

二点マルチタッチにおけるフットステップ錯視を用いた 擬似触力覚生起に関する一検討

菫澤 雄太¹⁾, 小川 剛史²⁾
1) 東京大学学際情報学府
2) 東京大学情報基盤センター

あらまし: 錯錯視現象であるフットステップ錯視を用いたタッチパネル上での擬似触覚提示に関する検討を進めてきた。これまで、人差し指でのシングルタッチ操作に関する検証で実施していたため、本稿では、人差し指と中指を用いた2本指操作に関する検証を行った。実験では、感覚に関わる形容詞対を用いた意味微分法による評価を実施し、ポインタのサイズなどの条件の違いによって、触知覚に関する印象が変化することを確認した。

A Study on Generating Pseudo- Haptics Feedback using the Footstep Illusion in Two-Point Multi-Touch

Yuta Nirasawa¹⁾, Takefumi Ogawa²⁾

1) Graduate School of Interdisciplinary Information Studies, The University of Tokyo
2) Information Technology Center, The University of Tokyo

Abstract: We have been studying the pseudo-haptics presentation on a touch panel using the footstep illusion, which is an optical illusion phenomenon. Since we have previously conducted on single-touch operation with the index finger, in this paper, we conducted a verification on two-finger operation using the index and middle fingers. In the experiment, we evaluated by using the semantic differential method with adjective pairs related to sensation, and confirmed that impressions related to tactile perception changed depending on differences in conditions such as pointer size.

1. はじめに

タッチパネルは、画面に表示された情報を指で直接操作でき、直感的なインタラクションを提供できる一方で、ユーザからの入力に対する触力覚フィードバックがないため、例えばボタンを押せたかどうか分かりづらいなどの問題が指摘されてきた[1]。アクチュエータを用いた触力覚フィードバックの提示によって、実際に物理的な刺激を指に与えることが可能であるが、タッチパネル内に振動刺激[2]や静電気吸着[3]を実現する機構を組み込む必要があり、タッチパネルが大きくなるとコストの面だけでなく、目的とする感覚を提示することが困難となるといった問題が考えられる。

物理的なアクチュエータを用いずに触力覚を提示する方法として、Pseudo-Haptics[4]を応用した研究が進められている。Pseudo-Haptics とは、ヒ

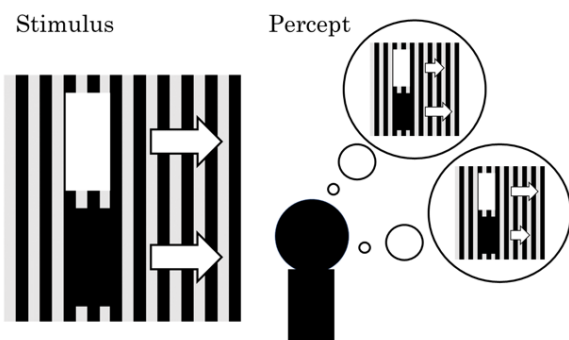


図1 フットステップ錯視によるポインタの動向

トが知覚する視覚刺激と触覚刺激に不整合があった場合に、脳がその不整合を解消しようとして、実際には存在しない触覚や触感を知覚する現象である。Pseudo-Haptics の生起や強度の制御には、ユーザの入力操作 (Control) とその出力であるポインタ動作 (Display) の速度から算出した CD

(Control/Display)比が用いられる。CD 比を適切に制御するソフトウェアを組み込むことで視覚フィードバックのみを変更して触力覚を制御でき、専用のデバイスを必要としない。

これまで Pseudo-Haptics に関する研究の多くは、主にデスクトップ環境を対象として進められており、重さや弾力性といった触力覚の生起が確認されてきた[5-7]。近年では、この Pseudo-Haptics をタッチパネル上で生起させることを目的とした研究も行われている。伴ら[8]は、タッチパネル上でオブジェクトを移動させた際に生じる指とオブジェクトのズレに着目し、オブジェクトと指をバーチャルな紐でつなぐことで、より効果的に Pseudo-Haptics を生起させることを検討している。Costes ら[9]は機械的な機構を含まないタッチパネルを使用し、背景のテクスチャや表現したい触り心地に応じて、複数のポインタ表示パターンを組み合わせ、様々な材質の面に触れているような感覚を表現することを試みている。

しかし Pseudo-Haptics は、その生起原理から、入力と出力に意図的に不整合を生じさせる必要があるため、ポインタなどの操作対象を直接触れて操作するタッチパネルにおけるインタフェースでは問題が生じる。

そこで、著者らの研究グループでは、タッチパネル上において入力と出力に意図的な不整合を生じさせることなく Pseudo-Haptics を生起させるために、フットステップ錯視[10]を用いた触覚提示手法について検討してきた[11]。フットステップ錯視とは、縞模様の背景上で等速で移動するオブジェクトが不連続に移動しているように見える錯覚現象である(図1)。フットステップ錯視を応用することで、入出力間の不整合を生じさせることなく、ポインタが指で隠れてしまうといった問題を解決することを可能にした。しかし、これまでにはタッチパネルにおけるシングルタッチでの操作に着目して検証していたことから、マルチタッチに拡張したシステムでの応用についてはまだ検証していない。

そのため本稿では、フットステップ錯視を応用

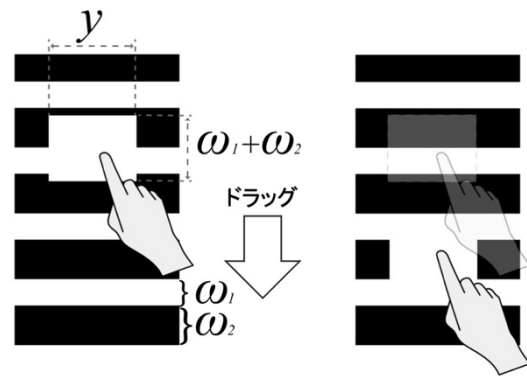


図2 筆者らによるフットステップ錯視を応用した擬似触力覚の提示

することで、タッチパネル上での2本指操作に対して触力覚フィードバックが生起可能な二点マルチタッチシステムを提案する。二点マルチタッチシステムとは、タッチパネル上にて2本の指で操作可能なシステムを示し、提案手法での触力覚の生起について調査した実験について述べる。

2. 提案手法

2.1 フットステップ錯視を用いた一点タッチにおける擬似触覚提示方式

フットステップ錯視とは、図2に示すように黒と灰色の縞模様の背景の上で白と黒の矩形が等速で並進しているとき、あたかも矩形が交互に移動しているように見える錯覚現象である[10]。例えば、タッチパネルにおける操作を考えると、入力とはドラッグする指の移動距離 (C: Control)、出力は画面上のポインタの移動距離 (D: Display) となり、CD 比 (R_{CD}) を用いて(1)式でその関係が表される[9]。

$$D = R_{CD} * C \quad (1)$$

CD 比が1よりも小さい場合のポインタは入力動作よりも遅く、1よりも大きい場合は入力動作よりも速く移動する。

背景の縞模様幅を ω 、ポインタの幅を x 、ポインタの先端がポインタと同色の次のストライプに移動するまでの区間を1周期とし、両端が白いストライプにある時間と1周期の比を T と置いた場合、

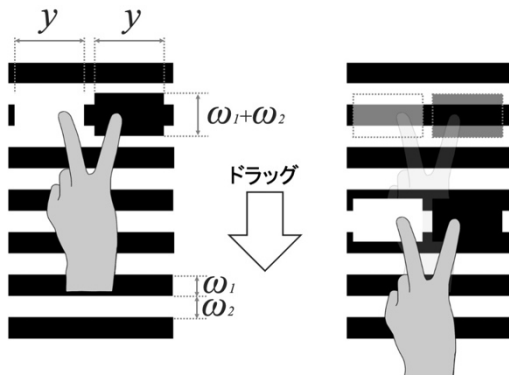


図 3 二点マルチタッチにおける擬似触覚提示方式

$\omega = \omega_1 = \omega_2$ かつ $\omega \leq x \leq 2\omega$ の場合はフットステップ錯視における錯視の度合いは以下のように数値化されている[12].

$$T = \frac{x - \omega}{2\omega} \quad (2)$$

T は $x = 2\omega$ で最大値 $1/2$ となり, $x = \omega$ で最小値 0 となる.

フットステップ錯視を用いた擬似触覚提示方式では, 錯視効果が強くなるよう T を最大とする条件に合わせ, ポインタの縦幅 x を

$$x = \omega_1 + \omega_2 \quad (4)$$

と設定した. 式(1)の CD 比 R_{CD} は, 指の速度とポインタの速度にずれを生じさせないようにするため, $R_{CD} = 1$ とした[11].

2.2 フットステップ錯視を用いた二点タッチにおける擬似触覚提示方式

フットステップ錯視を用いて二点における擬似触覚を提示するため, 図 3 のようなインタフェースを構成する. 背景を白と黒の横縞模様としての上に表示した白と黒の長方形のポインタを上下に指でスライドさせるシンプルなインタフェースである. 背景の白と黒のストライプの幅をそれぞれ ω_1, ω_2 とし, 白ストライプの幅, ポインタの横幅, ポインタ間の距離を変更することで知覚に与える影響を評価する.

実装では, 各ポインタが遅延なく指の移動に追従するよう $R_{CD} = 1$ に設定する. また, フットステップ錯視を最も引き起こしやすくするために, ポイ

ンタの縦幅 x は式(4)の関係を保持することとする.

3. 実験: フットステップ錯視を用いた二点マルチタッチにおける触力覚提示

3.1 実験目的

ここでは, 本提案手法であるフットステップ錯視を用いた二点マルチタッチにおける触力覚提示が可能かどうかについて定量的な評価を行い, またどのような触感を知覚するのかを明らかにすることを目的とする.

3.2 実験内容

図 3 に示したインタフェースを実験システムとして iPad(Apple 社)に実装した. ポインタ(長方形)の移動速度に意図的な遅延は設定しない. 実験システムのフレームレートは 60[fps]である. また, 実験参加者は 20 代 10 名(男性 9 名, 女性 1 名), 利き手は右手 9 名, 左手 1 名であった.

以下に実験タスクについて説明する. 実験参加者は端末を机の上に置き, タッチパネル上に表示されたポインタを利き手で上下に 3 回連続してドラッグする. 白のストライプの縦幅 ω_1 を 50, 70, 90[pt], ポインタの横幅 y を 70, 120, 170[pt], ポインタの間隔を 30, 100, 170[pt] で変更し, 計 27 通り(白ストライプの幅 3 通り \times ポインタの横幅 3 通り \times ポインタの間隔 3 通り)の条件で実験する.

各条件の体験後, 表 1 に示した形容詞対 13 項目について 7 段階(-3 から 3)でどちらの形容詞に近い感覚を得たか評価させ, SD 法(意味微分法)により分析した(表 1)[13]. 用いた形容詞対は, 主に 2 つの観点で決定した. 1 つ目は, 日常で触れる機会のある材質の触り心地から連想される 11 項目の形容詞対[14]. 2 つ目は, 本提案手法から連想される 2 つの形容詞対である(項目 l, m). また, 条件の提示順序は, 順序効果を考慮して被験者ごとにランダムに設定した.

また, フットステップ錯視を映像のみで視聴した際に, 一点タッチにおける擬似触覚提示手法で提示した錯視映像と同程度生起できていることを

確認した上で実装を行なった。

3.3 実験結果と考察

本実験の各評価項目における全参加者の評価値から算出された平均値の3次元棒グラフを図4に示す。x軸、y軸、z軸は、それぞれポイントの横幅、ポイントの間隔、評価値を示している。また、アンケート結果で得られた記述を表2に示す。

図4より、各種パラメータを変更することで生起される感覚に変化が生じることが示唆された。特に、印象が変化する形容詞対と変化しない形容詞対が存在する。そこで、先行研究と条件を揃えるため、比較的表面形状や抵抗感、力覚などに関連する形容詞対項目 b, c, e, k と追加項目 l, m を抽出する。評価値が 0.6 以上となったポイントの横幅とポイントの間隔の組み合わせを図5に示す。x軸はポイントの横幅、y軸はポイントの間隔を表す。図5より、ポイントの幅が狭いと、触力覚が生起されにくい結果となった。逆にポイントの幅が広くなればなるほど、生起される触力覚の種類が増える結果となった。また項目 e, l, m において、ポイントの横幅の増加と間隔の増加によって生起される触力覚が増加する傾向があった。

表1 SD法における評価項目

評価項目	
a	すべすべした(-3) - ざらざらした(+3)
b	平らな(-3) - 凹凸な(+3)
c	キメの細かい(-3) - きめの粗い(+3)
d	ちくちくしない(-3) - ちくちくする(+3)
e	滑らかな(-3) - 引っかかる(+3)
f	ヒヤッとしない(-3) - ヒヤッとした(+3)
g	暖かい(-3) - 冷たい(+3)
h	しっとりとした(-3) - 乾いた(+3)
i	ぬるぬるした(-3) - さらさらとした(+3)
j	かたい(-3) - 柔らかい(+3)
k	弾性力のある(-3) - 弾性力のない(+3)
l	通り抜ける(-3) - 衝突する(+3)
m	同じタイミング(-3) - 交互に来た(+3)

さらに、一点マルチタッチにおける手法の結果と比較を行う(図5)。一点マルチタッチにおける手法で強く生起されていた「c: きめの粗い」や「b: 凹凸感」、「e: 引っかかり」が本提案手法は生起されにくい傾向にあった。したがって、先行研究と本提案手法で生起される触力覚に違いがあることが示唆された。これに加え、フットステップ錯視が一定以上の効果を確認した状態で触力覚提示の実験を遂行した点や、自由記述において「ポイントが動く映像だけを見たときよりも、ポイントを自分で動かしながら見た場合の方が(フットステップ)錯視の効果が弱い」という意見が一定数集まったことを踏まえると、フットステップ錯視を単体で見ると触力覚提示に应用した場合の方が錯視効果が弱まってしまうことが示唆された。

4. おわりに

錯視現象を応用した Pseudo-Haptics 生起手法として、タッチパネルにおけるシングルタッチを想定した検証で留まっていることから、マルチタッチに拡張されたシステムへの応用の可否についてはまだ検討されていなかった。そこで本稿では、フットステップ錯視を応用してポイントを2つ設置することで、タッチパネル上で二点マルチタッチが可能な触力覚提示手法について検討した。

全13項目のSD法で提案手法の評価を行ったところ、白のストライプの縦幅、ポイントの横幅、

表2 自由記述により得られた回答

自由記述回答
ポイントの映像のみよりも、ポイントを自分で動かしながら見た場合の方が錯視の効果が弱い
ポイントの感覚が開いている方が視覚的には交互に動いているように見えた
ポイントの間隔が大きい方が進みづらい感じ
指が視界に入ると感覚が得られにくい
横幅が広め、間隔がやや広めの方が感じやすい
ポイントが動いている様子のみを見た方が感覚が得やすかった

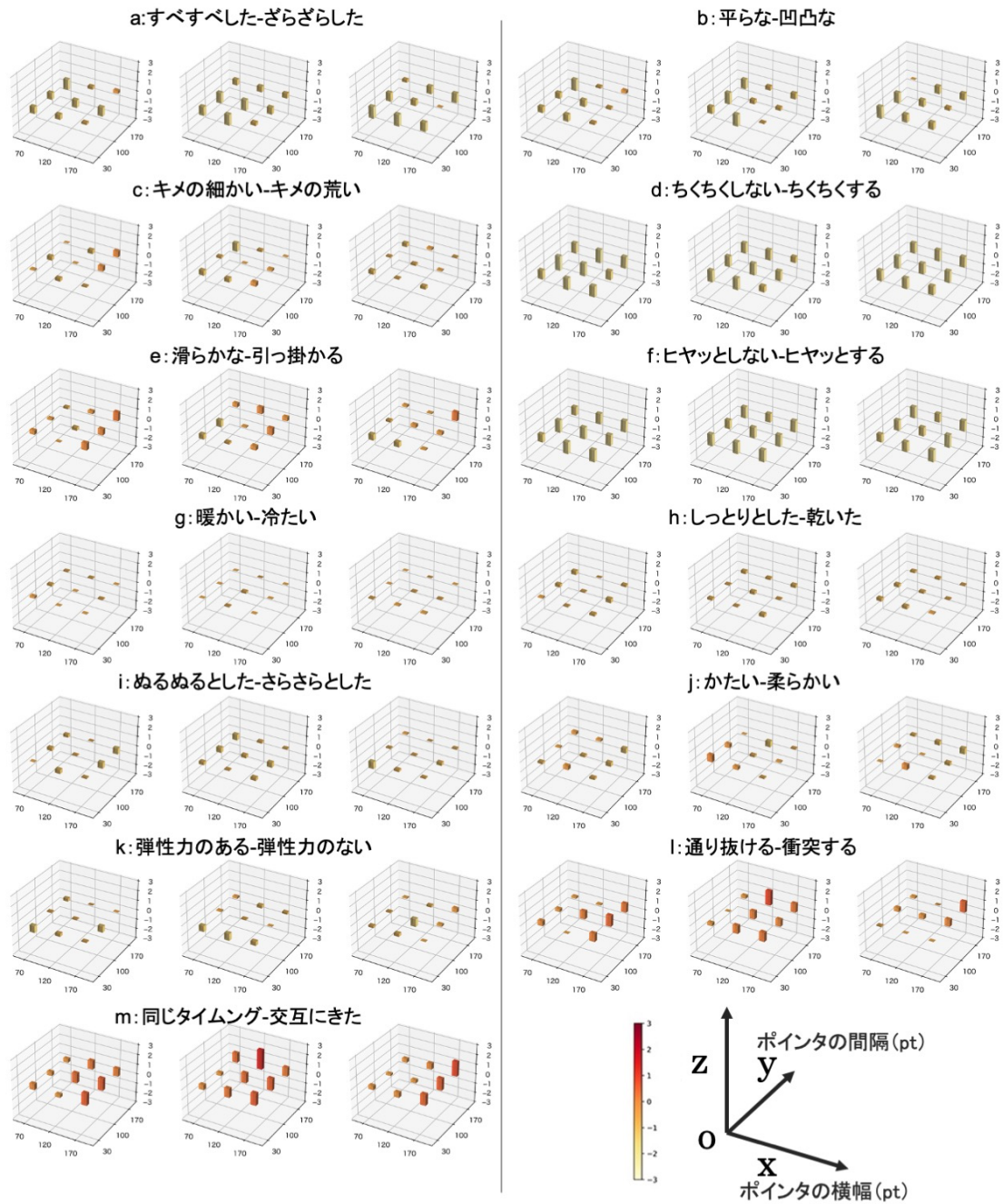


図4 実験における全参加者の評価力値から算出された各評価項目の平均値の3次元棒グラフ (x軸をポイントの横幅, y軸をポイントの間隔, z軸を評価値)

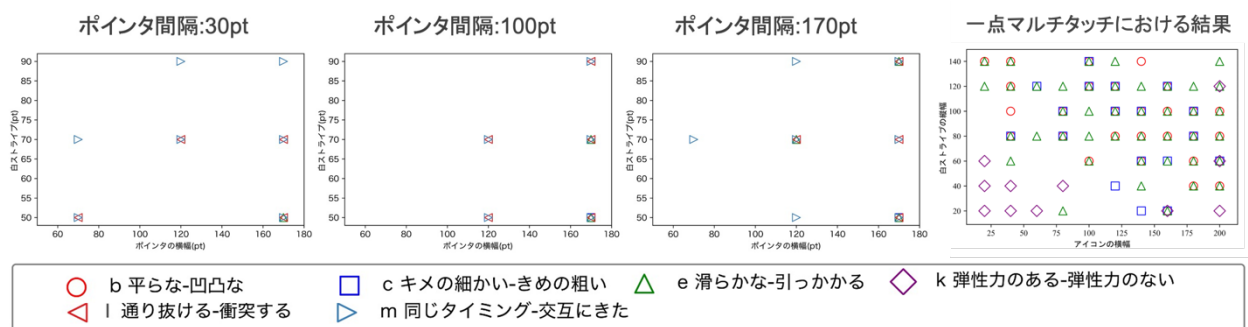


図5 実験により算出された散布図と一点マルチタッチにおける散布図

ポイントの間隔の値の変化につれて生起される触力覚に違いが生じることが示唆された。一方で視覚的に捉える錯視現象に比べて、触力覚提示時の錯視現象は効果が弱まり、提示される触力覚も弱まるということが示唆された。今後、マルチタッチにおける錯視効果を応用した擬似触力覚提示を行う上で、提示される触力覚効果を強める手法の確立を目指す予定である。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 19H04150 の助成によるものである。

参考文献

- [1] W. Buxton, R. Hill, & P. Rowley. "Issues and techniques in touch-sensitive tablet input." Proceedings of the 12th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pp. 215-224, 1985.
- [2] A. Lécuyer, Simulating haptic feedback using vision: A survey of research and applications of pseudo-haptic feedback. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, pp. 39-53, 2009
- [3] B. Stephen, F. Chohan, & L. Brown. "Tactile feedback for mobile interactions." Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, pp. 159-162, 2007.
- [4] A. Lécuyer, S. Coquillart, A. Khedda, P. Richard, & P. Coiffet, "Pseudo-haptic feedback: can isometric input devices simulate force feedback?." Proceedings IEEE Virtual Reality 2000 (Cat. No. 00CB37048). IEEE, pp. 83-90, 2000.
- [5] Y. Ban, T. Narumi, T. Tanikawa, & M. Hirose, Modifying an Identified Size of Objects Handled with Two Fingers Using Pseudo-Haptic Effects. In ICAT/EGVE/ EuroVR, pp. 1-8. 2012.
- [6] Y. Ban, T. Narumi, T. Tanikawa, & M. Hirose "Modifying perceived size of a handled object through hand image deformation." Presence: Teleoperators and Virtual Environments 22.3, pp. 255-270, 2013.
- [7] A. Lécuyer, J. M. Burkhardt, S. Coquillart, & P. Coiffet, "Boundary of illusion": an experiment of sensory integration with a pseudo-haptic system." Proceedings IEEE Virtual Reality 2001. IEEE, pp. 115-122, 2001.
- [8] 伴祐樹, 宇治土公雄介. "バーチャル紐を用いることによるタッチスクリーンでの Pseudo-haptics 効果の向上." 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 24.4, pp. 389-399, 2019.
- [9] A. Costes, F. Argelaguet, F. Danieau, P. Guillotel, & A. Lécuyer, "Touchy: A visual approach for simulating haptic effects on touchscreens." Frontiers in ICT 6 .2019. 1.
- [10] 小野隼, 友枝明保, 杉原厚吉. "フットステップ錯視アートの設計法 (応用)." 日本応用数学会論文誌 23.4, pp. 585-600, 2013.
- [11] 蕪澤雄太, 星野聖, 小川剛史. "タッチパネルにおける錯視現象を利用した Pseudo-Haptics の生起." 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション, pp.1-8, 2021
- [12] 小野隼, 友枝明保, 杉原厚吉. "フットステップ錯視アートの設計法 (応用)." 日本応用数学会論文誌 23.4, pp.585-600, 2013.
- [13] 井上正明, 小林利宣. "日本における SD 法による研究分野とその形容詞対尺度構成の概観." 教育心理学研究 33.3, pp. 253-260, 1985.
- [14] 白土寛和, 前野隆司. "触感呈示・検出のための材質認識機構のモデル化 (< 特集> 五感情報インタフェース)." 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 9.3, pp. 235-240, 2004.