



皮膚上を移動する触覚刺激に伴って変化する視覚情報が 触覚認知に及ぼす効果

青木琢朗¹⁾, 牧野泰才¹⁾, 篠田裕之¹⁾

Takuro AOKI, Yasutoshi MAKINO, and Hiroyuki SHINODA

1) 東京大学 情報理工学系研究科 (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1,)

概要: 本論文では、皮膚上を移動する触覚刺激に同期して視覚情報も提示し、その映像を変化させたときに知覚される触感がどう変化するかを調査する。触覚刺激としては空中超音波触覚刺激を利用し、これに同期して白丸の映像を指先から手首まで等速移動するように提示する。このとき、触覚刺激について3つの条件：途中で消える、途中で弱くなる、変化しない、を用意し、視覚刺激についても同様に以下の3つの条件：映像なし、途中で消える、変化しない、を提示した。この組み合わせについて、触覚がどのように知覚されたかを被験者実験により評価し、触覚刺激に対する視覚情報の効果について検証する。

キーワード: 触覚, 視覚, マルチモーダル

1. 序論

近年、触覚技術が発展し、把持型 [1] やグローブ型 [2], 非接触型 [3] など様々な触覚デバイスが開発されている。これらの触覚デバイスを用いて、視覚と触覚を組み合わせたシステムが提案されている [4][5][6]。視覚と触覚を組み合わせたシステムでは、視覚情報によって触覚認知が変化する可能性があると考えられており、様々な研究が行われている。例えば、バーチャルな映像が触覚の快感に影響を与えることがわかっている [7]。

本研究では、皮膚上に映像と触覚刺激を同期させて提示した際の、視覚情報が触覚認知に及ぼす効果を明らかにすることを目的とする。本研究では、触覚プロジェクタ [6] という空中超音波触覚提示とプロジェクションマッピングを組み合わせた装置を利用する。触覚プロジェクタは皮膚上に映像と触覚刺激を重畳提示でき、エンターテインメントや情報伝達的手段として期待されている。本研究では、視覚、触覚の空間パターンを自由に制御できる装置として活用する。

一般的な接触型の触覚提示装置では、刺激提示時に接触部位を視認できないため、移動する触覚刺激と映像情報との組み合わせによる効果についてはこれまで十分検証されていなかった。本研究では、視覚触覚重畳提示により、視覚情報と触覚情報それぞれを途中で変化させたときの触覚への影響を明らかにする。

2. 実験

2.1 実験概要

本実験では、皮膚上を移動する触覚刺激と、それに伴って変化する視覚情報とが、知覚される触感に及ぼす効果の検証を目的として被験者実験を行った。同期して移動する

空中超音波触覚刺激と白い丸の映像を被験者の掌に提示し、被験者にはその刺激をどのように触覚として知覚したかを評価してもらった。

2.2 実験装置

図1に実験装置の概要を示す。この装置は、触覚刺激提示を行うための8台の空中超音波触覚ディスプレイ (AUTD) と視覚刺激提示を行うためのプロジェクタで構成されている。AUTDとは、多数の超音波振動子をアレイ状に配列したデバイスである [3]。各振動子の位相を制御することで、空中の任意の位置に超音波を集束させ、音響放射圧による非接触な触覚を提示することができる。AUTDを用いることで、触覚提示位置を変化させるなど物理的な接触デバイスによる触覚提示では困難な刺激を提示できる。また、AUTDは非接触の触覚を提示するため、映像と触覚刺激を重畳することが容易である。

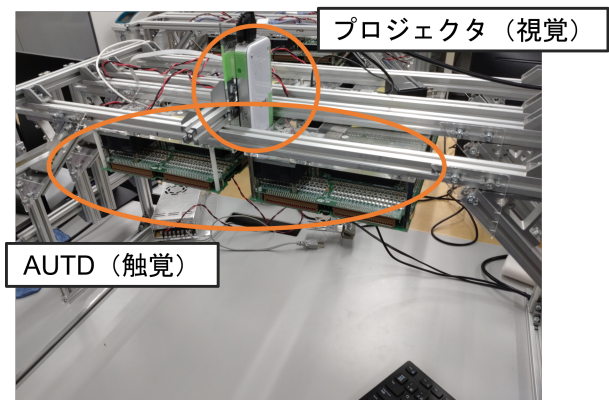


図 1: 実験装置概要

2.3 実験手順

男性 2 名を対象に被験者実験を行った。被験者は実験装置の前に座り、掌に触覚刺激と視覚刺激を提示される。触覚刺激は、AUTD を用いて 150 Hz の正弦波変調を行ったものを提示した。視覚刺激は、プロジェクタを用いて白い丸の映像を提示した。刺激提示のイメージ図を図 2 に示す。視覚刺激と触覚刺激は速度を 6 cm/s で固定し、指から手首へ向けて掌上を移動するように提示した。触覚・視覚刺激が 3 秒間で 18 cm 手から肘へ向けて移動し、再び指へ戻り 2 回繰り返す、計 6 秒間の刺激提示を 1 試行とした。実験中は、聴覚の影響を減らすために、被験者はホワイトノイズを聴いた。

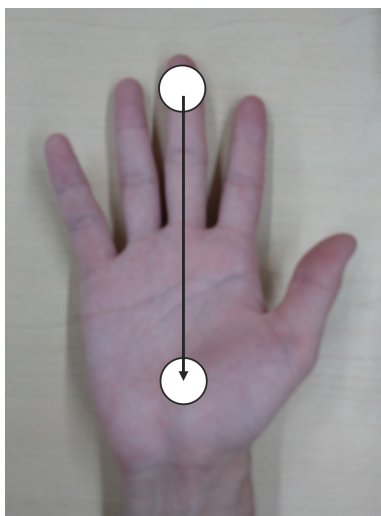


図 2: 刺激提示のイメージ図。被験者の掌に触覚刺激と映像が提示される。

触覚刺激と視覚刺激のそれぞれで 3 つのパターンを用意した。触覚刺激の 3 つのパターンは、A: 途中で消える、B: 途中で弱くなる、C: 変化しない、であり、視覚刺激の 3 つのパターンは、1: 映像なし、2: 途中で消える、3: 変化しない、である。触覚または視覚刺激が途中で変化する場合、指から手首へ移動する 3 秒間のうち 1.35 秒から 1.6 秒の 0.25 秒間変化する。触覚刺激を弱くする際には、触覚刺激の強度を二分の一にした。視覚刺激を固定し、図 3 のように、3 パターンの触覚刺激をランダムな順番で 5 回ずつ合計 15 試行を行った。視覚刺激は 3 パターンのため、実験全体では合計 45 試行を行った。

映像	1								
触覚	C	A	B	B	C	...	A	C	B

図 3: 実験手順の例。視覚刺激を固定し、3 パターンの触覚刺激をランダムな順番で 5 回ずつ合計 15 試行を行う。ほかの視覚刺激についても同様に行う。

被験者は、実験前に提示される触覚刺激を伝えられ、3 パ

ターン全ての触覚刺激を体験した。実験中の試行では、どの触覚刺激かを伝えずに提示し、被験者は 3 種類の触覚刺激のうちどれだと感じたかを回答した。被験者の回答と真値を比較することで、触覚認知の評価を行い、触覚刺激に対する視覚情報の効果について検証した。

3. 結果

実験結果を表 1, 2, 3 に示す。触覚刺激の真値と被験者の回答を示しており、真値と回答の同じ対角成分が正答である。表の値は、被験者の回答の回数を表す。触覚刺激の 3 つのパターンは、A: 途中で消える、B: 途中で弱くなる、C: 変化しない、である。

表 1 より、視覚刺激「1: 映像なし」では、被験者 1, 2 ともに全て正しく回答した。表 2 より、視覚刺激「2: 途中で消える」では、被験者 1 が一回触覚刺激 A を B と誤答し、被験者 2 が一回触覚刺激 B を C と誤答した。その他はすべて正答であった。表 3 より、視覚刺激「3: 変化しない」では、被験者 1 が一回触覚刺激 A を B と誤答し、3 回触覚刺激 B を C と誤答した。また、被験者 2 が一回触覚刺激 B を C と誤答した。

表 1: 視覚刺激「1: 映像なし」での実験結果。値は回答の回数を表す。

(a) 被験者 1

真値\回答	A	B	C
A	5	0	0
B	0	5	0
C	0	0	5

(b) 被験者 2

真値\回答	A	B	C
A	5	0	0
B	0	5	0
C	0	0	5

4. 考察

視覚刺激「1: 映像なし」のとき、被験者 1, 2 ともに全て正しく回答した。映像がなければ、触覚刺激の変化を認知することが可能であると考えられる。

視覚刺激「2: 途中で消える」のとき、被験者 1 が一回触覚刺激 A を B と誤答し、被験者 2 が一回触覚刺激 B を C と誤答した。著者の主観的なコメントであるが、映像が途中で消えたことで、映像の変化に注意が向き、触覚の認知が難しかったと感じた。

視覚刺激「3: 変化しない」のとき、被験者 1 が一回触覚刺激 A を B と誤答し、3 回触覚刺激 B を C と誤答した。ま

表 2: 視覚刺激「2: 途中で消える」での実験結果。値は回答の回数を表す。

(a) 被験者 1			
真値\回答	A	B	C
A	4	1	0
B	0	5	0
C	0	0	5

(b) 被験者 2			
真値\回答	A	B	C
A	5	0	0
B	0	4	1
C	0	0	5

表 3: 視覚刺激「3: 変化しない」での実験結果。値は回答の回数を表す。

(a) 被験者 1			
真値\回答	A	B	C
A	4	1	0
B	0	2	3
C	0	0	5

(b) 被験者 2			
真値\回答	A	B	C
A	5	0	0
B	0	4	1
C	0	0	5

た、被験者 2 が一回触覚刺激 B を C と誤答した。映像の存在に引っ張られ、触覚刺激の消失や強度の減少に気づきにくかったと考えられる。

映像 1, 2, 3 全体を比較すると、被験者 1 は触覚刺激 A を B と誤答したことがあるのに対し、被験者 2 は一度も誤答していないことがわかる。このことから、触覚刺激に対する視覚情報の効果には個人差があると考えられる。

本実験では、被験者が二人であり、各条件での試行回数が 5 回と少なかつたため、被験者数や試行回数を増やす必要があると考えられる。また、刺激の移動速度や強度、変化時間などのパラメータによる影響も考慮する必要があると考えられる。

5. 結論

皮膚上を移動する触覚刺激に伴って変化する視覚情報が触覚認知に及ぼす効果を検証した。空中超音波触覚ディスプレイとプロジェクタを用いて掌に触覚刺激と視覚刺激を重畳提示する装置を作成し、様々な触覚と視覚の組み合わせでの触覚認知を調査する被験者実験を行った。実験結果から、視覚刺激が存在しない場合、正しく触覚認知をすることが可能であった。また、視覚刺激が存在する場合、触覚刺激の変化を正しく認知できないことがあり、視覚情報によって、触覚の認知が変化していることが示唆された。

謝辞 本研究は JST CREST JPMJCR18A2 の支援を受けて行われた。

参考文献

- [1] 3D SYSTEMS, <https://ja.3dsystems.com/haptics-devices/touch>
- [2] R. Hinchet, V. Vechev, H. Shea, and O. Hilliges, “DextrES: Wearable haptic feedback for grasping in VR via a thin form-factor electrostatic brake,” in Proc. 31st Annu. ACM Symp. User Interface Softw. Technol., pp. 901–912, Oct. 2018.
- [3] S. Suzuki, S. Inoue, M. Fujiwara, Y. Makino and H. Shinoda, “AUTD3: Scalable Airborne Ultrasound Tactile Display,” in IEEE Transactions on Haptics, vol. 14, no. 4, pp. 740–749, Oct.-Dec. 2021.
- [4] Atsushi Matsubayashi, Yasutoshi Makino, and Hiroyuki Shinoda, “Direct Finger Manipulation of 3D Object Image with Ultrasound Haptic Feedback,” Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Glasgow, Scotland UK, May 04 – 09, 2019.
- [5] Yasuaki Monnai, Keisuke Hasegawa, Masahiro Fujiwara, Seki Inoue, and Hiroyuki Shinoda, “HaptoMime: Mid-Air Haptic Interactions with a Floating Virtual Screen,” Proc. 27th ACM User Interface Software and Technology Symposium (UIST2014), pp.663–667, Hawaii, USA Oct. 5–8, 2014.
- [6] Keisuke Hasegawa, Hiroyuki Shinoda, “Aerial Display of Vibrotactile Sensation with High Spatial-Temporal Resolution using Large-Aperture Airborne Ultrasound Phased Array,” Proc. IEEE World Haptics Conference 2013, Oral, pp.31–36, Daejeon, Korea, April 14–18, 2013.
- [7] 原口岳丸, 北崎充晃, “バーチャルな視覚的触覚が情動的触覚認知に及ぼす影響”, 第 27 回日本バーチャルリアリティ学会大会, 1B3-3.