

視触覚クロスモーダルによる凹凸知覚の鋭敏化

Bump Sensation by Using Visuo-tactile Cross-modal

横山牧¹⁾, 蜂須拓^{1),2)}, 佐藤未知^{1),2)}, 福嶋政期^{1),2)}, 梶本裕之^{1),3)}

Maki YOKOYAMA, Taku HACHISU, Michi SATO, Shogo FUKUSHIMA, Hiroyuki KAJIMOTO

1) 電気通信大学大学院 情報理工学研究科 総合情報学専攻

(〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {m.yokoyama, 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 these days, touch panels are used for many devices, and there have been many proposals to add tactile sensation to touch panels, which require additional electro-mechanical components. In this paper, we propose a simple method of adding tactile sensation of a bump, just by a thin sheet. The sheet has bumps that are haptically imperceptible, but once a visual stimuli such as a line is presented, visuo-tactile cross-modal mechanism induces haptic bump. We tested the effects of a visual cue and height of the bump. The result showed that the visual cue surely enhances the bump feeling.

Key Words: Bump sensation, Cross-modal, Interface, Tactile illusion, Visuo-tactile,

1. はじめに

iPhone などのスマートフォンに代表されるように、タッチパネルを搭載した端末が近年急激に普及している。タッチパネルはディスプレイと入力インタフェースの両方の機能を担っているが、特に入力インタフェースとしてのタッチパネルは PC や従来の携帯電話のキーボードと異なりキーの凹凸がないため、入力操作が難しいという問題を抱えている。

この問題を解決するために、平面のタッチパネルに凹凸感を付加する手法が提案されてきた。Bau らの TeslaTouch は、タッチパネル上の静電気力を制御することで動摩擦力を変化させ、テクスチャ感や凹凸感を表現している [1]。Jansen らの MudPad は、タッチパネルの下に設置した電磁石で磁性流体の粘度を制御することで、様々な触感を提示している [2]。嵯峨らの 2.5 次元触覚ディスプレイは、SPIDAR システムによって指の動きを制御して剪断力を提示することで、凹凸感を提示している [3]。宇戸らは手部に機能的電気刺激を行うことで、凹凸面をなぞったときの力覚と皮膚感覚を表現している [4]。また、Tactus Technology 社はマイクロ流体を制御することで、タッチパネル上に物理的な凹凸を出現させている [5]。

しかしながら、これらの手法では凹凸感を付加するために電磁石やモータなどの大掛かりな装置を用いているため、例えば iPhone のように日常的に携帯する端末への実装は難しいと考えられる。

そこで本研究ではより簡便な実装として、タッチパネルに 1 枚のシートを貼り付けることのみでキーの凹凸を付加

することを考える。

単純にキー形状の凹凸シートを貼り付けると、キーボードを使用しないときに凹凸が操作を妨げることが予想される。これに対して本研究では視触覚クロスモーダルを用いることで、微細な凹凸の知覚閾値が画像表示によって変化する現象を利用する。

本稿では上記の手法の提案、及び手法の有効性を検証した実験について報告する。

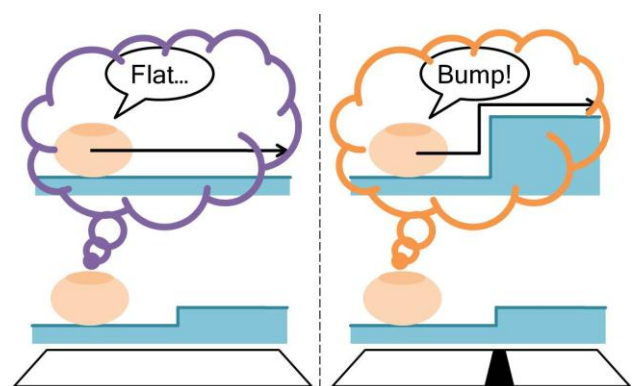


図 1 提案手法

(左: 視覚的手掛かり無し, 右: 視覚的手掛かり有り)

2. 視触覚クロスモーダルによる凹凸知覚の鋭敏化

数 μm ~ 数十 μm の凹凸は人間の触覚閾値近傍であり、その箇所を指でなぞっても凹凸が知覚されないことがある (図 1 左)。このとき凹凸のある箇所に線などの視覚的手掛かりを付加すると、とたんに凹凸が明瞭に知覚出来る場

合がある (図 1 右). 我々はこの現象を, 食品用ラップフィルムを用いて確認した. これは視触覚クロスモーダルによる凹凸知覚の鋭敏化と捉えることが出来る.

本研究では, この現象をタッチパネルへの凹凸付加に応用することを考える. 期待するシナリオは次のようなものである. キーボードの形に触覚閾値以下の微小な凹凸のついたシートをタッチパネルに貼る. 通常この凹凸はユーザーに知覚されないが, キーボードを使用するときのみキーボード画像が視覚手掛かりとなり, 凹凸が知覚される. すなわち単純な凹凸シートと視覚的手掛かりのみで, 凹凸を主観的に生成, 消失させるというものである.

視触覚クロスモーダルと触覚閾値の関係については, これまで数多く研究がなされてきた. Clarke らは, 触覚の刺激部位を見る条件と見ない条件とを比較した場合, 刺激部位を見る条件の方が触覚刺激の縞の方向弁別閾が向上したことを報告している [6]. また, Kennett らは, 触覚刺激とは関係ない視覚情報を体表面に付加した場合でも, 触覚の 2 点弁別閾が向上することを報告している [7].

しかしながら本研究の提案手法では, ユーザは触覚の提示部位は注視したままであり, また視覚的手掛かりは体表面ではなく指の下に提示される (すなわち視覚的手掛かりは指によって隠される) ことから, これらの先行研究からは提案手法の有効性を議論することは出来ない. 従って以下では, 提案手法の有効性を検証するために行った実験について報告する.

3. 視覚的手掛かりと凹凸知覚に関する実験

本研究の提案手法の有効性を検証するため, 凹凸高さや視覚的手掛かりに関する実験を行った.

3.1. 実験試料の製作

食品包装用ラップフィルム (旭化成ホームプロダクツ株式会社製, サランラップ 20 m) を用いて試料を製作した (図 2). 手順は以下の通りである.

- ① ラップフィルムを約 80 x 80 mm の大きさに切った
- ② 約 40 x 80 mm の大きさに切ったラップフィルムを, ①に気泡が入らないように密着させた
- ③ 中央に 40 x 40 mm の四角形が印刷された台紙 (図 2) に, ②を粘着セロハンテープで固定した

これにより, 表面テクスチャとしては全面がラップフィルム, かつ中央にラップフィルム 1 枚分の段差がある試料が出来る. 今回は段差の高さの影響も検証するため, ②で重ねるラップフィルムの枚数を 0, 1, 2 枚の 3 種類とした. また, 台紙に印刷された四角形の中には, 段差を挟むように青色と赤色の線 (線幅: 1.0 mm) を 20 mm の間隔で印刷した. 被験者はこの 2 つの線の間を, 指定された速さで指を移動させる. 視覚的手掛かりを提示する場合には, この 2 本の線の中央の段差部分に黒色の線分 (線幅: 0.1 mm) を印刷した (図 2 拡大図). 以上により, 段差高さ 3 種類, 視覚的手掛かりの有無 2 種類, 合計 6 種類の試料を製作した.

製作した試料の厚みを, マイクロメータ (株式会社ミツトヨ製, M320-25AA, 測定範囲: 0.000~25.000 mm, 器量: 0.001 mm) を用いて計測した結果を表 1 に示す.

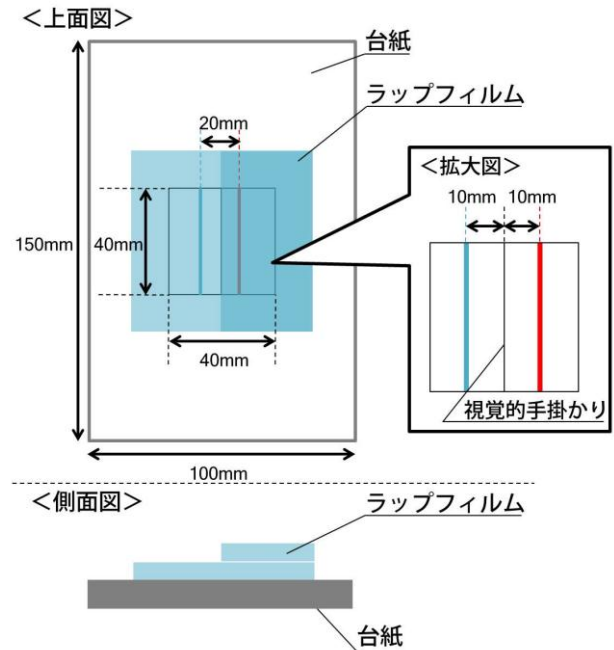


図 2 実験試料 (1 枚分の段差を設けた状態)

表 1 製作した試料の厚み

重ねたラップフィルム [枚]	段差高さ [mm]
0	0.000
1	0.014 ± 0.001
2	0.021 ± 0.002

3.2. 実験環境

実験環境を図 3 に示す. 実験は極力明かりを減らした薄暗い室内で行った (図 3 は明るい状態で撮影). これは予備実験より, 蛍光灯の下で実験を行うと段差部分が見えることが分かったためである. 試料を設置した場所の照度は 2.3 Lux であった. なお実験開始前に, 被験者が視覚的手掛かりと同じ太さの線分を視認出来ることを確認した. 被験者は椅子に座り, 試料を真上から見下ろす姿勢で実験を行った.

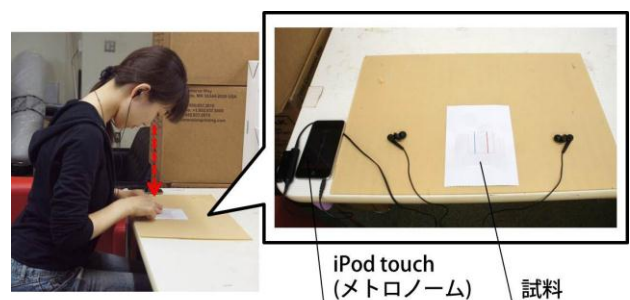


図 3 実験環境

表 2 実験データ. 横軸は試料 1, 縦軸は試料 2 の条件を示し, 数値は回答人数 (5 人中) を示す

段差高さ [mm]		試料 1																		
		0.000			0.014			0.021												
視覚的手掛かりの有無		無し			有り			無し			有り									
回答		1>2	1<2	1=2	1>2	1<2	1=2	1>2	1<2	1=2	1>2	1<2	1=2	1>2	1<2	1=2				
試料 2	0.000	無し	1	0	4	1	0	4	4	0	1	5	0	0	5	0	0	5	0	0
		有り	0	0	5	0	0	5	3	0	2	4	0	1	4	0	1	5	0	0
	0.014	無し	0	3	2	0	4	1	1	2	2	2	0	3	5	0	0	5	0	0
		有り	0	5	0	0	5	0	0	4	1	1	0	4	3	0	2	3	0	2
	0.021	無し	0	5	0	0	5	0	0	4	1	0	2	3	1	1	3	1	0	4
		有り	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0	4	1	0	1	4	0	3	2
段差高さ [mm]	視覚的手掛かりの有無																			

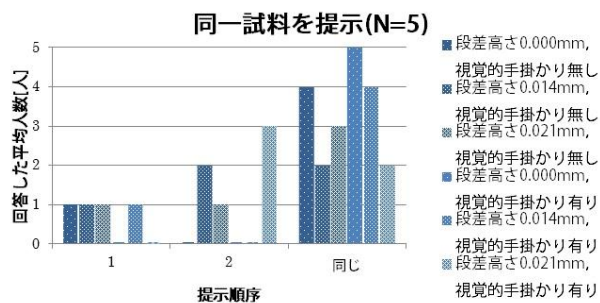


図 4 同一試料を提示した場合

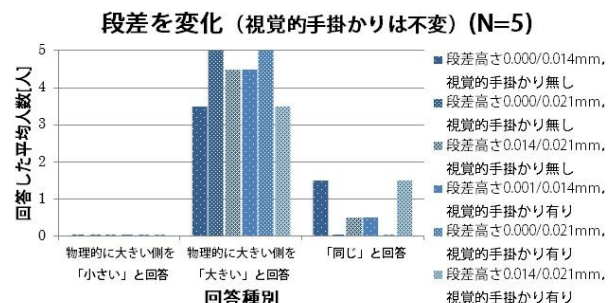


図 5 段差を変化させた場合

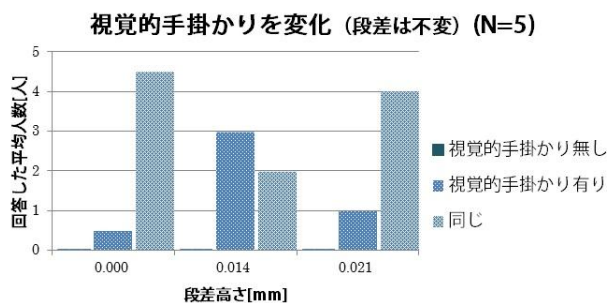


図 6 視覚的手掛かりを変化させた場合

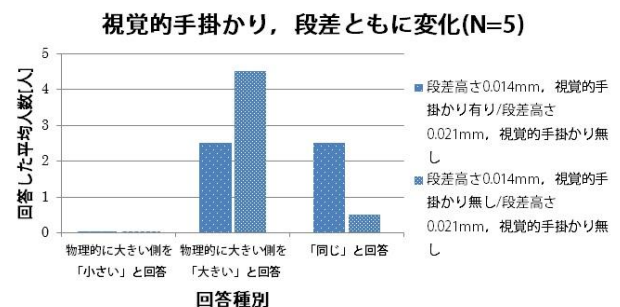


図 7 視覚的手掛かり, 段差ともに変化させた場合

被験者は青色の線から赤色の線まで右手人差し指で試料をなぞる。なぞり速度を統制するために, iPod touch からメトロノームの音を流し, 音がそれぞれの線の上でのみ鳴るように動かすよう教示した。メトロノームは 80 回/min に設定したため, 青色の線から赤色の線まで指を動かす時間は 0.75 s, 試料をなぞる速さは 26.7 mm/s であった。被験者は実験開始前に練習を行った。

被験者はまず 1 つ目の試料 1 を提示され, 音に合わせて 3 回なぞった。次に 2 つ目の試料 2 に交換され, 同様に 3 回なぞった。2 つの試料をなぞり終えた後, 「どちらの試料の段差が大きかったか」を「試料 1」「試料 2」「同じ」の 3 つから 1 つ選び口頭で回答した。以上を 1 試行とし, 6 種類の試料の組み合わせを 1 回ずつ提示して全 36 試行を行った。

被験者は 22~24 歳の 5 名 (男 3 名, 女 2 名) で, 全員右利き, 矯正視力は 0.3~1.0 であった。

3.3. 結果

実験結果を表 2 に示す。縦軸は試料 1 の条件, 横軸は試料 2 の条件であり, 数値は回答ごとの人数を示す。各試料の組み合わせで最も人数が多かった回答に色を付け, 太字で表記した。また今回最も注目したいのは視覚的手掛かりの有無によって段差知覚が変化するかどうかであるので, 試料 1, 2 の段差が等しく, かつ片方のみ視覚的手掛かりが有る条件に該当する欄を斜線で示した。

まず同一試料を 2 回提示した場合の回答平均を図 4 に示す。このグラフより, 2 つの試料の大きさは同じに知覚される確率が高く, 順序効果も見られないことが分かった。次に視覚的手掛かりを変化させずに段差のみを変化させた場合の回答平均を図 5 に示す。この結果より, 視覚的手掛かりが変化しない場合には段差を大きくした試料の段差が大きく知覚されることが分かった。

我々が注目している, 段差を変化させずに視覚的手掛かりのみ変化させた場合の回答平均を図 6 に示す。この結果

より、段差高さ 0.000, 0.021 mm の試料では視覚的手掛かりの付加による知覚の変化はないが、段差高さ 0.014 mm の試料に視覚的手掛かりを付加した際、実際には段差は変化していないにもかかわらず、段差がより大きく知覚される傾向があることが分かった。

段差高さとして視覚的手掛かりの両方を変化させた場合の効果を見るため、段差高さ 0.014 mm と 0.021 mm の組み合わせに対して、片方のみ視覚的手掛かりが有る場合の結果を図 7 に示す。比較のため、ともに視覚刺激が無い組み合わせの結果も示した。0.014 mm の段差に視覚的手掛かりを付与した場合、0.021 mm の段差に視覚的手掛かりが無い場合と同じ段差であると知覚される確率が高いことが分かった。

3.4. 考察

実験結果より、視覚的手掛かりを付加することで凹凸がより大きく知覚される可能性が示された。しかしながら今回の結果からは、本研究が提案する「視覚的手掛かりを付加することで、本来知覚していなかった凹凸を知覚させる」効果は断定出来ない。なぜなら、被験者は最も小さい段差も触覚的手掛かりのみで知覚出来ていたためである。従って今後は、通常は知覚出来ないより微小な段差を用いて実験を行う。

一方で、「視覚的手掛かりを付加しても段差の大きさは変わらない」と回答する被験者もみられた。この原因として「照度」「試料をなぞる速さ」の2つが考えられる。

まず照度に関して考察する。今回はラップフィルムを重ねた境界線を被験者に視認させないために、明かりを減らした室内で実験を行った。これによりラップフィルムの重なる境界線の視認は難しくなったが、同時に被験者が視覚情報を頼りにしなくなった可能性がある。熊崎らは、能動触による長さ知覚において、視覚のノイズが増加すると視覚優位から触覚優位になることを報告している[8]。従って、今後の実験では明かりの位置を工夫するなどの対策を行った上で、明るい環境で実験を行う。

次に試料をなぞる速さに関して考察する。今回はメトロノームを 80 回/min (= 0.75 s) に設定し、この音に合わせて 2 cm の距離をなぞった。予備実験において 140 回/min (= 0.43 s) の速さで試料をなぞったところ、80 回/min と比較して段差の知覚が難しいという内観報告を得ていた。このことから、試料をなぞる速さも段差の知覚のしやすさに影響を与える可能性がある。大岡らは、受動触知覚においては微小段差の弁別閾値は触運動速度に依存しないとしているが、能動触知覚と触運動速度に関しては論文中には言及されていない[9]。従って今後の実験では、試料をなぞ

る速さも変えて実験を行う必要がある。

4. おわりに

本稿では、簡便な実装でタッチパネルに凹凸を付加する手法として、視触覚クロスモーダルによって凹凸知覚を鋭敏化する手法を提案した。この提案手法の有効性を検証する実験を行い、手法が有効である可能性があることを確認した。今後は今回の実験の考察を元に、必要な凹凸の大きさや視覚的手掛かりの要件など、設計指針を得るための実験を行なっていく。また、試料にあらかじめ複数の凹凸を設けておき、視覚的手掛かりを移動させることで凹凸の知覚位置が変化するかについても検証を行う。仮にこの手法が実現出来れば、1枚のシートで様々な形の凹凸の提示をすることが期待される。

参考文献

- [1] Bau O., Poupyrev I., Israr A., Harrison C., : Tesla-touch: Electro vibration for touch surfaces, UIST 2010
- [2] Jansen Y., Karrer T., Borchers J., : MudPad Tactile Feedback for touch screen, CHI 2011
- [3] 嵯峨, 出口: 剪断力を用いた 2.5 次元触覚ディスプレイにおける定量的凹凸感提示方法, 第 16 回日本バーチャリアリティ学会大会論文集, 2011
- [4] 宇戸, 岡崎, 佐藤, 福嶋, 梶本, 手部への電気刺激を用いたタッチインターフェースのための触力覚提示手法の検討, インタラクシオン 2012
- [5] Tactus Technology, Inc: Taking touch screen interfaces into a new dimension, A tactus technology white paper, 2012
- [6] Taylor M., Kennett S., Haggard P., : Persistence of visual-tactile enhancement in humans, Neuroscience Letters, 354, pp. 22-25, 2004
- [7] Kennett S., Clarke M. T., Haggard P., : Noninformative vision improves the spatial resolution of touch in humans, Current Biology, Vol.11, No.15, pp.1188-1191, 2001
- [8] 熊崎, 寺田, 伊藤: 触運動による長さ知覚における視覚の役割, 電子情報通信学会技術研究報告, 106(328), pp. 1-6, 2006
- [9] 大岡, 宮岡, 河村, 三矢: 可変段差呈示装置によるヒトの表面粗さ弁別能力試験, 日本機械学会論文集 (C 編), 64 巻, 625 号, 1998