



ソフト振動アクチュエータを用いた 仮想物体の表面の質感を 能動的に探索するための触覚提示システム

Tactile System for Exploring Surface Textures of Virtual Objects
by Soft Vibration Actuator

黒川朝陽 1), 清水真陽 1), 安藤潤人 1), 野間春生 1)
Asahi KUROKAWA, Masaharu SHIMIZU, Mitsuhito ANDO, and Haruo NOMA

1) 立命館大学 情報理工学部 (〒567-8570 大阪府茨木市岩倉町 2-150, akurukawa@mxdlab.net)

概要：本研究の目的はネット上で仮想物体の表面テクスチャ感を能動的に探索できる触覚提示システムを開発することである。そのために、光学センサと触覚ディスプレイを備えたデバイスと、デバイスの動きに応じて振動を提示するシステムを開発した。評価実験では異なる線幅の縦縞の触覚表現を識別するタスクから、本デバイスを使うことにより知覚できる細かさを調査した。その結果、線幅が 0.16 mm 以上で触覚表現の細かさを知覚できることが示された。

キーワード：触覚, 触覚ディスプレイ, ソフト振動アクチュエータ

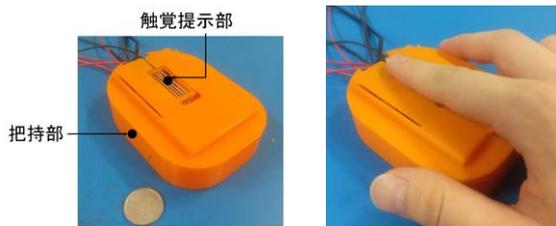
1. はじめに

ネット上で買い物をすることが日常的になっているが、写真や動画、商品説明文を見るなど視覚のみでしか商品の良し悪しを判断することができない。実際に実物を前にすることで、商品を触りながら手触りを確認し、質感を手掛かりに買い物をすることが可能である。特に衣服などの身に付ける商品に対して重要な要素となる。

表面の質感は粗さ、硬さ、温かさなど多様な触覚で知覚される。質感を十分に受け取るためには、触れるだけでなく表面をなぞる動作が必要となる。実際に誰もが表面の質感を知るためには表面をなぞる行動を取るであろう。しかしながら、ネットショッピングでは商品をなぞることができず、質感を感じることができない。そこで、本研究では PC 画面から商品の質感を感じさせることを目指す。本研究では質感の一つである粗さに注目し、画像から粗さを知覚する触覚提示システムを構築した。粗さを知覚し易くするため提案する触覚提示ではユーザのなぞり動作に合わせて触覚提示を行う。

日常的なネットショッピングで使えるような触覚提示システムはユーザが日常的な機器として扱いやすいシステムが望ましい。触覚提示手法として、超音波による手法[1]、電気刺激による手法[2]などが挙げられる。しかしながら、

装置の大型化や扱い易さの観点から日常的な機器として扱い難い問題がある。また、なぞり感を与えるデバイスとして、回転板による手法[3]が挙げられる。この手法では皮膚に継続的なせん断力を与えることでなぞり感を再現したが、回転板の素材以外のテクスチャ感を提示することは考慮されていない。そこで、本研究では、要件を満たすアクチュエータとして、ソフト振動アクチュエータ (Soft Vibration Actuator, 以下 SVA) [4]を採用した。SVA は幅広い周波数範囲で制御性が高く[5]、駆動部と提示部を一体化しているために今回の目的に合った小型化を実現できる。



(a) 概観 (b) 持ち方
図 1 ソフト振動アクチュエータ搭載のマウス

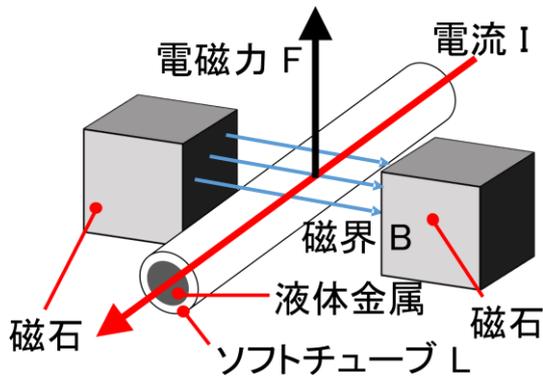


図2 SVAの仕組み

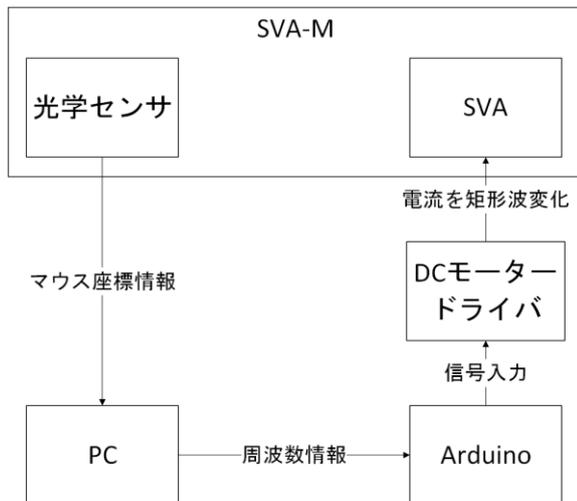


図3 SVA-Mのシステム図

2. なぞる動作に合わせた触覚提示システム

ユーザの平面上の動きに応じた振動を提示するデバイスとして、SVA マウス (Soft Vibration Actuator Mouse, 以下 SVA-M) を開発した。本デバイスはコンピュータマウスにソフト振動アクチュエータ (SVA) を組み込み、マウスカーソルの動きに応じて振動を提示する。本研究では、カーソルが黒色部にある時は 120Hz で振動を行い、白色部にある時は振動を止めるようにした。これにより、白黒で表された画像をなぞることで、振動による情報の提示が可能にした。図1は SVA-M の写真である。

SVA とは電磁力によってソフトチューブに封印された液体金属に外力を発生させ振動させるアクチュエータである[4]。本研究においては、先行研究で開発されていた SVA からチューブの本数を増やし、1 mm 間隔で四本並列した。これにより、触覚提示を行う指先の全域に対して刺激を行うことができる。光学センサ (SPCP168A) を使用してマウスの動きをセンシングした。

図3は SVA-M のシステム図である。PC 画面上のカーソルの位置の色によって SVA-M の振動する周波数を決定するようにした。これによってなぞり動作に合わせて振動を提示できる。

表1 画面と現実世界での長さの対応

| 画面上での線幅(px) | 現実世界での線幅(mm) |
|-------------|--------------|
| 1 | 0.04 |
| 2 | 0.08 |
| 4 | 0.16 |
| 8 | 0.32 |
| 16 | 0.64 |
| 32 | 1.28 |

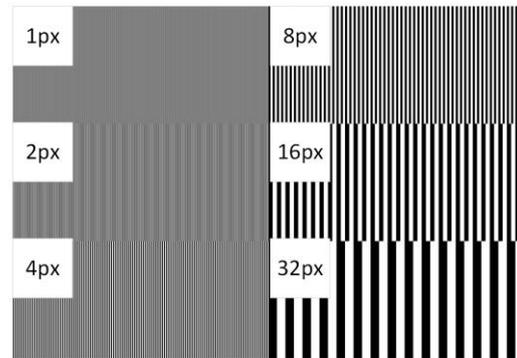


図4 実験で使った画像

3. 評価実験

3.1 実験方法

本システムを評価するため、異なる六種類の線幅の縦縞模様の画像を用いて実験を行った。図4は実験参加者に提示した六種類の画像である。画像ごとに繰り返されている黒色部と白色部の線幅の太さが異なり、線幅はそれぞれ 1 px, 2 px, 4 px, 8 px, 16 px, 32 px である。本実験環境では現実世界でデバイスを 40 mm 動かすと画面上でカーソルが 1000 px 動くという対応関係があった。表1は本実験で使った画像の線幅のそれぞれについて、画面上の画素数と現実世界での距離の対応関係である。なお、以後からは 1 px の画像を画面上で最も細かい画像、32 px を画面上で最も粗い画像として扱う。これらの六種類の画像群から一対比較を行い、どちらの画像が細かいかを判断し回答してもらった。

実験開始前には PC のディスプレイに表示した図4の画像を実験参加者に見せ、本システムでの触覚提示を体験してもらい、操作に十分慣れてもらった。実験参加者は画像を見ないで行った。実験では 1 枚目の画像を 5 秒間提示し、白色の画像を 1 秒間挟んでから 2 枚目の画像を 5 秒間提示し、再度白色の画像を提示してから回答を求めるといった流れで行った。この手順を 30 組全てについて 4 回ずつ試行した (計 120 試行)。なお、順番はランダムになっている。実験においては、ペアごとの被験者の回答のほか、マウスカーソルの座標データについても記録を行った。

3.2 実験環境

本実験で使ったディスプレイの解像度は横 1920 px、縦 1080 px で、画面の大きさは 13.3 インチ、リフレッシュレートは 60 Hz である。実験参加者は 19 歳から 23 歳の男性 5 名であり、視覚と手指に障害がないことを事前の口頭アンケートにより確認した。

3.3 結果と考察

それぞれの粗さの比較結果について述べる。表 2 はそれぞれの対比較の結果である。列は細かいと回答した画像、行は比較した画像を示している。数値は列に示している画像が細かいと回答した割合である。なお、表の数値は小数点第三位を切り上げており、それぞれのペアの回答数は 40 だった。以後、正しく細かいと回答できた割合のことを識別率と呼ぶ。32 px を含むペアは全て 0.83 以上の識別率、16 px を含むペアが全て 0.63 以上の識別率を持ち、8px を含むペアについてもほとんどの識別率が 0.6 程度となっている。対して 4 px, 2 px, 1 px の内からペアを作るような組み合わせでは、全て 0.5 以下の識別率となっていた。

この結果の回答率を元にサーストンの対比較法により細かさの尺度を算出した。図 5 は算出された尺度値である。この数値に矛盾が生じていないか内的整合性の検定を行っており、その結果内的整合性が確認されている。この尺度値は細かさの強度の相対距離を示している。そのため、簡単のために一番値の低かった 32 px の値が 0 になるよう補正したものを尺度値として用いた。

尺度値は高い順から 4 px, 2 px, 1 px, 8 px, 16 px, 32 px, という順番に並んでいた。このうち 4 px, 8 px, 16 px, 32 px の画像については、尺度値によって表された知覚した細かさの順序と、提示した画像の線幅の細かさが同じ順序となっていた。画像間の尺度値の差はそれぞれ、4 px と 8 px の間で 0.15, 8 px と 16 px の間で 0.32, 16 px と 32 px

表 2 細かいと答えた割合

| 比較画像 | | 細かいと答えた画像 | | | | | |
|--------|------|-----------|------|------|------|------|------|
| | | 1px | 2px | 4px | 8px | 16px | 32px |
| 比較した画像 | 1px | | 0.58 | 0.55 | 0.43 | 0.35 | 0.15 |
| | 2px | 0.43 | | 0.50 | 0.53 | 0.33 | 0.13 |
| | 4px | 0.45 | 0.50 | | 0.38 | 0.35 | 0.18 |
| | 8px | 0.58 | 0.48 | 0.63 | | 0.38 | 0.13 |
| | 16px | 0.65 | 0.68 | 0.65 | 0.63 | | 0.18 |
| | 32px | 0.85 | 0.88 | 0.83 | 0.88 | 0.83 | |

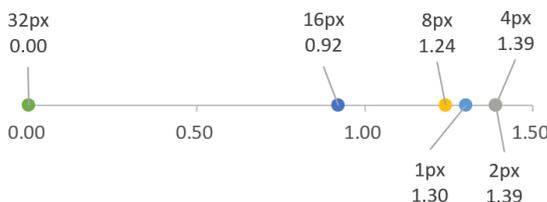


図 5 サーストンの方法によって算出された尺度値

の間で 0.92 であった。また、1px, 2px, 4px については、尺度値の順序と画像の順が逆順となっていた。

図 5 より、4 px, 8 px, 16 px, 32 px について、画像の線幅の実際の細かさと実験参加者の知覚順が同順となっていた。現実世界での線幅に直すとそれぞれ 0.16 mm, 0.32 mm, 0.64 mm, 1.28 mm である。4 px と 8 px の間に見られる差は 0.15 で、それより粗い画像同士に比べると小さいながらも、尺度値に差がある。そのため、0.16 mm から 1.28 mm までの線幅については、知覚した細かさの差が画像の細さの差に影響を受け、その差を知覚できる傾向があると考えられる。

一方、線幅がそれぞれ 1 px, 2 px, 4 px に着目すると、これらは画像の細かさに対して逆順に順番が並んでおり、識別率も全て 0.5 以下である。また、1 px, 2 px, 4 px から二つ選ぶような組み合わせの試行では、カーソルの平均移動速度はおよそ 240 px/s であった。そのため、比較的細かい画像で識別率が低かった理由として、カーソルが特定のピクセルを飛ばしていたことが原因であると考えられる。その説明を図 6 に示す。本実験での、ディスプレイのリフレッシュレートを 60Hz であったため、カーソルは 1 フレームあたりおよそ 4 px の移動が行われていたといえる。このため、カーソル位置が長い時間同じ色の上であり、振動の切り替えがうまく行われなかったことが原因であると考えられる。以上のことから、0.16 mm 以下の細かい画像では判別が難しいということが分かった。一方、0.16 mm 以上ではその細かさの差が知覚できると分かった。

4. おわりに

本研究では、ネットショッピングをするときに質感の提示を行うことを目指して、質感となぞり動作を同時に提示する触覚提示システムを開発した。システムの評価のため、異なる線幅の縦縞模様を用いた実験から提示できるテクスチャの細かさについて評価を行った。その結果、開発したシステムは 0.16 mm 以上の空間解像度で質感を提示で

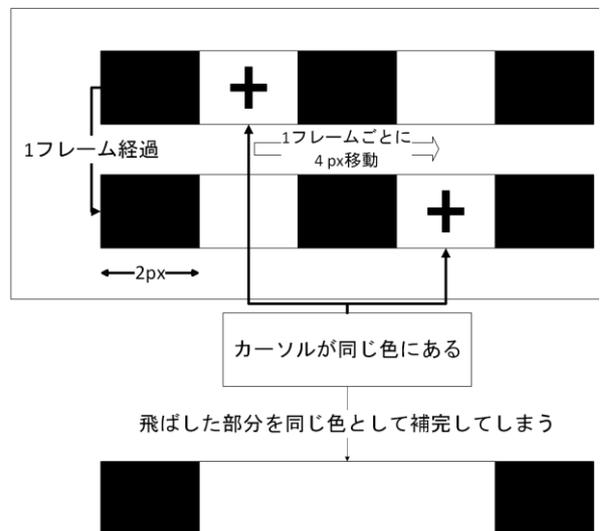


図 6 細かい画像で識別がうまく行われなかった理由

きることが示された。

今後の課題として、質感の提示をすることが求められる。現時点では単純なパターンのみを扱い、現実の物体の表面の質感を提示できているとは言えない。そこで、より詳細な質感を提示するため、SVAの周波数制御をなぞりの速度や位置に応じて行うシステムの開発する。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 22H00542 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 篠田裕之：超音波を用いた空中触覚提示，日本音響学会誌，76 巻 1 号，pp.38-45，2020
- [2] 梶本裕之，川上直樹，前田太郎，舘暲：皮膚感覚神経を選択的に刺激する電気触覚ディスプレイ，電子情報通信学会論文誌 D-II，Vol.J84-D-II，No.1，pp.120-128，2001
- [3] 加藤総真，須賀悠偉，宮上昌大，溝口泉，梶本裕之：なぞり感提示を目的とした回転版による指先触覚提示手法の検討，日本バーチャルリアリティ学会第 27 回大会論文集，2022
- [4] 新藤尚輝，安藤潤人，野間春生：触覚ディスプレイのための流体金属を用いた電磁ソフトアクチュエータの開発，日本バーチャルリアリティ学会第 27 回大会論文集，2022
- [5] 清水真陽，安藤潤人，野間春生：液体金属を用いたソフト振動アクチュエータの振動周波数応答，令和 5 年電気学会基礎・材料・共通部門大会，2023