

ハイトマップ画像特徴量と対象者属性情報に基づく 表面テクスチャの触感推定

Tactile Estimation of Surface Texture based on
Heightmap Image Features and User's Attribute Information

中西大樹¹⁾, 栗田雄一¹⁾

Hiroki NAKANISHI and Yuichi KURITA

1) 広島大学 先進理工系科学研究科 (〒 739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1,
{hirokinakanishi, ykurita}@hiroshima-u.ac.jp)

概要: 本研究では、ユーザーの属性情報を考慮することで、表面テクスチャの触感推定精度が向上するかを調査した。テクスチャをハイトマップに変換し、その画像特徴を入力として、機械学習により触覚推定を行った。その結果、被験者の性別、リスク選好、性格を考慮することで、触感の推定精度が統計的に向上することが判明した。本手法は、設計者が対象者に合わせて製品を調整するのに役立ち、触覚に基づく製品品質の向上につながると期待される。

キーワード: 触感予測, 表面テクスチャ, ハイトマップ, 顧客属性

1. はじめに

製品の表面テクスチャは、製品の見た目や機能性だけでなく、触感にも影響を与えるため、エンジニアリングやデザインの観点から重視されている。表面テクスチャの触感がユーザーの製品評価に与える影響は、従来より自動車のインテリア、化粧品ケース、食器やパッケージなど様々な場面で実証されている [1, 2, 3]。こうした、性能・機能と異なり、質感から得られる満足感や幸福感を含むユーザーと製品との間の感情的な結びつきは感性品質と呼ばれ、消費が確立されており機能性が成熟した商品において、競合に対する付加価値として重視される [4]。そこで感性品質に基づいて製品を開発するために用いられる手法として感性工学が提案されており [5]、表面テクスチャの触感においても感性工学に基づいた開発手法が研究されてきた。触感に基づいた製品開発は、設計、試作、触感評価の順番で行われ、触感評価では製品を被験者に評価してもらう手法が一般的である。しかし、試作には時間とコストが掛かり、また被験者実験を行い触感評価を行うことは非常に手間である。そこで感性工学のアプローチを利用し、設計における 3D データから触感を定量的に推定する手法が従来より提案されている [6]。しかし、従来の触覚予測法とその精度検証は、全被験者触覚評価値の平均を予測対象としており、触感が個人の好みや経験に依存すること [7] を無視しているといえる。マーケティングでは効果的な戦略を立てるために、顧客を属性情報によって細分化し、特定の顧客層をターゲットとするセグメンテーションを行う。この顧客属性は触感の異なるスマートフォンケースの購買意欲が異なることが報告されており、顧客属性によるセグメント固有の触覚嗜好があることが明らかになっている [8]。そこ

で、スマートフォンケースの触覚嗜好に限らず顧客属性による固有の触覚感覚が存在し、セグメンテーションを用いることで触覚予測機を作成することで予測精度が向上すると考えた。そこで本研究は、表面テクスチャの形状データと属性情報を利用して、属性情報に基づき作成したセグメントにターゲットを絞り触覚予測した場合、予測精度は向上するのかについて調査した。

2. データセットの作成

2.1 実サンプル作成

本研究はハイトマップを用いて触覚サンプルを作成した。ハイトマップは、各ピクセルが表面上の特定の点の高さを表す画像であり、表面テクスチャ形状を表現するデータ形式として知られる。ハイトマップデータベースである Pertex[9] から、図 1 に示すハイトマップ 35 種類を選定した。このハイトマップはカメラで物体の表面を複数の角度から撮影する手法により得られており、1024 × 1024 pixel, 256 段階の輝度値で表現される。

選択した 35 枚の各ハイトマップから最大高さの異なる 3 種類 $z_{max} = 100, 200, 300\mu\text{m}$ のサンプルを作成し、合計 105 個のサンプルを作成した。サンプルサイズは $50 \times 50\text{mm}$ に設定した。ハイトマップからシリコン型を作成し、ウレタン樹脂で成形したテクスチャシートにアクリル顔料を塗布し、アクリル板上に貼り付けるという手順により、サンプルを作成した (図 2)。

2.2 触覚評価実験

健全な大学生男女 16 名 (22.9 ± 1.2 歳, 男性 9 名, 女性 7 名) の協力の下、触覚評価実験を実施した。評価タスクと

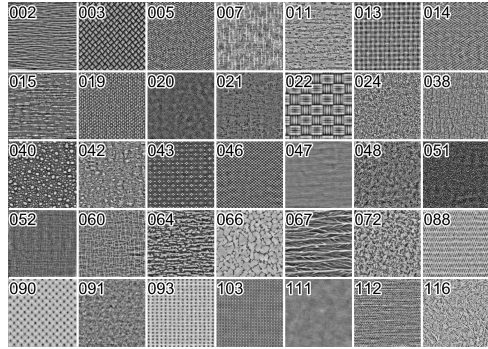


図 1: Pertex から選定したハイトマップ 35 種

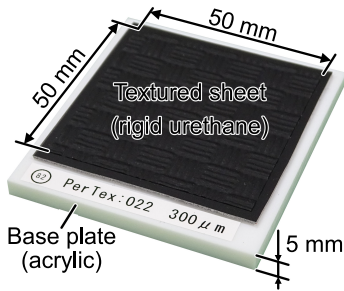


図 2: 作成したサンプルの例

して、参加者は右手示指でサンプルに自由に触れ、左手でタブレット上の 6 対の形容詞による 7 段階の SD アンケート (図 4) に基づいて試料を評価した。視覚情報の影響を排除するため不透明なアクリル板を使用し、順序効果を打ち消すために提示順序をランダムにした。また、評価タスクを 5 回行うごとに 1 分間の休憩時間を設けた。

2.3 属性情報アンケート

被験者には、統計学的属性として、性別、利き手、年齢、心理学的属性として、リスク選好、性格についてアンケートで回答してもらった (表 1)。リスク選好は、雨の日に傘を持っていく降水確率は何パーセントかという質問の回答をもとにして判断した。性格は、Big Five (外向性、協調性、勤勉性、神経症傾向、開放性) という 5 指標を測定することを目的とした、表 5 に示す TIPI-J と呼ばれる、アンケートを実施した。これらの質問項目は、角谷の研究 [8] を参考に、大学生

表 1: 属性情報アンケート

カテゴリー	項目	質問
統計学的属性	年齢	あなたの年齢を教えてください
	性別	性別を教えてください (男性/女性)
	利き手	利き手はどちらですか (右利き/左利き)
心理学的属性	リスク選好	普段出かけるときに、傘を持って出るのは降水確率が何%以上の時ですか
	性格	日本語版 The Ten-Item Personality Inventory (TIPI-J)

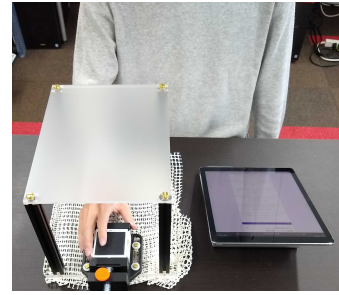


図 3: 実験の様子

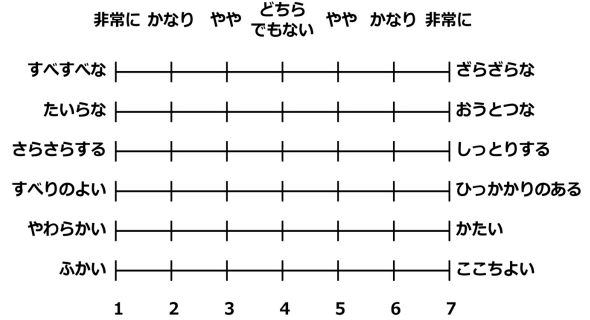


図 4: SD アンケート

においても幅広い回答が得られるものを選んだ。

3. セグメンテーション

3.1 セグメント基準

属性に関するアンケート結果をもとに、被験者の分割基準を決めた (表 2)。被験者全員が 20 代であり、左利きは一名のみであったため、性別のみを統計学的属性として用いた。リスク選好について、半数が 50% と回答したため、50% を基準として 3 分割した。性格に関しては、各 Big Five の平均値で 2 分割した。

3.2 セグメントの適切性

セグメントの適切性を調べるために評価者間評価一致度を求めた。評価者間評価一致度とは複数の評価者が同じ物事を評価した際、それらの評価がどの程度一致しているかを示す指標である。今回は評価者間一致度としてクリッペンドル

表 2: 各セグメントの定義

カテゴリー	セグメント変数	セグメント
統計学的属性	性別	男性
		女性
心理学的属性	リスク選好	リスク愛好 : 降水確率 > 50%
		リスク中立 : 降水確率 = 50%
		リスク保守 : 降水確率 < 50%
性格	性格	[Big Five] - High : 平均値以上
		[Big Five] - Low : 平均値未満

- 以下の言葉が、自分自身について当てはまるか

全く違うと思う	少し違うと思う	どちらでもない	少しそう思う	強くそう思う
1	2	3	4	5

- 活発で外交的だと思う
- 他人に不満を持ち、もめ事を起こしやすいほうだと思う
- しっかりしていて、自分に厳しいと思う
- 心配性でうろたえやすいと思う
- 新しいことが好きで、変わった考えを持つと思う
- ひかえめでおとなしいと思う
- 人に気がつかう、やさしい人間だと思う
- だらしなくてうっかりしていると思う
- 冷静で、気分が安定していると思う
- 発想力にかけた、平凡な人間だと思う

図 5: TIPI-J

フのアルファ係数 [10] を利用. 今回はアルファ係数 0.2 を基準と定め, 基準以下のセグメントを解析対象から除外することとした. ささらさらする-しっとりするはすべてのセグメント, やわらかい-かたいについては一部のセグメントの一致度が低かったためを解析対象外とした.

4. 触感推定と精度検証

4.1 触感推定手法

本研究では, 今岡の手法 [6] を用いて, 触感予測機を作成した. この方法は, ハイトマップをスケールして高さ情報を反映し, 2 次元離散ウェーブレット変換で周波数分解を行った後, 画像特徴量を抽出し, 多重共線性を回避するため部分最小二乗回帰 (PLSR) を用いて触感を予測する (図 6).

4.2 精度検証

各セグメントに対応したモデルを作成し, Nested Leave Sample Out Cross Validation により精度を評価した. ここで, PLSR の潜在変数 1~30 を候補としたグリッドサーチによるパラメータチューニングを実施した. また, セグメンテーションによる精度の向上を確認するために, 従来法として全被験者の触感評価値の平均を学習データとしたモデル, 提案法としてセグメントに当てはまる被験者のみのデータを学習データとしたモデルを作成し, この 2 モデルを比較した. 比較する精度指標として式 (1) の平均二乗誤差 (MSE: Mean Squared Error) を採用し, 2 モデルの MSE の平均が統計的に有意な差があるかどうかウィルコクソンの符号付順位検定により判定した. その結果, セグメントによっては統計的に有意な精度の向上を示し, 触感予測において対象者属性を考慮することが有効であるとわかった (表 3, 4).

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (1)$$

表 3: 検定記号

	提案法が良い場合	従来法が良い場合
$0.01 < p < 0.05$	*	*
$p < 0.01$	**	**

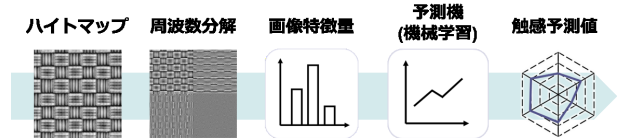


図 6: 触感推定手法 [6]

5. 考察

5.1 性別の考慮に関する考察

性別を考慮したことにより, 特に「すべすべな-ざらざらな」, 「たいらな-おうつな」に対応する粗さ感の予測精度が向上することがわかった. 従来研究においては, 男女間の触覚評価の違いは発見されており, 性別による手の大きさの違いによる神経配列の密度の違いに起因すると推察されており [11], こうした差が本研究の結果に影響したと考えられる.

5.2 リスク選好の考慮に関する考察

リスク選好を考慮することで, 特に摩擦感に関する予測精度が向上した. 角谷の研究 [8] では, リスク選好とスマートフォンケースの触感嗜好には関係があることが明らかにされており, 摩擦感は製品の持ちやすさや落としにくさに起因する安全性が原因の一つと考えられる. 今回の研究では対象製品を限定していないが, 日常的な生活の中で被験者がリスク選好に基づく特定の触感を獲得していたため, 摩擦感に対する評価がリスク選好ごとに一貫していた可能性がある.

5.3 性格の考慮に関する考察

性格を考慮することで, 一部の項目において予測精度が向上することがわかった. 従来研究においては, 外向性と大脳皮質のうち痛覚・触覚を処理する領域である一次体性感覚野の活動が関与している可能性が示唆されている [12]. しかしながら, 性格と触感の従来研究は稀であり, まだ研究が

表 4: 検定結果

ターゲット	すべすべな ざらざらな	たいらな おうつな	すべりのよい ひっかかりのある	やわらかい かたい	ふかい こごちよい
性別	男性	*	**		
	女性				/
リスク選好	愛好	*		*	
	中立			**	
	保守	**	**	**	/
外向性	High				*
	Low				*
協調性	High				
	Low				
勤勉性	High				/
	Low	*			*
神経症傾向	High				
	Low			*	/
開放性	High		*		**
	Low		*		/

十分に行われている領域ではない。本研究では、外向性も含めたビッグファイブによるセグメンテーションの妥当性が複数の箇所を確認され、特に開放性の考慮は「たいらな-おうつな」の予測に対して高い有効性が確認された。

5.4 精度が下がった箇所に関する考察

今回の研究では、提案法による予測精度が低下した箇所がいくつかあった。その原因として、被験者数が少なく母集団に対して偏りが生じたことに加え、検定手法の人数不考慮性が重なった事が挙げられる。さらに、単純にセグメントの効果が薄いことが原因である可能性もある。今回は被験者が少ない条件下で分割基準を決定したが、今後被験者を増加することで、予測に最適な分割を図れる。

6. おわりに

本研究では、対象者属性情報に基づいて触感を予測する手法を提案した。その結果、一部の予測項目については、属性情報を予測モデルに反映することで、触覚予測の精度が向上することが分かった。

本研究で得られた知見をもとに、設計者はユーザーの個々のニーズや好みに応じた最適な製品設計を行うことができる。また、消費者は自分のパーソナリティを考慮した上で、自分だけの触覚嗜好に応じた製品を選択することができる。

参考文献

- [1] M. H. Yun, H. You, W. Geum, and D. Kong, "Affective evaluation of vehicle interior craftsmanship: Systematic checklists for touch/feel quality of surface-covering material," *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, vol. 48, no. 6, pp. 971-975, 2004.
- [2] S. Ritnamkam and Y. Chavalkul, "The influence of textured surfaces of cosmetic packaging on consumers' feelings," *Environment-Behaviour Proceedings Journal*, vol. 1, pp. 123-131, Aug. 2016.
- [3] Q. J. Wang and C. Spence, "A smooth wine? haptic influences on wine evaluation," *International Journal of Gastronomy and Food Science*, vol. 14, pp. 9-13, 2018.
- [4] H. M. Khalid, "Embracing diversity in user needs for affective design," *Applied Ergonomics*, vol. 37, no. 4, pp. 409-418, 2006. Special Issue: Meeting Diversity in Ergonomics.
- [5] M. Nagamachi, "Kansei engineering: A new ergonomic consumer-oriented technology for product development," *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 15, no. 1, pp. 3-11, 1995. Kansei Engineering: An Ergonomic Technology for product development.
- [6] 今岡恭司, 山本義政, and 栗田雄一, "離散ウェーブレット変換に基づく subband height map を用いた触感推定," 第 22 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2021. 1F1-02.
- [7] M. Natsume, Y. Tanaka, and A. M. L. Kappers, "Individual differences in cognitive processing for roughness rating of fine and coarse textures," *PLOS ONE*, vol. 14, pp. 1-16, 01 2019.
- [8] Y. Kadoya, M. S. R. Khan, S. Watanapongvanich, M. Fukada, Y. Kurita, M. Takahashi, H. Machida, K. Yarimizu, N. Kimura, H. Sakurai, K. Nakamura, and R. Ebara, "Consumers' willingness to pay for tactile impressions: A study using smartphone covers," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 85180-85188, 2022.
- [9] F. Halley, "Perceptually relevant browsing environments for large texture databases," 2012.
- [10] K. Krippendorff, "Computing krippendorff's alpha-reliability," 2011.
- [11] R. M. Peters, E. Hackeman, and D. Goldreich, "Diminutive digits discern delicate details: Fingertip size and the sex difference in tactile spatial acuity," *Journal of Neuroscience*, vol. 29, no. 50, pp. 15756-15761, 2009.
- [12] M. Schaefer, H.-J. Heinze, and M. Rotte, "Touch and personality: Extraversion predicts somatosensory brain response," *NeuroImage*, vol. 62, no. 1, pp. 432-438, 2012.