

視触覚同時提示時に求められる一致性（第2報） —触覚テクスチャ固定時の視覚テクスチャの許容範囲の検討—

Consistency Required for Visual and Tactile Presentation (II)

- allowable range of visual texture for fixed tactile texture -

山口 瞬（電気通信大学） 金子 征太郎（電気通信大学）
梶本 裕之（電気通信大学）

Shun Yamaguchi, University of Electro Communications, yamaguchi@kaji-lab.jp
Seitaro Kaneko, University of Electro Communications
Hiroyuki Kajimoto, University of Electro Communications

As a method of imparting a tactile sense to the VR experience, a method has been proposed in which the experimenter actually touches an object of the same material as the object visually displayed in the VR space. However, with this method, it is necessary to prepare the same number of objects as the type of the object in the VR space. In this research, we aim to measure the boundary at which humans perceive the difference between visual information and tactile information when presenting visual information by video and tactile information by real object at the same time, and we conducted measurement experiments using constant method and limit method went.

Key Words: Texture perception, Cross Modal, Psychophysical experiment

1. はじめに

VR空間中表示するオブジェクトと同じ材質の現実の物体を用意し、実際に体験者に触らせる手法が、触覚提示を行ういくつかの研究で採用されてきた[1]。この手法では現実の物体を触覚提示に使用することで、物体に触れる感覚と物体表面のテクスチャ情報をリアルに表現できるという利点がある。その反面、VR空間中表示するオブジェクトと同じ種類の物体を現実空間に用意しなければいけないという欠点も持ち合わせている。この欠点を解消する1つの方法として、少数種類の現実の物体を用いて複数種類のVR空間上のオブジェクトの触覚提示を行う方法が考えられる。この場合、VR空間上の視覚情報と現実の触覚情報にどれだけ差があったとき人は見ているものと触っているものが違うと認識するか検証する必要がある。

本研究は、映像による視覚情報と現実の物体による触覚情報を同時に提示した際に人間が視覚情報と触覚情報の違いに気づく許容範囲を測定し、必要な触覚テクスチャの数と種類を同定することを目的としている。第1報[2]ではその第一歩として、視覚刺激を固定し触覚刺激を変更する条件で、1次元の凹凸幅の弁別に関する恒常法による測定実験を行った。本稿では第1報の実験とは対照的に触覚条件を固定し視覚条件を変更する測定実験の設計を行った。実験設定が容易になることで測定精度の向上が見込めるとともに、より現実の問題設定に近い状況になると考えられる。

2. 関連研究

ヘッドマウントディスプレイ（以下HMD）装着型のVRシステムの研究において、視覚情報を操作することで体験者に現実とは違った動きをさせる試みが多くなされている。例えば、AzmandianらのHaptic Retargeting[3]は、HMDに映す映像を体験者に気づかれないように操作し、単一の物体で複数のVR空間上のオブジェクトの触覚を表現している。また松本らのMagic Table[4]は、首の回転や方向転換による映像の回転角度を操作し、四角形のテーブルのみで三角形や五角形のテーブルをなぞる行動を違和感なく表現している。このように、映像を用いて身体運動やオブジェクトの形状を表現すること

に成功した例は多いが、物体表面のテクスチャに対する例は筆者らの知る限り存在しない。

一方、視覚と触覚によるテクスチャ弁別を測定した研究は多くあり、古くは少なくとも1960年代から行われていた。Klaczekら[5]やErnstら[6]は、物体の形状やサイズは主に視覚により知覚されることを示している。対してHeller[7]は、テクスチャは視覚よりも触覚が認識に使われることを示している。Bergmannらの研究[8]は96種のテクスチャを視覚のみおよび触覚のみで知覚し粗さ順に並べさせる被験者実験でさらに細かい検証を行っている。その結果、0.1mm未満の幅のテクスチャに対しては触覚の精度がよく、1mm幅のテクスチャに対しては視覚の精度がよいと結論付けている。一方で、黒木らの研究[9]では自然物の画像をもとに3Dプリンターで印刷したテクスチャを試料に使い測定実験を行ったが、ほとんどのテクスチャを弁別できなかった。黒木らは当結果について人間の複雑な空間構造の識別能力は鈍感である可能性があるとの結論づけている。

これらの研究結果はいずれも本研究にとって重要な事実である。

3. 計測系

計測系は第1報で製作したものを改良し使用した。以下、第1報からの変更点を挙げる。

3.1 テクスチャ

本実験は触覚刺激1つに対し視覚刺激を変えていく手法に変更したため、触覚刺激に使用する物理的なテクスチャの種類が減った。使用したのは1.6mm, 2.0mm, 2.4mmの3種のテクスチャのみである。いずれも第1報の実験の際に使用したものと同一である。

3.2 実験装置

第1報の際には手動で物理テクスチャの種類変更を行っていたが、本実験では実験進行の効率化のため、ステップモータ(Mercury Motor, ST-42BYH1004)を駆動する動作系を採用した。(Fig.1) ステッピングモータにはバイポーラステップ

ングモータドライブ IC (ST, L6470) を使用したモータドライブ回路が接続されており、マイクロコントローラ (mbed, LPC1768) からの SPI 通信で制御されている。マイクロコントローラは PC 側からのシリアル通信によってモータを動かす信号を決定している。



Fig.1 New Experiment Equipment

4. 実験

4.1 目的

第 1 報では視覚刺激 (テクスチャの溝間隔) を固定し触覚条件を変更していた。本実験では逆に触覚刺激を固定し、視覚刺激を変える実験を通して、視覚-触覚間の差異の許容範囲に違いがみられるかどうかを確認する目的で行う。現時点では本実験は行っておらず未だ準備段階だが、以下では今後行う予定の実験の手法について述べる。

4.2 上下法

本実験では極限法の一つである上下法 (Staircase Method) を用いた。この方法では、比較刺激は基準刺激に対して容易に違いを識別できるものを開始点とし、基準刺激に近づくように比較刺激を段階的に変化させていく。ある時点で回答の正誤が変わった際、今度は逆に基準刺激から遠ざかるように比較刺激を段階的に変化させる。以上の行程を数回繰り返すことで弁別の閾値を割り出すのが階段法のおおまかな手法である。

本実験では実験をより効率的に行うため、上下法の中でも効率的に 75% 閾値を導出できる手法として Kaernbach[10] が提案した 1down3up 法を採用した。1down3up 法は基準刺激から遠ざかる方向へ比較刺激を変える際に近づくときと比べ変化量を 3 倍にする方法であり、どちらも等量で変化させるときより大幅に回数を効率化できる手法である。

本実験では触覚刺激を基準刺激、視覚刺激を比較刺激として上下法を適用する。まず視覚刺激のテクスチャ幅の初期条件は触覚テクスチャのテクスチャ幅 $\pm 1\text{mm}$ に設定し、触覚刺激に近づく方向に幅を 0.64mm ずつ変化させる。そして回答の内容が変化した時点 (例えば「視覚の方が小さい」という回答が「大きい」になった時点) で幅の増減を反転させる。反転したあとは 1 段階ごとの変化量を半分にし、 0.32 の 3 倍の 0.96mm ずつ触覚刺激の幅から遠ざける。(変化量を半分にしていくやり方は蜂須ら[11]の研究を参照した。) このように回答が変わった時点で変化量を 0.16mm , $0.08 \times 3\text{mm}$, ... $0.01 \times 3\text{mm}$ と変化させつつ変化の増減を反転することで回答

が収束する点を探索する。今回は 6 回回答が変わった時点の値を 75% 閾値として記録する予定である。

4.3 実験条件

本実験では触らせるテクスチャを 3 種類 (幅が 1.6mm , 2.0mm , 2.4mm) 用意した。それぞれの触覚条件に対して視覚刺激の初期条件を 2 種類 (触覚刺激 $+1\text{mm}$ 幅と -1mm 幅) 設定した。また、予備実験で指腹全体を使って触るよりも指先を使って触った方がテクスチャの凹凸をより判別しやすくなる可能性を見出したため、本実験では指の姿勢として指腹で触る場合と指先で触る場合で実験条件を分けた。(Fig.2)

以上、触覚テクスチャ 3 種、視覚テクスチャの初期条件 2 種、触り方 2 種の組み合わせにより 12 種の実験条件で実験を行い、被験者 1 人につき各条件 1 試行ずつ計 12 試行を体験させる予定である。

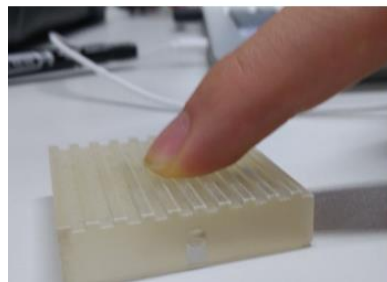
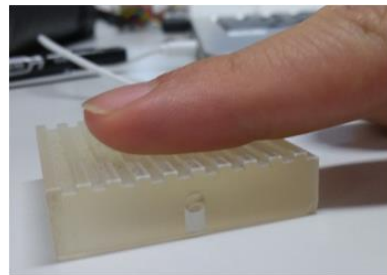


Fig.2 (upper) Touching with finger belly, (lower) Touching with fingertip

4.4 実験手順

被験者に実験についての説明を行ったあと、実験者が OptiTrack マーカーを被験者の利き手の人差し指に装着し、実験を開始する。

まず各試行の最初に、電子秤を用いてテクスチャを 100g ~ 200g の力で触る練習を行う。(Fig.3) これは各試行および被験者間で指にかかる力のある程度揃えるために行う。

練習が終わったあと、被験者には鏡に映された映像を見ながら現実のテクスチャに触ってもらう。十分に体験が終わった時点で触ったテクスチャを基準としたときの映像テクスチャの幅について、「大きい」および「小さい」の強制 2 択で回答させる。被験者が回答を終えたら視覚条件を変え、また触ってもらうという手順を繰り返していく。4.2 項で述べたように回答が変わったら 1 段階ごとの変化量を半分にしたうえで増減を反転させ、6 回回答が変化した点を閾値として記録する。ここまですべてを 1 試行として、条件を変えて計 12 試行を行う。



Fig.3 Measurement of pushing force with a finger

5. まとめ

本研究では、映像による視覚情報と現実の物体による触覚情報を同時に提示した際の人間のテクスチャ弁別能力に関する測定として、1次元の凹凸幅の弁別に関する測定実験を設計した。今後は本実験を行い、視覚-触覚間の差異の許容範囲についてさらなる理解を深めたい。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP15H05923 の助成を受けた。

参考文献

- [1] Brent Edward Insko, "Passive Haptics Significantly Enhances Virtual Environments", doctoral dissertation of the University of North Carolina at Chapel Hill, 2001.
- [2] 山口瞬, 金子征太郎, 梶本裕之, "視触覚テクスチャ同時提示時に求められる一貫性 -ライン状グレーティングを用いた場合の検討-", 第23回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2018.
- [3] Mahdi Azmandian, Mark Hancock, Hrvoje Benko, Eyal Ofek, Andrew D. Wilson, "Haptic Retargeting: Dynamic Repurposing of Passive Haptics for Enhanced Virtual Reality Experiences", CHI '16 Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 1968-1979, 2016.
- [4] Keigo Matsumoto, Takeru Hashimoto, Junya Mizutani, Hibiki Yonahara, Ryohei Nagao, Takuji Narumi, Tomohiro Tanikawa, Michitaka Hirose, "Magic Table: Deformable Props Using Visuo Haptic Redirection", SA '17 Emerging Technologies, 2017.
- [5] Klatzky, R.L., Lederman, S.J., Reed, C.L., "Haptic integration of object properties: texture, hardness and planar contour", J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform. 15, pp. 45-57, 1989.
- [6] Ernst, M.O., Banks, M.S., "Humans integrate visual and haptic information in a statistically optimal fashion", Nature 415, pp. 429-433, 2002.
- [7] Heller, M.A., "Texture perception in sighted and blind observers", Percept. Psychophys. 45, pp. 49-54, 1989.
- [8] Bergman Tiest, W.M., Kappers, A.M.L., "Haptic and visual perception of roughness", Acta Psychol. (Amst). 124, pp. 177-189, 2007.
- [9] Scinob Kuroki, Masataka Sawayama, Shin'ya Nishida, "Haptic Texture Perception on 3D-Printed Surfaces Transcribed from Visual Natural Textures", EuroHaptics 2018, LNCS 10893, pp. 102-112, 2018.
- [10] Christian Kaernbach, "Simple adaptive testing with the weighted up-down method", Perception & Psychophysics 1991, pp. 227-229, 1991.
- [11] Taku Hachisu, Hiroyuki Kajimoto, "Vibration Feedback Latency Affects Material Perception During Rod Tapping Interactions", IEEE Transactions on Haptics, Vol. 10, No. 2, APRIL-JUNE 2017, pp. 288-295, 2017.