



剪断力の記録振動方向再現による触覚再現性向上の検討

黒木詢也¹⁾, 嵯峨智¹⁾

1) 熊本大学 (〒 860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪 2 丁目 39 番 1 号, kurogi@st.cs.kumamoto-u.ac.jp)

概要: これまでに我々は X, Y 方向に振動制御可能な剪断力によるテクスチャ提示装置を用い, 記録された振動情報を X, Y 方向に正確に提示した際の触覚再現性の検証を行ってきた. 本稿では振動情報と画像情報を組み合わせることで, 以前我々が提案した振動方向再現による触覚提示手法では再現性が低かったタイルといった空間周波数が一定のテクスチャに対して, 空間的特徴が表れる方向の振動情報を記録, 提示することで触覚再現性をより向上する手法を検討する.

キーワード: 触覚, ディスプレイ, 剪断力, テクスチャ

1. はじめに

近年, スマートフォンなどの普及などによって世界中でタッチパネルが使用されるようになった. しかし, 現在のタッチパネルの多くは触覚によるフィードバックが存在しない. 研究レベルにおいては, 液晶パネルとの組み合わせを前提とした研究として, Chubb らによるスクイーズ膜を利用した摩擦変化による触覚デバイス [1] や Konyo らによる振動周波数制御と仮想ポインタを利用した触覚デバイス [2] などがある. これらの振動刺激は高い再現性を実現しているが, その振動方向は 1 次元に限定されているものがほとんどである. これは, 皮膚構造中の振動刺激を知覚する受容器が振動方向の判別を得意としていないことが既存研究により判明している [3] ためである. このことから, これまでの触覚研究では振動方向はあまり重要視されておらず, そのほとんどが振動の再生時は 1 次元の振動に限定されてきた.

我々はこれまでに X, Y 方向に振動制御可能な剪断力を用いたテクスチャ提示装置を用いて, 3 軸加速度センサにより記録された振動情報の内, X, Y 方向の振動情報を正確に提示した際の触覚再現性の検証をおこなってきた [4]. ここで提案した手法では X, Y 方向の振動情報を正確に提示することで, ランダムな空間周波数をもつテクスチャの触覚再現性が向上する可能性が示唆された. 対して, 一定の空間周波数を持つタイルといった素材の触覚再現性に関しては, 再現性が減少する傾向が見て取れた.

本稿ではテクスチャの画像情報を利用することにより, 触覚再現性が低かったタイルのような空間周波数が一定のテクスチャに対して触覚再現性をより向上させる手法を検討する.

2. 振動方向を正確に再現する触覚テクスチャ情報提示

振動情報を利用した触覚テクスチャ情報の提示は多くの研究者により様々な観点から行われてきた. 我々はこの内



図 1: タイル.

の振動方向に着目しこれまで研究を行ってきた. 以前の研究では, 3 軸加速度センサを用いて 3 次元の振動情報を記録し, 剪断力提示装置を用いて X 軸と Y 軸方向の振動を正確に再現する手法を提案した. この手法では上下左右の 4 方向に指を動かした際の振動情報を記録し, 再生時の指の移動方向に即した振動を選択して提示することにより, 指の移動方向により大きく振動が異なるテクスチャに対してもより忠実な振動情報の提示を可能にした.

しかし, この手法では 4 方向の振動が指の移動方向により逐次切り替わって提示されるため, ランダムな空間周波数をもつ振動が生成されやすく, 図 1 に示すタイルのような空間周波数が一定のテクスチャに対して再現性が低くなってしまおうという問題点があった.

3. 提案手法

本稿では, 我々が以前提案した手法を補完する形で, 画像情報を用いて空間周波数が一定のテクスチャに対しても, テクスチャの再現性を低下させずに振動を提示する手法を提案する.

Junya KUROGI, Saga SATOSHI

3.1 画像処理

まず、テクスチャの振動情報を記録する前処理として行う画像処理について説明する。これまでは、すべてのテクスチャに対して一定の方向に指を動かして振動情報を記録していた。我々は、この振動情報の取得の前にテクスチャの画像に処理を行うことで、ドミナントな方向成分を抽出し、この方向に指を動かした際の振動情報のみを取得することで効果的な振動記録、提示を可能にする。ここでいうドミナントな方向成分とは、テクスチャの空間的特徴が取得できる方向成分のことである。

以降テクスチャ画像に対して行う画像処理について説明する。画像処理は OpenCV を用いて行う。主に行う処理は以下の 4 つである。

1. エッジ強調処理
2. エッジの抽出
3. 特徴抽出
4. ドミナントな方向成分の抽出

このうちエッジ協調処理とドミナントな方向成分の抽出について詳しく説明する。なお、エッジの抽出と特徴抽出には一般的な Canny 法と Hough 変換を用いている。

3.1.1 エッジ強調処理

エッジ協調処理にはアンシャープマスクを用いる。アンシャープマスクはノーマルシャープマスクに比べて全体的なノイズを抑えることができ、滑らかな質感のものなど色の差の少ない被写体に対して有効である。実験に用いたタイルはこの条件に当てはまるため今回はアンシャープマスクを使用する。

3.1.2 ドミナントな方向成分の抽出

特徴抽出処理で抽出した直線成分を用いてドミナントな方向成分を抽出する。抽出した直線成分でできる角度を候補として格納し、振動を記録する際はこの抽出した角度に指を動かして記録することによりドミナントな方向の振動情報を取得することが可能となる。図 2, 図 3, 図 4 はそれぞれ、Canny 法, Hough 変換, ドミナントな振動方向の抽出の過程である。図 4 を見ると 0 度と 90 度付近にドミナントな方向成分が集中している。このことから、今回実験に用いたタイルは 0 度方向と 90 度方向がドミナントな方向であることが分かる。

振動情報を記録する際はここで取得したドミナントな方向の振動情報を記録し、提示の際に用いることで必要な振動情報のみを用いた振動提示が可能となる。タイルでは 0 度と 90 度の方向で格子状に特徴が存在したが、他の一定の空間周波数をもつテクスチャに対しても同様にドミナントな方向を取得することが可能であり、それらの振動情報を指の移動方向に即した形で提示することで、既存手法では再現性の低かったテクスチャに対してもより効果的に振動を提示する。

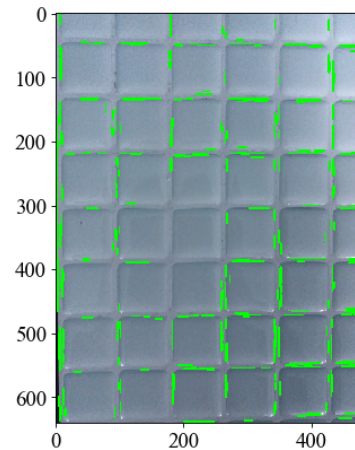


図 2: Canny 法.

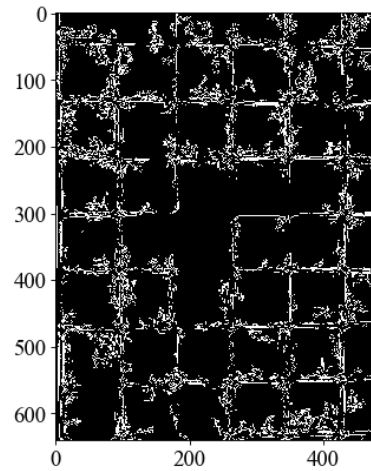


図 3: Hough 変換.

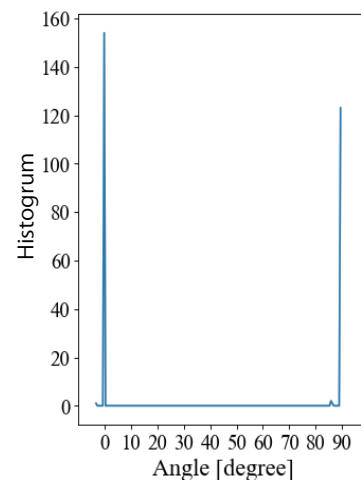


図 4: ドミナントな方向の抽出.

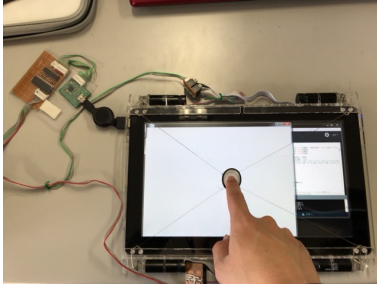


図 5: 剪断力提示装置.

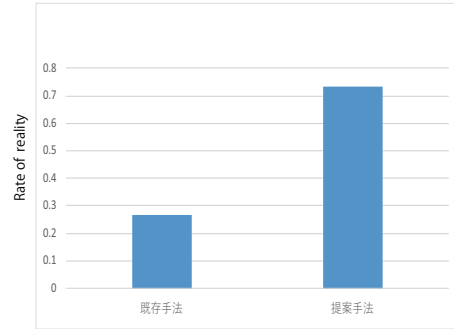


図 6: 実験結果.

3.2 振動提示

記録したドミナントな方向の振動を提示する手法について説明する．以前我々が提案した手法では上下左右の4方向の振動を記録し，再生時の指の移動方向に即した方向の振動を選択，斜めに移動した場合は線形和をとって提示した．この提示手法では，4方向の振動を再生時の指の移動方向に合わせて逐次切り替えて提示していたため，位相のずれなどが発生しやすく，X軸とY軸の振動が独立して振動していた．そのため，ランダムな空間周波数をもつ振動が生成されやすく，一定の空間周波数をもつテクスチャに対して再現性が低かった．

本稿で我々が提案する手法では，テクスチャのドミナントな方向を取得し，その方向の振動のみを記録，提示する．これにより振動情報の切り替えを最小限にし，ランダムな空間周波数をもつ振動が生成されにくくする．提示する際は，ドミナントな方向への移動の場合は記録した振動を提示し，それ以外の方向への移動の場合は記録したドミナントな方向の振動情報の組み合わせで提示する．

例えば，タイルにおいて斜め方向に指を動かした場合，0度方向の振動と90度方向の振動が記録されているため，この二つの振動を用いて表現する．この時斜めへの移動距離を r とし角度を θ とすると，0度方向に $r \cos \theta$ 移動し，90度方向へ $r \sin \theta$ 移動したと考えることができる．よって0度方向の振動を $\mathbf{a}(\mathbf{X})$ ，90度方向の振動を $\mathbf{a}(\mathbf{Y})$ とすると提示する振動 $\mathbf{a}(\mathbf{r})$ は，

$$\mathbf{a}(\mathbf{r}) = \mathbf{a}(\mathbf{X} + r \cos \theta) + \mathbf{a}(\mathbf{Y} + r \sin \theta) \quad (1)$$

で表すことができる．

4. 実験

4.1 手法の比較

既存の提示手法と今回提案した提示手法を比較し，どちらが一定の空間周波数をもつテクスチャをより再現性高く提示できるか心理的・物理実験を通じて検証する．今回実験で使用した剪断力提示装置を図5に示す．

本実験では空間周波数が一定のテクスチャとしてタイルの振動情報を利用し，実験協力者は本物のタイルと2手法（既存手法，提案手法）によって提示された仮想タイルを指で触察する．触察した2手法によるテクスチャのうち，ど

ちらがより本物に近いかを答えてもらう．1人につき5回，本実験を実施する．

実験協力者は21 - 22歳までの健康な3人の右利きの男性である．本実験中は実験協力者にはヘッドホンを着用してもらい，外部の音を遮断する．また実験中は本物のタイルと振動を提示する剪断力提示装置は被験者から見えないようにし，視覚情報も遮断する．図6に結果を示す．実験結果の評価には t 検定を用いる．

この結果から今回提案した手法が既存の手法に比べタイルの再現性が向上していることが見てとれる．また，以前の実験時に既存手法によるタイルの提示は振動が多すぎるというコメントがいくつかあった．これはX軸とY軸の振動が独立していたため，本来であれば一定の周期で特徴的な振動が発生するところがランダムな周期で特徴的な振動が発生していたためだと考えられる．しかし，今回の提案手法ではそれが軽減されているためこのような結果になったと考えられる．

5. まとめ

本稿において，一定の空間周波数をもつテクスチャの再現性の向上を目指し，画像情報を利用した振動の記録，提示手法を提案した．画像情報から取得したドミナントな方向の振動のみを用いて振動を提示することで，以前我々が提示した手法では苦手としていた，一定の空間周波数をもつタイルの再現性の向上を示した．心理物理実験の結果からも，本稿にて提案した手法が既存の手法に比べ一定の空間周波数をもつテクスチャの提示に適していることが示唆された．また，このことからドミナントな方向をもつテクスチャに関しては今回提案した手法を用いて振動を提示し，ドミナントな方向が存在しないテクスチャ（ランダムな空間周波数をもつテクスチャ）を提示する際は既存の提示手法を用いることで，より様々なテクスチャを提示可能だと考えられる．

本実験ではタイルのみを用いたため，ほかの空間周波数が一定のテクスチャに対しても同様の実験を行うことで今回の考察の妥当性を検証していく必要がある．

参考文献

- [1] Erik C Chubb, J Edward Colgate, and Michael A Peshkin: Shiverpad: A glass haptic surface that pro-

- duces shear force on a bare finger, *IEEE Transactions on Haptics*, Vol. 3, No. 3, pp. 189–198, 2010.
- [2] Masashi Konyo, Hiroshi Yamada, Shogo Okamoto, and Satoshi Tadokoro : Alternative display of friction represented by tactile stimulation without tangential force, In *International Conference on Human Haptic Sensing and Touch Enabled Computer Applications*, pp. 619–629, 2008.
- [3] AJ Brisben, SS Hsiao, and KO Johnson : Detection of vibration transmitted through an object grasped in the hand, *Journal of Neurophysiology*, Vol. 81, No. 4, pp. 1548–1558, 1999.
- [4] 黒木詢也, 嵯峨智, 有次正義 : タッチパネル上での剪断力による触覚提示手法の検討, *知覚情報研究会*, 2018.