



視触覚テクスチャ同時提示時に求められる一致性 —ライン状グレーティングを用いた場合の検討—

山口瞬¹⁾, 金子征太郎¹⁾, 梶本裕之¹⁾

1) 電気通信大学 大学院情報理工学研究科

(〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {yamaguchi, kaneko, kajimoto}@kaji-lab.jp)

概要: VR 体験に触覚を付与する方法として, VR 空間に視覚的に表示するオブジェクトと同じ材質の物体を実際に体験者に触らせる手法が提案されてきた. しかしこの手法では VR 空間上のオブジェクトの種類と同じ数の物体を用意する必要がある. 本研究の目的は, 視覚的にも触覚的にもテクスチャを提示する状況で 2 つのモダリティが合っていると感じられるための条件を明らかにすることで用意すべき触覚テクスチャの種類を具体化することである. 本稿では特にライン状グレーティングを用いた場合に一致していると感じる空間周波数の範囲を検討した.

キーワード: テクスチャ知覚、クロスモーダル、視触覚

1. はじめに

VR 空間上に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 VR システム・コンテンツに関する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 空間に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, 1 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. その場合 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知覚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弁別閾を測定し, 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. 本稿ではその第一歩として, 1 次元の凹凸幅の弁別に関する測定実験を行った.

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は, 視覚情報を操作することで体

Shun YAMAGUCHI, Seitaro KANEKO, and
Hiroyuki KAJIMOTO

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[2]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[3]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変調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. Klazkey ら[4]や Ernst ら[5]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[6]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[7]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.

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. しかし, 本研究のように映像による視覚と現実物体による触覚を同時かつ動的に提示した際の検証が必要になる.

3. 計測系

図 1 に実験システム全体図の様子を示す。

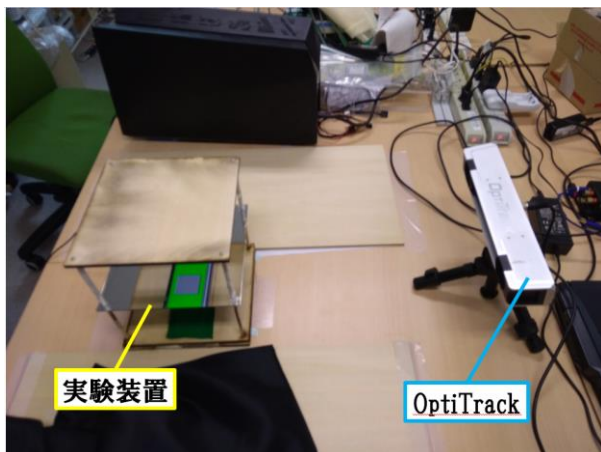


図 1: 実験システム全体図

3.1 テクスチャ

本実験ではアクリル製の 1 次元テクスチャの試料を 3D プリンタで製作し使用した。試料の大きさは $4\text{cm} \times 4\text{cm} \times 1\text{cm}$ で統一し、テクスチャ幅が 1.0mm, 1.2mm, 1.4mm, 1.6mm, 1.8mm, 2.0mm, 2.2mm, 2.4mm, 2.6mm, 2.8mm, 3.0mm の 11 種類のテクスチャを製作した。

3.2 実験装置

本実験では視覚と触覚の乖離から起こる知覚への影響を無くすために、現実のテクスチャと同じ位置にテクスチャの映像を投影することが好ましい。これを実現するために図 2 のような実験装置を製作した。

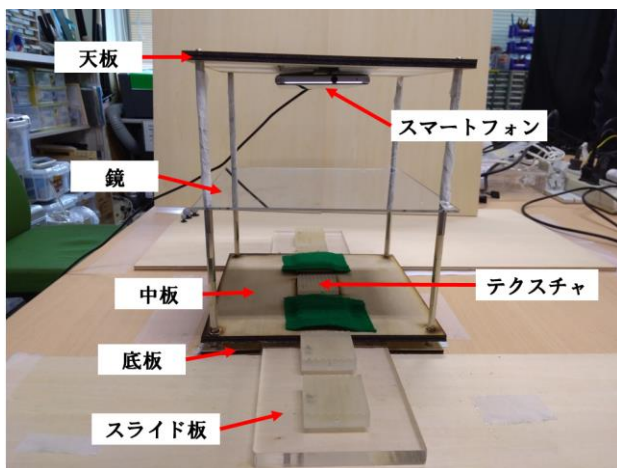


図 2: 実験装置の構造

実験装置は映像提示用のスマートフォンを貼りつけたベニヤ製の天板、鏡のアクリル板、テクスチャをはめ込むベニヤ製の中板、実験に使用するテクスチャを横 1 列に貼付したアクリル製のスライド板、ベニヤ製の底板から成る。天板から鏡までの距離と中板から鏡までの距離を等しくしたことにより、テクスチャの映像が現実のテクスチャと同じ位置に表示される。(図 3)

また、実験中の試料の交換はスライド板を左右に動かし、

中板の穴にはめ込むこととした。この際、スライド板の左右にはみ出した部分によって被験者がテクスチャの種類を推測することを防ぐために暗幕で覆った。

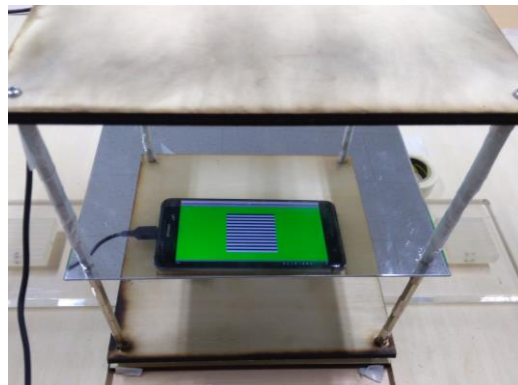


図 3: 映像を投影した様子

3.3 指位置の映像への反映

指位置の計測には 3D トラッキングシステムの OptiTrack (NaturalPoint, V120: Duo) を使用した。被験者の指に図 4 のように再帰性反射材マーカを指に付け、計測された座標をプログラムに送ることで映像に指位置を反映した。マーカへの接着は両面テープで行った。



図 4: 指に装着した OptiTrack マーカー

テクスチャと指の映像は Unity プログラムで製作した。映像のクオリティが実験結果に影響しないように映像は極力記号的なものとし、テクスチャの凹凸は白黒の縞模様で表現し、指位置は指先のみ赤色のポインターで表示することとした。(図 5)

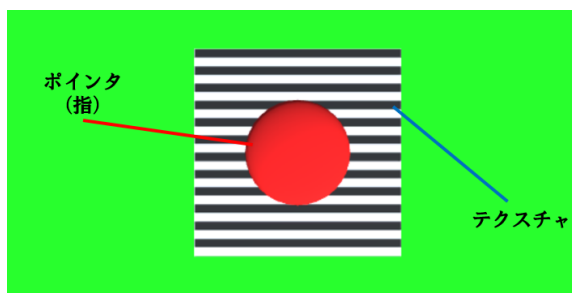


図 5: 実験に使用した映像

4. 実験

4.1 実験の目的

本実験では、視覚を付与した際に1次元の凹凸テクスチャを用いた場合のテクスチャ弁別閾を計測することを目的とする。具体的には、被験者にテクスチャの映像を見せながら現実のテクスチャを触ってもらい、映像のテクスチャ幅を基準として触っているテクスチャの幅の大小を回答させた。

4.2 被験者

研究室のメンバー6人(男4人, 女2人, 21歳~24歳)が被験者として参加した。うち1人が左利きで, 残り5人は右利きだった。

4.3 実験条件

本実験では映像に映すテクスチャ3種類(幅が1.6mm, 2.0mm, 2.4mmの縞模様)にテクスチャ試料7種類を組み合わせ合わせて21種類の実験条件を設けた。映像と試料の組み合わせは表1の通りである。

表 1: 映像と試料の組み合わせ一覧

映像条件	試料
1.6mm	1.0mm, 1.2mm, 1.4mm, 1.6mm, 1.8mm, 2.0mm, 2.2mm
2.0mm	1.4mm, 1.6mm, 1.8mm, 2.0mm, 2.2mm, 2.4mm, 2.6mm
2.4mm	1.8mm, 2.0mm, 2.2mm, 2.4mm, 2.6mm, 2.8mm, 3.0mm

被験者には映像と試料の組み合わせ1つにつき10試行ずつ実験を行い, 1人あたり計210試行を行った。実験を行う際には, 映像条件ごとに70試行を1セットとして, セット間で時間を置いて1セットずつ実験した。

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 マーカーを図4のように被験者の利き手の人差し指に装着し, 実験を開始した。

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った。テクスチャに触れる際の指を動かす向きや速さは特に指定しなかった。ただし, 体験中は指を静止させることなく動かし続けるよう指示した。その後, 被験者に映像のテクスチャを基準としたときの触っているテクスチャの幅について, 「大きい」および「小さい」の強制2択で回答させた。テクスチャに触れる時間は被験者

に委ね, 好きなタイミングで質問に回答してもらった。

以上のテクスチャに触ってから質問に回答するまでの流れを1試行として, 70試行3セットの実験を行った。試行の間にはテクスチャ試料を交換するフェイズを設けた。このフェイズ中には被験者に目をつぶってもらい, これから触れるテクスチャが分からないように配慮した。

5. 結果

図6は被験者全員のデータを平均したものをロジスティック回帰分析して求めた曲線グラフである。横軸の値は映像のテクスチャ幅と実際の凹凸テクスチャのテクスチャ幅の差であり, 縦軸は映像よりも試料のテクスチャ幅が大きいと回答した割合を示す。曲線は映像の条件(1.6mm(赤), 2.0mm(緑), 2.4mm(青))ごとに分けて描かれている。y軸に平行に引かれている破線は, 各色に対応する曲線の17%と83%の部分に引いた直線である。また, 表2は図の曲線についてのデータをまとめたものである。表2中の主観的等価点と標準偏差はロジスティック回帰分析によってフィッティングした曲線における50%の点と標準偏差を表す。

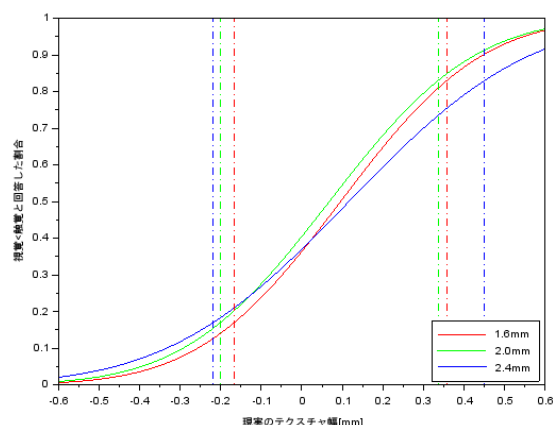


図 6: 実験データのロジスティック回帰分析結果

表 2: ロジスティック回帰分析結果の数値

映像 [mm]	主観的等価点 [mm]	標準偏差	17%のときの値 [mm]	83%のときの値 [mm]
1.6	1.696	0.2744	1.434	1.958
2	2.068	0.2811	1.800	2.336
2.4	2.516	0.3505	2.182	2.851

実験結果に見られた傾向として, 映像のテクスチャ幅が広がるほどデータの分散が大きくなった。特に映像2.4mmのとき, ほかの条件と比べて顕著に分散が大きくなった。全体的に映像のテクスチャ幅が広いほど分散は大きくなる傾向にあるが, 2.4mmのときは特に大きい値をとっているのが分かった。

6. 考察

今回の実験結果から, 映像でテクスチャの視覚情報を与えながら現実のテクスチャに触らせた場合には, 視覚のテ

クスチャ幅が広がるほど弁別能力が低下する可能性が示された。

2項で挙げた Bergmann らの研究[7]では 0.1mm 未満の幅のテクスチャのときは触覚の精度がよく、1mm 幅のテクスチャのときは視覚の精度がよいという結果が出ているが、1mm 幅以上のテクスチャについては言及されていない。仮に幅 1mm 以上のとき、テクスチャ幅が広がるほどテクスチャ弁別能力において視覚の支配度が向上するのであれば実験結果の傾向の説明がつく。今後、視覚や触覚の条件をさらに増やしたうえでより精密に本格的な実験を行う必要があるであろう。

7. 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初歩的な測定として、1次元の凹凸幅の弁別に関する測定実験を行った。その結果、視覚情報におけるテクスチャ幅が広いほどテクスチャ弁別能力が低下する傾向を確認した。

今後は 1次元凹凸についてのさらなる実験で今回見られた傾向について検証を続けていく。また、ゆくゆくは1次元以上の複雑なテクスチャにおいても計測を行い、VR空間上におけるテクスチャ弁別能力について一般的な結論を得たい。

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] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Ernst, M.O., Banks, M.S.: Humans integrate visual and haptic information in a statistically optimal fashion, Nature 415, pp. 429-433, 2002.
- [6] Heller, M.A.: Texture perception in sighted and blind observers, Percept. Psychophys. 45, pp. 49-54, 1989.
- [7] Bergmann Tiest, W.M., Kappers, A.M.L.: Haptic and visual perception of roughness, Acta Psychol. (Amst). 124, pp. 177-189, 2007.