスチャとして細かなザラザラとした粗さを表す roughness を用いた異方性 roughness 提示を行う。これ以降は方向依存の roughness 提示を異方性 roughness 提示、位置に依存した roughness 提示を等方性 roughness 提示と呼ぶ。

2.2 異方性 roughness 提示を用いた方向提示

本研究では指の誘導に際して、roughness を用いた指への方向提示手法を提案する。指の移動方向に応じてタッチパッド表面の roughness の強度を変化させる。ユーザは roughness の強度を知覚することで方向を区別することができる。

タッチデバイス上で指が動いた場合、移動方向を示す速度ベクトルと誘導方向である誘導ベクトルの間に角度差が生じる (図 1)。この角度差に応じた強度の roughness を指先に伝えることで方向に依存した roughness 提示ができると考えた。

図 2 に 1 方向の誘導に適した異方性テクスチャを提案する。図の背景の矢印に沿う方向へ指を移動させる場合には roughness は発生しないが、矢印の流れに逆らう方向へ向かうほど roughness が大きくなる手法である。なお、この手法を用いて特定の地点へ操作を誘導できることは事前の実験で確認されている。このとき発生する roughness の大きさ $R(\theta)$ は以下の式 (1) で与えられる。

$$R(\theta) = |\sin(\theta/2)| \quad (1)$$

2.3 方向提示を用いた指の誘導

本研究では文字のトレーシング学習アプリケーションのように指を特定の方向へ移動させる状況を想定する。

指をタッチデバイス上で動かしたとき、もし誤った方向に指を移動させていた場合には方向を修正する roughness が指へ提示される。修正を表す roughness の変化に従い、指を異なる方向へ動かすことで指の動きは正しい方向へ修正される。図 3 のように、この作業を繰り返すことで、ユーザは正しい誘導方向を得ることができる。本研究では roughness の変化を用いた方向提示を行い、本手法を用いて指の特定方向へのナビゲーションを行う。

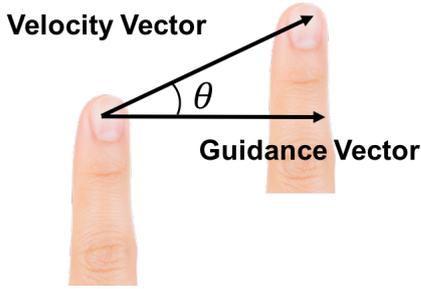


Fig.1 Angle between the velocity vector and guidance vector.

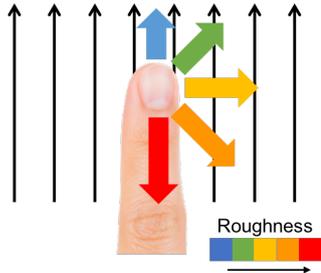


Fig.2 Anisotropic texture suitable for guiding in one direction.

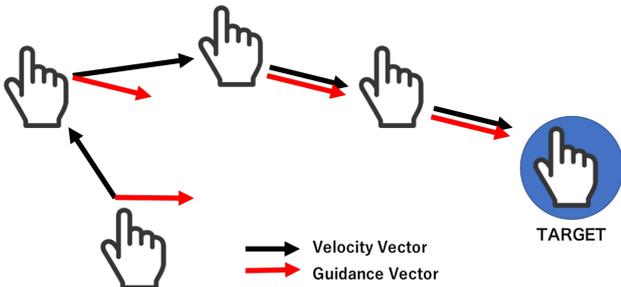


Fig.3 Finger movement navigation method using direction presentation. The velocity vector indicates the correct movement direction of the finger, and the guidance vector indicates the direction of the target.

3 Roughness 提示タッチパッド

図 4(a) に roughness 提示タッチパッドシステムを示す。このシステムは分解された市販のタッチパッド (PERIPAD-501, Perixx Computer), オーディオスピーカ (NSW 1-205-8 A (2), AURA-SOUND), オーディオアンプ (M50, MUSE), 振幅変調回路 (Arduino UNO, Arduino and MCP4018T-103E/LT), テクスチャ信号源 (Xperia arcS, SONY) から構成される。roughness 提示タッチパッドを横から撮影したものを図 4(b) に示す。オーディオスピーカがタッチパッドの下に取り付けられている。スピーカが駆動することでタッチパッド表面が細かく振動し、タッチパッドを操作する指に roughness が提示される。テクスチャ信号源として 200Hz 以上の周波数をカットしたホワイトノイズを用いた。ホワイトノイズによる振動は指先にザラザラとしたテクスチャを伝えた。

4 実験

4.1 実験 1: 異方性と等方性の誘導手法の比較実験

4.1.1 実験内容・手順

本研究の提案手法である異方性 roughness 提示と、従来の位置に依存した等方性 roughness 提示を比較する実験を行なった。

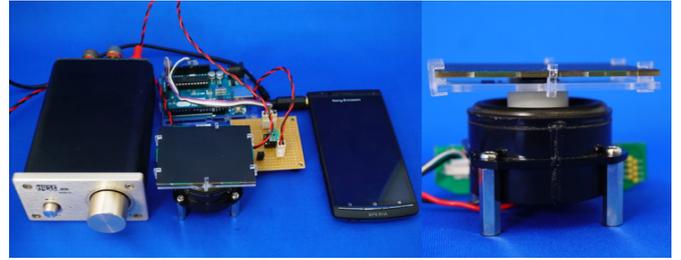


Fig.4 Roughness presentation touchpad system: (a)Overview of the device; (b)Side view of the touchpad.

図 5 に示す 4 つのターゲットの中から 1 つの正解ターゲットを探索する実験を行なった。等方性 roughness 手法として、ターゲットとの距離に依存した手法を準備した。この手法はカーソルが正解ターゲットに近づくほど roughness が減少し、離れるほど roughness が増加する手法である。本実験は roughness の提示であるため、指が静止しているときは振動が発生しないように制御した。

本実験ではターゲットが互いに離れており、ターゲットが対の位置に配置されている CROSS(図 5(a)) と、CROSS に比べターゲット間が狭く配置されている SPREAD(図 5(b)) を用いて実験を行なった。

スタート地点から 1 つのターゲットを回答するまでを 1 試行とした。1 回の測定では 4 つのターゲットに対して 5 回ずつの合計 20 試行を行った。被験者は 2 種類の配置条件 × 2 種類の誘導手法の 4 測定をランダムな順序で行なった。

7 名の被験者 (男性 7 名, 21~25 歳, 右利き 7 名) で実験を行なった。各測定前に 3 回の練習タスクを行い、手法を十分に理解した状態で実験を行なった。

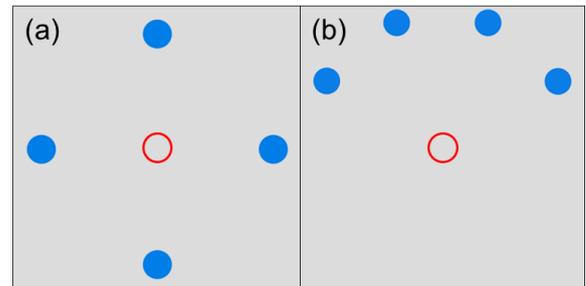


Fig.5 Arrangement of the target point; in both position conditions, the target was located equidistant from the starting point (red circle): (a)CROSS; (b)SPREAD

4.1.2 実験結果

各測定条件の回答時間の測定結果を図 6 に示す。縦軸は時間を示し、横軸は条件を示している。エラーバーは標準偏差を示している。2 要因 (ターゲット配置 2 条件 × 誘導手法 2 条件) の分散分析の結果、配置条件の主効果が有意であった ($F(1, 1) = 21.472, p < .001$)。また、誘導手法条件の主効果が有意であった ($F(1, 1) = 8.258, p < .01$)。これは異方性 roughness 提示を用いた誘導の方が等方性 roughness 提示に比べ、短い時間で回答が可能であることを示している。

図 7 に各測定条件の正答率の平均の測定結果を示す。縦軸は平均正答率を示し、横軸は各測定条件を示す。2 要因 (ターゲット配置 2 条件 × 誘導手法 2 条件) の分散分析の結果、どの条件においても主効果が認められなかった。

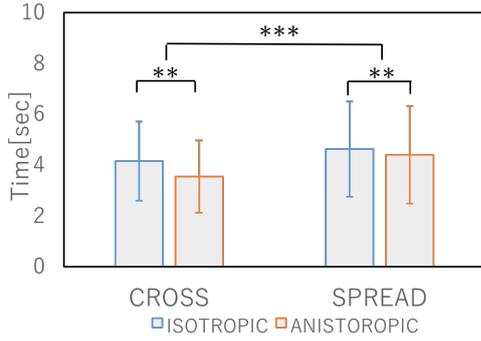


Fig.6 Measurement result of the response time for each condition.

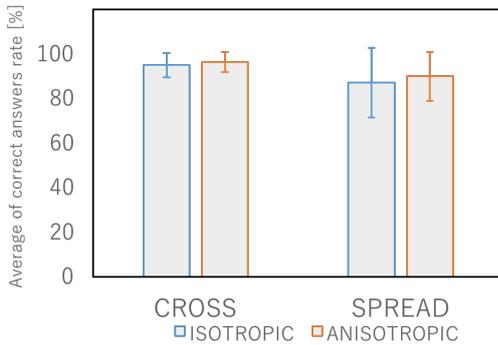


Fig.7 Measurement result of the correct answers rate for each condition.

4.2 実験2：パターン式ロック解除タスクにおける各誘導手法の比較

4.2.1 実験内容・手順

roughness 提示による誘導を用いた実用的なタスクとして、スマートフォンのロック画面などに使われるパターン式ロックを解除する実験を行なった。まず9つのターゲットのうち1地点がスタート地点に設定される(図8(a))。スタート地点をタップすることで計測が開始される。探索フェーズでは roughness の変化を用いて目標ターゲットへの誘導が行われる(図8(b))。ターゲット上でタップすることでターゲットが通過地点として登録され経路が描画される。このとき、誤ったターゲットをタップした場合には登録されずにミスタップとして記録される。その後、ターゲットの探索を再開する。この作業を4回繰り返し、4本の経路でパターンが描画されたときにタスクは終了する(図8(c))。スタート地点のタップから最後のターゲットをタップするまでを1試行とし、それまでにかかった時間とミスタップの回数を計測した。スタート地点と経路はその都度ランダムに生成されたものである。

1回の測定ではパターン式ロック解除タスクを20試行を行った。被験者は等方性 roughness と異方性 roughness の2条件で2回の測定を行った。6名の被験者(男性3名, 22-34歳, 右利き5名)を2つのグループに分け、第一グループは先に等方性 roughness 条件で測定を行い、その後異方性 roughness 条件で測定を行った。第二グループはそれと反対の順番で測定を行った。

被験者は各測定前に3回の練習タスクを行い、手法を十分に理解した上で実験を行った。また、被験者はデバイスから発生する音が聞こえないように聴覚を遮断した状態で実験を行った。

4.2.2 実験結果

図9に1試行にかかった回答時間の測定結果を示す。縦軸は時間を示し、横軸は誘導手法を示す。エラーバーは標準偏差を示している。異方性 roughness を用いた方が等方性の roughness を用いた誘導より回答にかかる時間が短くなることが確認された($p < .001$, t 検定)。

図10に1タスクあたりのミスタップの回数を示す。縦軸はミ

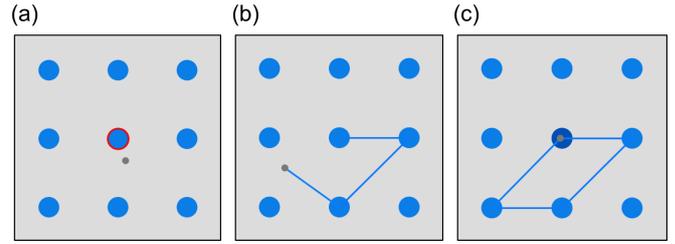


Fig.8 Pattern formula unlocking task: (a)Standby phase: the starting point (red circle) is set to a random position; (b)Search phase: participants search for the target according to guidance cues; (c)Exit phase: The fourth target is selected, and the participant exits the task.

スタップが生じた回数を示し、横軸は誘導手法を示す。測定の結果、異方性 roughness を用いた方が等方性 roughness を用いた場合よりミスタップの回数が少ないことが確認された($p < .05$, t 検定)。

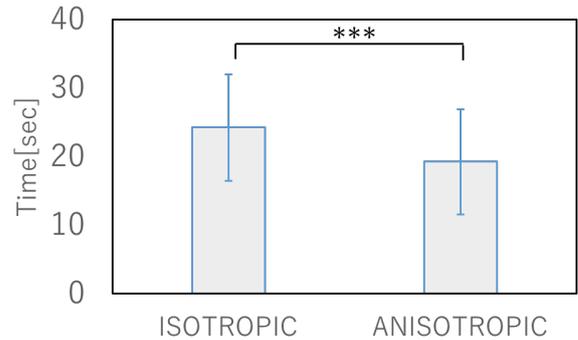


Fig.9 Measurement result of the response time for each guidance method condition.

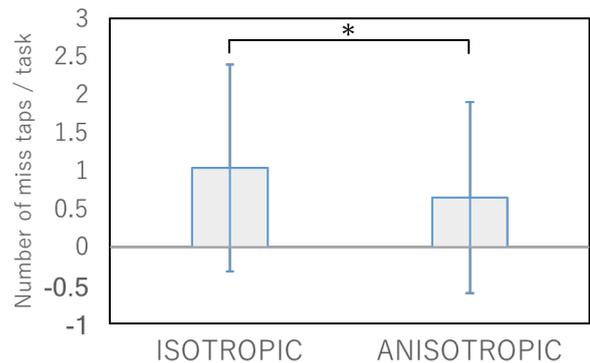


Fig.10 Measurement result of miss taps per task in each guidance method condition.

5 考察

実験1では、いくつかの候補の中から1つの正解ターゲットへカーソルを誘導する実験を行い、従来の多くのテキストチャ提示で用いられている等方性の触覚提示と、本研究で提案した異方性の触覚提示の比較実験を行なった。異方性の手法を用いた手法の方が従来の距離に依存した等方性の手法より回答時間が短いという

結果になった。等方性の手法は1つ1つのターゲット周辺で探索を行う必要があるのに対し、異方性の手法は少ない移動で誘導方向を提示できるため回答時間が短くなったと考えられる。また、等方性の手法は位置に依存しているため、ターゲットを網羅的に探索する被験者が多く最適な経路で探索を行えていなかった。しかし、正答率の結果では大きな変化はなく、どちらの手法でも十分に探索可能であると考えられる。

実験2では実用的なタスクとして、パターン式ロックを解除するタスクを行なった。実験1と同様に異方性手法を用いて誘導を行った方が、回答時間が短くなるという結果となった。また、実験1と同様に位置依存である等方性の手法の場合には空間を網羅的に探索を行う被験者がいた。しかし、異方性の手法の場合はターゲット同士を直線で結ぶ最短経路での探索を行っている被験者がほとんどであった。この結果より、異方性の手法は移動方向の制限を行うことで経路の提示を行っていたと考えられる。

また、実験1では正答率において有意差が確認されなかったが、実験2ではミスステップの回数において有意差が確認された。この結果は、実験2のように繰り返しターゲットの探索を行うタスクでは誘導性能の差が顕著になると考えられる。

6 まとめ

本研究では、タッチデバイス进行操作する指に対して指の運動方向に依存した触覚提示、すなわち異方性 roughness 提示を行うことで指を特定方向へ移動させることを目的とした。本稿では従来の位置依存の等方性の手法と提案手法である異方性の手法の比較実験を行った。2つの実験結果から異方性の手法は等方性の手法に比べて有意に回答時間が短くなった。これは、本提案手法は方向提示を行うため、距離を提示する手法に比べ明確にターゲットを絞り込むことができたためと考えられる。また、指の位置に依存した触覚提示は直感的な操作であり、本手法は十分な理解と解釈が必要な手法であるにも関わらず良い結果となった。つまり、本実験のような状況下のアプリケーションでは本手法が適していると考えられる。

本実験では、誘導方向の経路が見えない状況下で実験を行なったが、文字のトレーシングの学習アプリケーションのような経路が見えるアプリケーション上では本手法はなぞり方向のアシストとして機能する可能性があると考えられる。そのため、今後は経路が見える条件下で、本手法がアシストとして効果があるのかを調べる実験を行う予定である

参考文献

- [1] 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, 2010, pp.283-292.
- [2] L. Winfield, J. Glassmire, J. E. Colgate, M. Peshkin, "T-Pad: Tactile Pattern Display through Variable Friction Reduction", EuroHaptics Conference 2007 and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems. IEEE World Haptics Conference, 2007.
- [3] K. Ito, S. Okamoto, H. Elfekey and Y. Yamada, "High-quality texture display: The Use of Vibrotactile and Variable-friction Stimuli in Conjunction", AsisaHaptics, 2016.
- [4] J. Jung, E. Youn and G. Lee, "PinPad: Touchpad Interaction with Fast and High-Resolution Tactile Output", SIGCHI Conference on Human Factors in computing Systems, 2017, pp.2416-2425.
- [5] R. L. Klatzky, S. Adkins, P. Bodas, R. Haghghi Osgouei, S. Choi and H. Z. Tan, "Perceiving Texture Gradients on an Electrostatic Friction Display", IEEE World Haptics Conference, 2017, pp.154-158.
- [6] 小林優人, 設楽幸寛, 金子征太郎, 梶本裕之, "振動摩擦感提示による指の誘導手法の検討", 第22回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2017, pp.782-785.