

論文の内容の要旨

論文題目 Grasping-Type Haptic Devices to Expand Visual Media

(映像メディアを拡張する把持型触覚デバイス)

氏名 半田 拓也

1. はじめに

本論文は、触覚情報を用いて従来の映像メディアを拡張し、誰もが楽しめるユニバーサルなサービスを提供するための方法論を提案する。具体的には、放送や通信で提供される映像メディアに触覚情報を付与する把持型触覚デバイスを開発し、提案手法の有効性を検証する。美術品や動物などの形状および硬さ情報の提示や、スポーツで生じる振動や衝撃を視聴者の触覚に伝えることで競技の状況などの情報とともに迫力や臨場感を提供する。

本研究の第1の目的は、被写体となる物体の3次元形状、大きさ、部分的な硬さの違いを伝える触覚提示手法の提供である。第2の目的は、映像コンテンツにおいて、動いている物体同士(物と物、物と人、あるいは人と人)の接触のタイミングや、接触時の衝撃の大きさと方向を、人の触覚に伝達する手法の提供である。上記2つの提案手法を用いて映像メディアを拡張することで、将来的にVR(Virtual Reality)技術の1つとして実在感や臨場感を提供することに加え、視覚や聴覚に障害がある人に役立つ情報環境の実現に資する。

2. 形状と硬さを提示する把持型触覚デバイス

物体の3次元形状、大きさ、部分的な硬さの違いを伝える提示手法の提案と検証に向け、人の触覚の基礎的な知覚特性を調査し、人が皮膚の変形から得ている情報[1]や、詳細な形状の認知における稜線をなぞる触察方法[2]の重要性を検討した。次に、提示装置の基本設計、試作、予備評価を進め、得られた要件を基に、図1に示す把持型の触覚デバイスを開発した[3]。

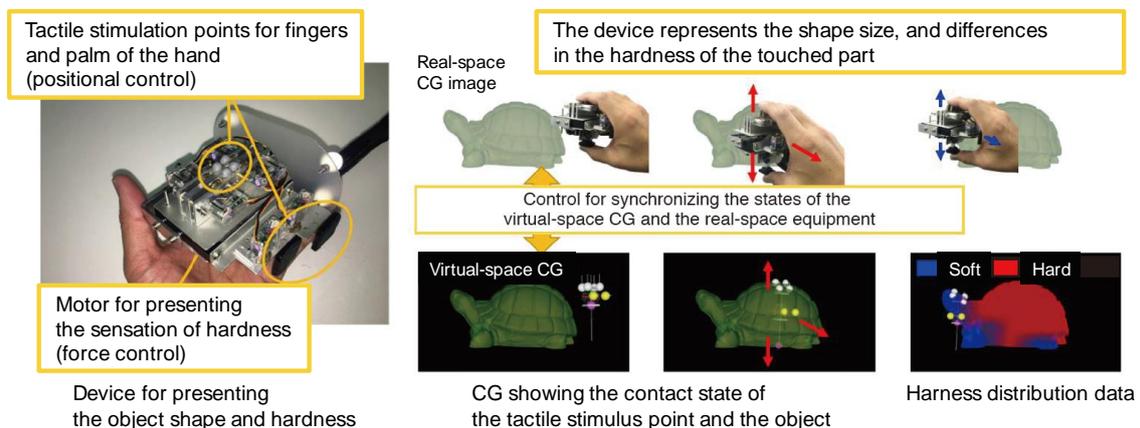


図1 映像内のオブジェクトの形状と硬さを提示する把持型触覚デバイス

本デバイスは、人差し指の腹に4点、手のひらに2点、親指に1点の触覚刺激を、ユーザの手の動

きに応じて 60Hz のフィードバックで提示する。また、人が物を把持するときに生じる内力を利用して、従来法では反作用の力を提示するために必須であった、什器などの土台を要しない非接地型の方式による硬さの提示を実現した。

2.1 形状の識別実験

視覚を遮断した条件で、実物体を直接触った場合に識別可能であることを確認した 4 種の 3 次元形状を CG (Computer Graphics) でレンダリングし、開発した把持型触覚デバイスによる形状の識別実験を実施した。図 2 に実験の様子と実験刺激の形状を示す。

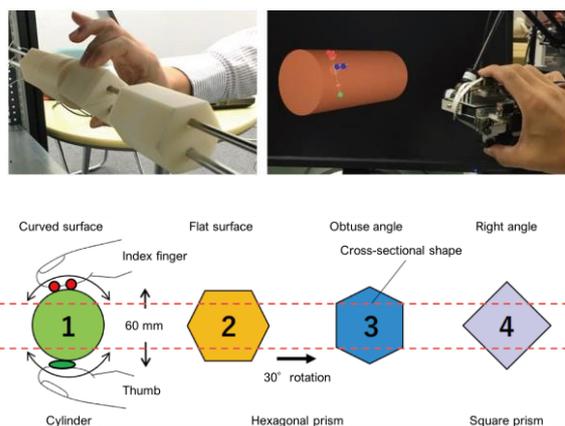


図2 形状識別実験の様子と実験刺激の形状

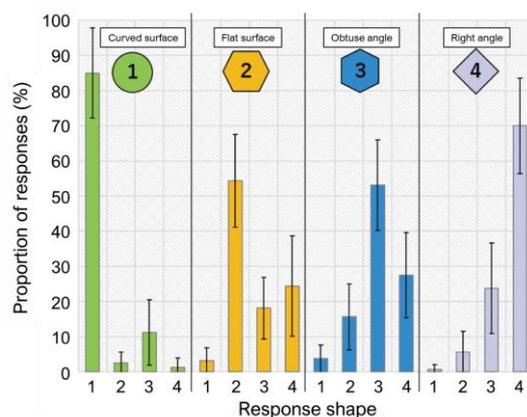


図3 形状識別実験の結果

図 3 は 実験参加者 12 名による 回答形状の割合の平均値を 4 種の刺激形状ごとに示している。結果から 4 種類の 3 次元形状の側面の違いが有意に識別できることが確認され、提案手法の有効性が明らかとなった。また、一連の評価と考察から、触覚デバイスによる 3 次元形状の識別のしやすさは、指の腹に提示する触覚刺激点の数と刺激の制御周波数の向上で改善する可能性を示した。

2.2 硬さの識別実験

本デバイスでは、物体の硬さ(弾性)を反映すると考えられるバネ定数をパラメータとし、このパラメータに基づいてアクチュエータを制御することで、デバイスを把持する示指と母指に対して硬さの違いを提示する。物体の CG の各ボクセルに設定した硬さデータに応じて、アクチュエータの出力を PWM (Pulse Width Modulation) 制御する方式を開発した。開発手法で提示した硬さと、バネ定数が 0.6 ~ 2.9 N/mm の実物のバネの硬さの違いを比較する実験の結果から、被験者が相対的な硬さの違いを識別できることが示唆された。

3. 物体の接触感覚を提示する把持型触覚デバイス

3.1 衝撃の方向の触覚提示

映像コンテンツ内で、物体同士が接触した際の衝撃の大きさと方向を人の触覚に伝達する技術として、振動刺激と同時に触覚デバイスの表面を物理的に凹ませる表現方法を開発した。本手法を用いてボールに加わる衝撃の方向知覚に関する実験を実施した。図 4 は、ボールに加わる衝撃の提示手法を比較するための実験装置(4 種の触覚デバイス)と、実験条件とした 7 つの動作状態を示している。

図 4a のボールにはボイスコイル振動子が 1 つ実装されている。図 4b は同じ振動子が左右に 1 つずつ実装されている。図 4c と図 4d は、振動子 1 つとサーボモータ 2 個が実装された同一のデバイスであり、図 4c は振動と同時にボールの側面を凸に出す条件、図 4d は振動と同時に凹にへこませる条件を示している。実験参加者(7 名)は、図 4 の 7 条件うち、ランダムに与えられた衝撃を感じたあと、把持しているボールが左右のどちらの方向に飛んでいくと思うかを、左、右、どちらでもない、の 3 択で回答した。図 5 に結果を示す。触覚デバイスの表面を凹にへこませる提案手法(図4d)は、振動だけを提示す

る手法(図 4a,b)や 振動と同時に表面を凸に出す手法(図 4c)と比較して、衝撃の方向をより直感的に認知させられることが確認され、有効性が明らかとなった。

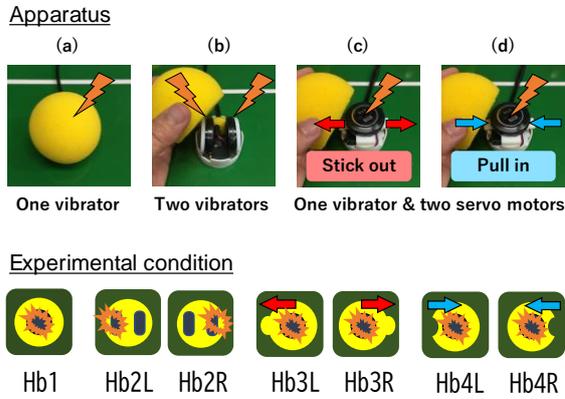


図4 ボールに加わる衝撃の方向知覚実験の条件

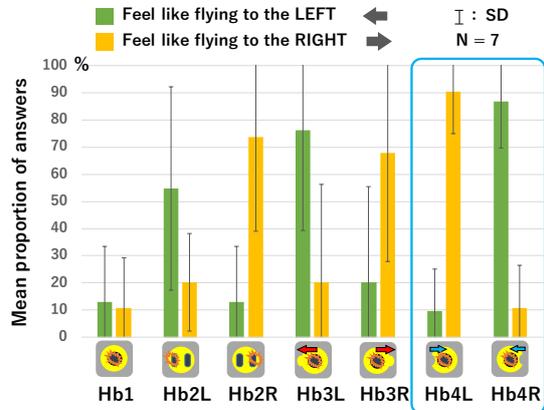


図5 衝撃の方向知覚実験の結果

3.2 被接触点の触覚提示

3.1 で述べた凹刺激の提示手法を用いて、周囲 8 ケ所の被接触点(他の物体から衝撃を受けた点)を提示する把持型の触覚デバイスを開発した。本研究では、開発したデバイスを用いて、凹刺激と振動刺激を同時に提示した場合の触覚におけるマスキング効果を検証し、課題を明らかにした[4]。

図 6 は、手の大きさの異なる 14 名の実験参加者がデバイスを持した際に、8 ケ所の凹み刺激点(Dp: Dent point)が接触した手の部位を正規化してマッピングしたものである。実験では、はじめに参加者が装着したヘッドフォンからホワイトノイズが提示され、デバイスに内蔵された振動トランスデューサから 120 dB (基準値: 10^{-6} m/s^2)の振動刺激が提示される。振動刺激が提示されている間に、8 ケ所のうちの 1 ケ所の Dp が 500 ms 間凹み刺激を提示する。その後、実験参加者は口頭で Dp の番号を回答した。振動刺激の周波数は、触覚受容器の周波数応答特性[5]を考慮し、0 (振動しない条件を便宜上 0 Hz と表記する)、30、80、250 Hz とした。実験参加者 1 人あたりの試行数は、320 (周波数 4 パターン \times 8Dp \times 10 回)とした。図 7 に周波数条件ごとの凹み刺激位置の平均正答率 ($n = 14$)を示す。結果から、250Hz の振動刺激と凹み刺激を併用することで、把持したボールの 8 ケ所の非接触点の位置と衝撃の大きさを同時に提示できることがわかった。一方で、30Hz と 80Hz の振動を提示した条件において刺激部位 4、5、6、7 の正答率が有意に低下した。このことから、手のひらの凹刺激を検出する触覚受容器の反応は、30Hz と 80Hz の振動刺激でマスキングされ、空間的な刺激位置の特定が困難になるという課題が明らかになった。



図6 凹み刺激に対する手の接触部位

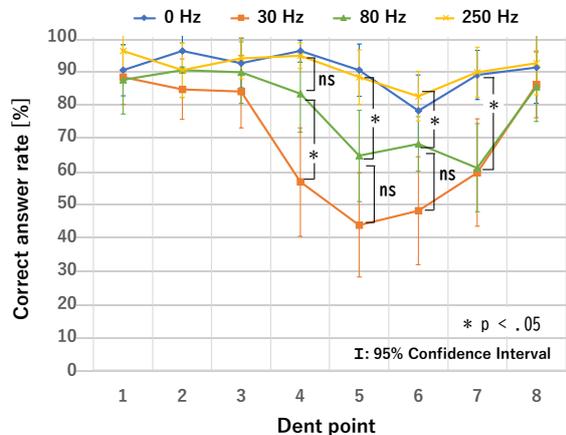


図7 周波数条件ごとの凹み刺激位置の正答率

4. 結論

本研究では、触覚情報を用いて従来の映像メディアを拡張し、誰もが楽しめるユニバーサルなサービスを提供するための方法論を考察した。2の研究により、触覚デバイスによる物体の形状識別では、指の腹に提示する刺激点の数と刺激の制御周波数が重要であり、刺激点の数を4点以上とし、刺激の制御周波数を60Hz以上にすることで、課題とした曲面形状とエッジ形状の識別が可能であることがわかった。硬さの提示では、物体の絶対的な硬さを提示するのではなく、相対的な硬さの違いを提示する手法が有効であることを示した。

3の研究では、接触時の衝撃の大きさと方向の感覚を触覚に伝達する技術として、触覚デバイスの表面を物理的に凹ませる表現方法を開発した。振動と同時にデバイスの表面を凹にへこませる本手法は、振動だけの条件や、振動と同時に表面を凸に出す手法と比較して、衝撃の方向をより直感的に認知させられることが確認され、有効性が明らかとなった。

以上の一連の研究により、把持型触覚デバイスの開発と評価を通して、映像メディアを拡張しユニバーサルなサービスを提供するシステムを構築するための基本的な設計指針を提案し、提案手法の有効性を検証した。また、これらの評価と並行して進めたアプリケーションシステムによるフィールドテストでは、客観的な評価項目に加えて、物体の3次元形状や硬さの情報がわかる楽しさや、球技の状況が晴眼者と同じタイミングで直感的に伝わることによる嬉しさ、という観点で複数の視覚障害者から一定の評価を得ることができた。

視覚情報を遮断した状態において触覚だけで形状を認知することは、素手で触察する場合でも限界があることがわかっている。本研究では、触っているものが何であるかという情報や試合の状況などを、視覚の代行として記号的な触覚情報で伝えるのではなく、触覚でなければ伝わらない形状や硬さ、衝撃などの情報を障害の有無に関係なく伝えることに主眼をおいた。このことは、視覚障害者だけではなく、健常者も含めて誰もが楽しめるサービスを提供する上で重要な設計指針であると考えられる。一方で、人の触覚による認知メカニズムはまだ不明な点も多く、本研究においても、認知科学的にさらに調査すべき項目や、現時点での技術的な課題が明らかになった。今後、これらの解明が進むとともに、本研究の成果が、将来的にVR技術の1つとして、実在感や臨場感を提供することに加え、視覚や聴覚に障害がある人に役立つ情報環境の実現に貢献するものと期待する。

参考文献

- [1] H. Shinoda: "Intelligence in Human Skins", System, control and information, vol. 46, no. 1, pp. 28-34, 2002. (in Japanese)
- [2] R. L. Klatzky, J. M. Loomis, S. J. Lederman, H. Wake and N. Fujita, "Haptic Identification of Objects and Their Depictions," Perception & Psychophysics, 54 (2), pp. 170-178, 1993.
- [3] T. Handa, M. Azuma, T. Shimizu and S. Kondo: "GraspForm: Shape and Hardness Rendering on Handheld Device Toward Universal Interface for 3D Haptic TV," Proc. ACM UIST '17, 2017.
- [4] T. Handa, M. Azuma, T. Shimizu, S. Kondo, M. Fujiwara, Y. Makino, and H. Shinoda, "Ball-type Haptic Interface to Present Impact Points with Vibrations for Televised Ball-based Sporting Event," In 2019 IEEE World Haptics Conference (WHC), pp. 85-90, IEEE, 2019.
- [5] S. J. Bolanowski, G. A. Gescheider, R. T. Verrillo, C. M. Checkosky, "Four channels mediate the mechanical aspects of touch", J. Acoust. Soc. Amer., vol. 84, pp. 1680-1694, 1988.