



視触覚同時提示時に求められる一致性 (第 3 報)

- 精細テクスチャにおける許容範囲の検討 -

Consistency Required for Visual and Tactile Presentation (III) - allowable range about fine texture -

山口瞬¹⁾, 金子征太郎¹⁾, 梶本裕之¹⁾

Shun Yamaguchi, Seitaro Kaneko and Hiroyuki Kajimoto

1) 電気通信大学

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

概要: 本研究の目的は, 映像による視覚情報と現実の物体を使った触覚情報を同時に提示した際に, 人間が視触覚の違いを認識できない範囲 (以下, 許容範囲) を測定し, VR 空間上の物体の触覚表現に求められるクオリティを調査することである. これまでは視覚を基準に触覚を比較する形式で測定実験を行っていたが, 本報告では 1.6mm~2.4mm の比較的粗いテクスチャについて触覚を基準に視覚を比較した実験の結果と, 1mm 以下の細かいテクスチャを含めた実験についての計画を述べる.

キーワード: 触覚, クロス・マルチモーダル, テクスチャ知覚, 心理物理学実験

1. はじめに

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において, VR 空間中のオブジェクトと同じ材質の現実の物体を被験者に触らせる触覚提示手法が採用されてきた[1]. この手法では, 現実の物体を用いて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. しかし, これまでの研究では VR 空間に表示するオブジェクトと同じ種類の数だけ物体を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. システムで使用する物体の数を減らすために, 1 種類の現実の物体で複数種類の VR 空間中のオブジェクトの触覚表現を行う方法が考えられるが, 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の違いを知覚するか検証する必要がある.

本研究の目的は, 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を知覚できる範囲 (許容範囲) を測定することである. これまでの報告[2][3]では, 1.6mm~2.4mm の比較的粗いテクスチャについて視覚を基準に触覚を比較した際の許容範囲の計測結果と, 触覚を基準に視覚を比較する実験の計画について述べた. 本報告では第 2 報で計画した実験の結果と, 1mm 以下の細かいテクスチャを対象を含めた実験についての計画を述べる.

2. 実験 1: 触覚基準で視覚刺激を評価した際の許容範囲

この項では, 第 2 報[3]で計画した実験の結果について述べる.

2.1 実験手法

実験 1 は触覚刺激を固定し, 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を計測する目的で行った. 実験では被験者にディスプレイに映ったテクスチャを見ながら現実のテクスチャに触ってもらい, 触覚と比べて映像のテクスチャの凹凸幅の大小を回答してもらった.

(図 1)

実験は上下法[4][5]で行った. 現実のテクスチャより 1mm 大きいおよび小さい凹凸幅の映像テクスチャから始め, 映像テクスチャの凹凸幅を段階的に触覚テクスチャの凹凸幅に近づけていった. ある時点で被験者の回答が「小さい」から「大きい」, もしくは「大きい」から「小さい」に変わったところで, 今度は凹凸幅を触覚から段階的に遠ざけていった. 以降, 回答が変わるたびに映像テクスチャの凹凸幅の増減を反転させ, 通算 6 回目の回答が変わった点を 75% 閾値として記録した.

以上の手順を 1 試行として, 触覚テクスチャ 3 条件 (1.6mm, 2.0mm, 2.4mm) と映像テクスチャの初期条件 2 条件 (触覚+1mm, 触覚-1mm) の組み合わせ 6 条件において 1 試行ずつ実験を行った. なお, 第 2 報の時点では被験者のテクスチャの触り方についても実験条件を設ける予定だったが, 被験者ごとの統制が難しかったため本報告では採用していない.

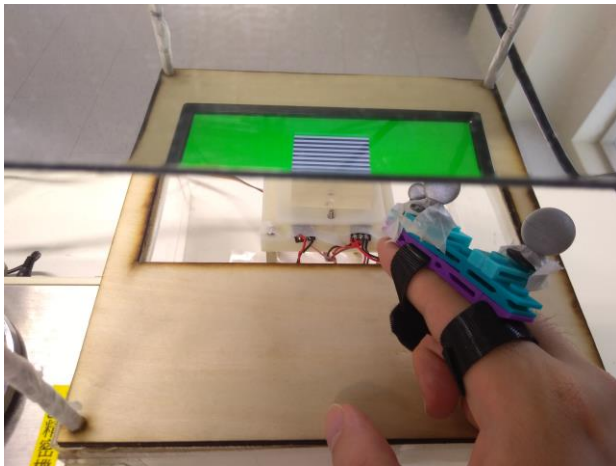


図 1: 実験 1 の様子

2.2 実験結果

全被験者内のデータの平均と標準偏差を以下の表 1 に示す。また、図 2 は表 1 の 75% 閾値を触覚刺激と視覚刺激の 2 軸上にプロットし、最小二乗法で直線フィッティングしたグラフである。赤・青の線はそれぞれ許容範囲の最大値と最小値に、緑の線は最大値と最小値の中間値にフィッティングした線である。

表 1: 実験 1 の結果

触覚条件	1.6mm		2.0mm		2.4mm	
視覚初期条件	0.6mm	2.6mm	1.0mm	3.0mm	1.4mm	3.4mm
75% 閾値の平均値	1.330	1.600	1.516	1.962	1.736	2.378
標準偏差	0.483	0.466	0.450	0.434	0.540	0.626

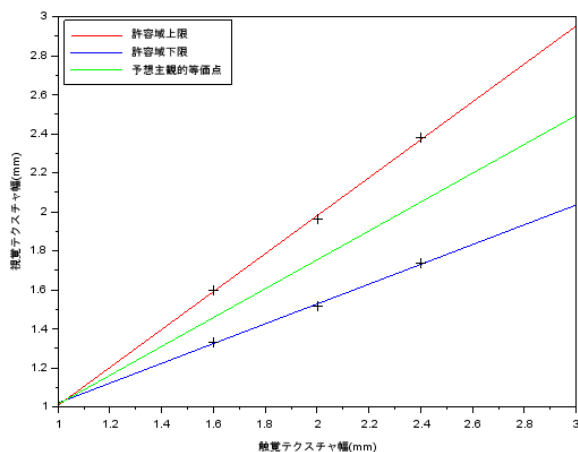


図 2: 許容範囲の直線近似結果

実験の結果、基準の触覚テクスチャの凹凸幅が大きくなるほど許容範囲は線形に広がっていく傾向にあることが分かった。第 1 報[2]の結果においても基準刺激の大きさと許容範囲の広さに微かに正の相関がみられていたが、この実験ではより顕著な傾向となって現れた。許容範囲の大き

さは視覚を基準に触覚を比較させた第 1 報と比べ基準が 1.6mm のときのものはやや減少したが、他の 2 条件は第 1 報とほぼ同じ大きさに留まった。このことから、本実験は第 1 報の実験の改良版として捉えられると筆者らは考えている。

ただし第 1 報と違った部分もいくつか見られた。第一に、許容範囲の最大値および最小値が第 1 報より全体的に減少している。第 1 報では主観的等価点は基準刺激に近い値であったのに対し、実験 1 では許容範囲の最大値が基準刺激と近い値になっている。

我々はこの傾向が第 1 報と実験 1 で指の位置の指標 (図 3) の大きさを変更したことによって現れたと考え、3 人に追加実験を行った。追加実験では指標の大きさを変えて実験 1 と同様の実験を行い、計測される閾値を比較した。その結果、閾値は指標の大きさによって大きく変化することではなく、常に今回と同様第 1 報よりも許容範囲の最大値と最小値が減少した。

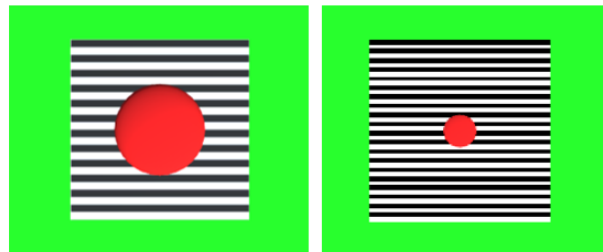


図 3: 第 1 報時点の指標 (左) と実験 1 時点の指標 (右)

このことから、今回の実験で出た傾向は実験手順が上下法に変わったこと、もしくは基準刺激と比較刺激を逆転させたことによる影響ではないかと考えられる。

また第二に、回答のばらつきが第 1 報より増加している点が異なっていた。これは実験の形態が変わったために現れた傾向であると考えている。第 1 報時点では触覚テクスチャを比較刺激に使う関係上、どうしても刺激の数が基準刺激 1 つにつき 5 つに限られてしまっていた。加えて第 1 報では恒常法を使用したもので、同じ組み合わせの試行を何回も行っていった。したがって試行を重ねるうちに刺激に既視感を覚え、ある刺激に触ったときには同じ回答をするように被験者がバイアスかける可能性があった。対して今回は大量の種類を用意しやすい視覚刺激を使ったので、このようなバイアスがかかりにくくなっている。つまり今回分散が増加したのは、第 1 報よりも余計な手がかりがなくなったためであると筆者らは考えている。

3. 実験 2: 精細テクスチャにおける許容範囲

本項では本報告で新たに設計した実験の計画について述べる。本学会の口頭発表にて実験結果を述べる予定である。

3.1 実験目的

実験2の目的は、実験1で使用した粗いテクスチャに加え、1mm以下の細かいテクスチャを触覚刺激に使用し、より広範囲で許容範囲を計測することである。そのため、多くの実験設計が実験1と同様である。

3.2 実験装置

装置は概ね第2報で使用したものと同じものを使用する。テクスチャの部分は変更しており、従来のものから図4の装置に変更した。構造は図5の通りになっており、テクスチャを乗せた平板の下には歪ゲージの力覚センサが搭載されている。このセンサは実験中の被験者の指の押し込み力を計測するために設置した。実験中は3つのセンサの出力電圧の合計から押し込み力を計算し、0.2秒ごとに記録する予定である。

実験2では指の押し込み力に加え、指位置の記録も行う。OptiTrack (NaturalPoint, V-120:Duo) を使用して指位置を計測し、押し込み力とともに0.2秒ごとに記録する予定である。計測した押し込み力と指位置のデータは許容範囲についての考察の材料として使用する。

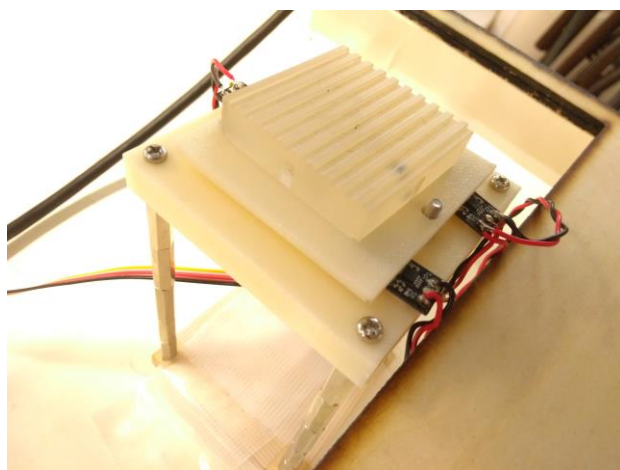


図 4: 実験2用の装置外観

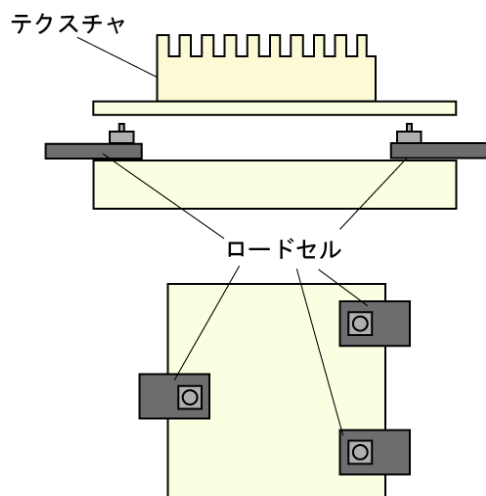


図 5: テクスチャとロードセルの配置図

3.3 実験条件

本実験では8種の触覚テクスチャを基準刺激に使用する。凹凸幅はそれぞれ0.2mm, 0.6mm, 1.0mm, 1.4mm, 1.8mm, 2.2mm, 2.6mm, 3.0mmである。(図6) いずれも3Dプリンタで印刷したもので、第2報以前と同じく材質はアクリルで製作されている。

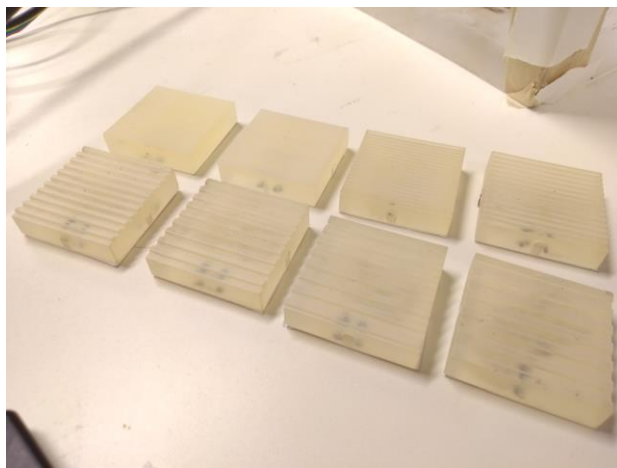


図 6: 使用したテクスチャ (左上から右下に向かって凹凸幅の小さい順に並んでいる)

実験条件は全部で16条件となる予定であり、その内訳は触覚8条件と視覚初期条件2種(触覚+1mm, -1mm)の組み合わせである。ただし触覚条件が1mm幅以下の場合、触覚-1mmの条件は0mm幅に置き換えられる。

3.4 実験手順

手順は実験1とほぼ同様である。ただし、実験1で各試行開始前に行っていた練習フェーズは無くし、被験者各自の好きな力のかけ具合で触ってもらうようにする。これは従来の触覚弁別の研究[6][7]で指の力や動かす速さを個人の裁量に任せて実験を行い、実験で記録した力と速さを使って結果を分析する形式が多かったためである。前述のように指の力と速さなし位置は考察用のデータとして記録する。

また、実験1では全触覚条件共通で視覚条件を1段階ごとに0.64~0.02mmずつ変化させていたが、実験2は1mm以下の触覚条件も含めるため、触覚条件ごとに変化量を変更して実験を行う予定である。

4. まとめ

本報告では、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、比較的粗いテクスチャを用いた弁別実験の結果を報告し、より精細なテクスチャを含めた1次元の凹凸テクスチャの許容範囲に関する測定実験を設計した。今後は計画した実験を行い、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致性 —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] 山口瞬, 金子征太郎, 梶本裕之: 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—, ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2019, Vol. 2, No. 4, pp. 11–16, 2019.
- [4] Christian Kaernbach: Simple adaptive testing with the weighted up-down method, Perception & Psychophysics 1991, pp. 227-229, 1991.
- [5] 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.
- [6] Hong Z. Tan, Bernard D. Adelstein, Ryan Traylor, Matthew Kocsis and E. Dan Hirtleman: Discrimination of Real and Virtual High-Definition Textured Surfaces, Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems 2006, pp. 3-9, 2006.
- [7] Harold T. Nefs, Astrid M. L. Kappers, and Jan J. Koenderink: Frequency discrimination between and within line gratings by dynamic touch, Perception & Psychophysics 2002, 64 (6), pp. 969-980, 2002.