



棒状物体の部分的隠消表示が触力覚に与える影響の分析

Weight Perception Influenced by Partially Invisibility of Real Stick

先山広輝¹⁾, 橋口哲志²⁾, 森尚平³⁾, 柴田史久⁴⁾, 木村朝子⁴⁾

Hiroki SAKIYAMA, Satoshi HASHIGUCHI, Shohei MORI, Fumihisa SHIBATA, and Asako KIMURA

1) 立命館大学大学院 情報理工学研究科 (〒 525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

2) 龍谷大学 理工学部 (〒 520-2194 滋賀県大津市瀬田大江町横谷 1-5)

3) Institute of Computer Graphics and Vision, Graz University of Technology (Inffeldgasse 16/II 8010 Graz, Austria)

4) 立命館大学 情報理工学部 (〒 525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

概要: 複合現実感 (Mixed Reality; MR) 技術と隠消現実感 (Diminished Reality; DR) 技術を同時に用いることで、実物体の物理的性質はそのままに、その見た目を変更することができる。本研究では、棒状の実物体の途中を視覚的に消去するという視覚刺激の変化がその物体の重さと重心位置に与える影響を被験者実験を通して調査した。実験の結果、中間部を視覚的に消去した場合、持ち手のみ表示した場合より軽く知覚することが明らかになった。また、中間部を視覚的に消去した形状は実物体と重心位置知覚が近い傾向であることがわかった。

キーワード: 拡張現実感, 隠消現実感, 重さ知覚, 錯覚

1. はじめに

複合現実感 (Mixed Reality; MR) 技術により、実物体に対して仮想物体を重畳描画することで、現実での触感はそのままだに外観のみを変更できる。しかし、MR だけを用いる場合、実物体を覆うように仮想物体を重畳描画ししかできない。つまり、実物体よりも小さい物体を表現できない。この問題は、隠消現実感 (Diminished Reality; DR) 技術によって解決できる [1]。DR とは、仮想的に作り出した背景画像を物体の上に重畳描画することで物体を消去する技術である。よって、MR と DR を組み合わせることで、実物体の物理特性はそのままに、その形状を様々により高い自由度で変更できる。

こうした視覚刺激は触力覚に影響を与えることが知られており、広く研究されている [2]。人は、振る、持つ、叩くなどの運動に伴い、物体の形状、重さ、方向を知覚することができる [3]、例えば、MR 技術を用いて見た目の大きさを変更した物体の重心位置が異なって知覚される錯覚現象が確認されている [4]。同様に、MR 技術と DR 技術を併用して、視覚的に長さを変更した単一の棒状の重さ知覚を調査した研究も存在する [5]。この研究によれば、MR 技術により本来より長くなった棒は軽く、DR 技術により短くなった物体は重く知覚される。

本研究では、この Hashiguchi らの研究 [5] と同様に、MR 技術と DR 技術を併用して得られる視覚効果が与える実物体の重さ知覚に関して調査する。Hashiguchi らが棒の長さを仮想的に変更したのに対し、我々は棒の途中を消去した (図 1)。これらの視覚刺激の違いは、主観的な輪郭 [6] の有

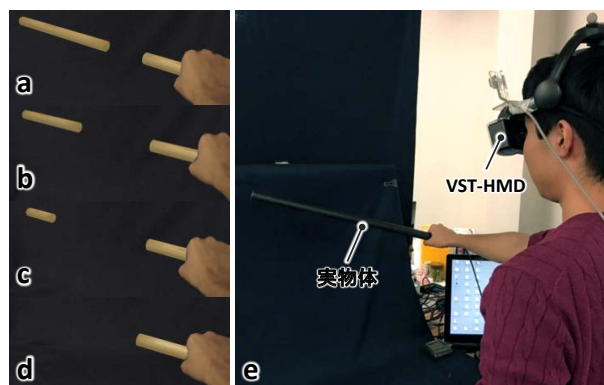


図 1: 実験で用いた視覚刺激 (a-d) と実験の様子 (e)。VST-HMD を通じて見える 60cm の実物体の中間部分が、持ち手部分 20cm を残して (a) 10cm, (b) 20cm, (c) 30cm と消えており、(d) では持ち手のみが残る。

無であると考えた。つまり、本研究で用いる 2 つに分かれた単一の物体 (図 1(a-c)) には主観的な輪郭が生じ、持ち手部のみ表示した物体 (図 1(d), [5] と同様) よりも軽く知覚されると考えた。本稿ではその確認のために行った実験について報告する。

2. 実験用システムの実装

実験に用いる棒状物体を除去した視覚刺激を描画する DR システムを実装した。ビデオスルー型 HMD (VST-HMD) に Canon HM-A1 を用いた。HMD 及び棒状物体の位置姿勢は Polhemus 社 3SPACE FASTRAK を用いて

トラッキングした。また、ソフトウェアの実装には C++, OpenGL, MREAL Platform (Canon, MP-110) を用いた。DR 処理用の背景として実験環境をおさめた多視点画像からそのテクスチャ付き 3 次元モデルを生成し、これを棒状物体の消したい領域に頂上表示することで視覚刺激を生成した。

実物体として質量 100g の ABS 樹脂のパイプ (以降、棒) を用いた。棒の直径は 24mm, 長さ 60cm のものを使用した (図 1)。これに、DR 処理用の背景を重ねて除去し、棒状の視覚刺激を頂上表示することで求める形状の棒の視覚刺激を生成した。手と棒の領域の抽出処理には MREAL に実装されている色抽出処理を利用することで、HMD 越しに参加者の手が見えるようにした。棒の端から 20cm を持ち手部分とし、実物体と同じ長さ (60cm) の視覚刺激に加え、持ち手部を残して、残りを手元側から 10cm, 20cm, 30cm と消去した視覚刺激、そして持ち手部のみを表示した視覚刺激の計 5 種類を用いた。

尚、本システムは 30fps で動作し、時間的遅れや位置ずれに関する意見は実験を通して聞かれなかった。

3. 実験 1 : 視覚刺激の重さ知覚への影響

3.1 実験目的

Hashiguchi らの研究 [5] より、棒の長さが短いほど重く、長いほど軽く知覚することが分かっている。このことから、中間部を視覚的に消去した形状が主観的な輪郭に基づき、持ち手部と先端部を一つの物体と認識されることで、持ち手部のみ表示した形状よりも軽く知覚されると考えられる。そこで実験 1 では、中間部を視覚的に消去した棒状物体が重さ知覚に影響を与えるのかを確認する。

3.2 実験条件

評価方法には、実験参加者にとって簡便に評価が可能である一対比較に基づくマグニチュード推定法を採用した。実験 1 では、実物体と同じ長さ (60cm) の仮想物体を基準刺激とし、これを基準値 100 とした。また、(図 1(a-d)) を評価刺激とした。

実験参加者の体位は直立状態、右手で肘を曲げずに実物体を持たせた。実物体の振り動作は、手首で振らせており、振る角度は約 40 度で毎分 100 往復のテンポ (BPM100) で 10 回振らせるよう統一した。実験参加者は 12 名 (男性 12 名, 年齢 22.0 ± 0.60 , 右利き), 試行回数は 1 人あたり $4 \times 3 = 12$ 回である。

3.3 実験手順

(1) 実験参加者に HMD を装着させる, (2) 実験参加者に棒を把持させる, (3) 基準刺激を提示し, メトロノームのテンポに合わせて 10 回振らせる, (4) 4 種類の評価刺激のうち 1 種類を無作為に選択する, (5) 評価刺激を提示し, (3) と同様に 10 回振らせる, (6) 基準刺激に対して評価刺激がどのくらい重く感じたかを数値で回答させる, (7) 全ての組み合わせについて (2) - (6) を繰り返す。

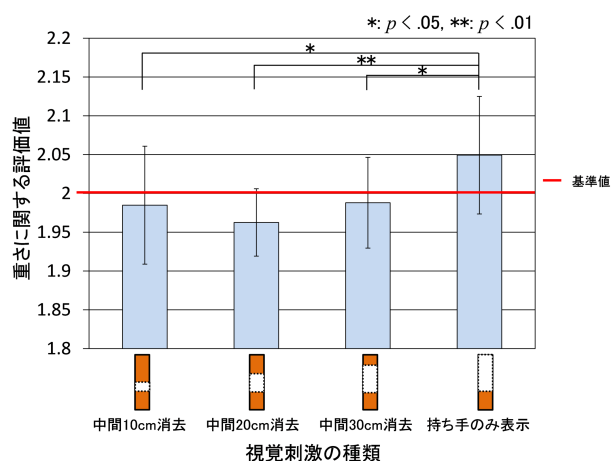


図 2: 実験 1 の結果 (視覚刺激と重さに関する評価値の平均)

3.4 実験結果・考察

実験 1 の結果を図 2 に示す。グラフの縦軸は評価値 (マグニチュード推定値) の平均を表しており、横軸は視覚刺激の種類を示す。グラフ上の赤線は、実物体と同じ長さの基準刺激 (60cm) の棒状物体を提示した際の基準値を表しており、評価値がこれより大きいと物体を重く、小さいと軽く知覚していることになる。また、エラーバーは標準偏差を表している。参加者内分散分析の結果、主効果に有意な差が見られた ($F(3, 42) = 3.2, p < .05$)。ここで、どの条件間に有意差があるかを確認するため、下位検定として Tukey-Kramer 法による多重比較を行った結果、中間部を消去した 3 つの条件 (図 1(a-c)) と持ち手のみ表示した条件 (図 1(d)) 間で有意な差が見られた。また、実験参加者の大半が実物体と同じ長さ (60cm) の条件と、中間部を消去した 3 つの条件 (図 1(a-c)) を同じ重さと感じたとコメントした。このことから、中間部を視覚的に消去した形状が主観的な輪郭が発生し、持ち手部と先端部を一つの物体と認識したことで、持ち手部のみ表示した場合よりも重さを軽く知覚したと考えられる。

4. 実験 2 : 視覚刺激の重心位置知覚への影響

4.1 実験目的

Hashiguchi らの研究 [5] より、視覚的な体積が変化した場合、重心位置が変化することが確認されている。中間部を視覚的に消去した形状に主観的な輪郭が発生すると考えた場合、重心位置は実物体に近い傾向になると考えられる。そこで実験 2 では、中間部を視覚的に消去した形状がどのように重心位置を知覚するのかを確認する。

4.2 実験条件

重心位置を回答する方法として、仮想物体の棒の上に赤い球を表示し、その球をキーボード入力によって操作し、知覚した重心位置に赤い点を配置することで回答させる。実験後、棒の手元側の端から回答位置までの距離を測り、手元からどのくらい離れているかを比較することで、棒の中間部を視覚的に消去する長さの違いによる重心位置知覚へ

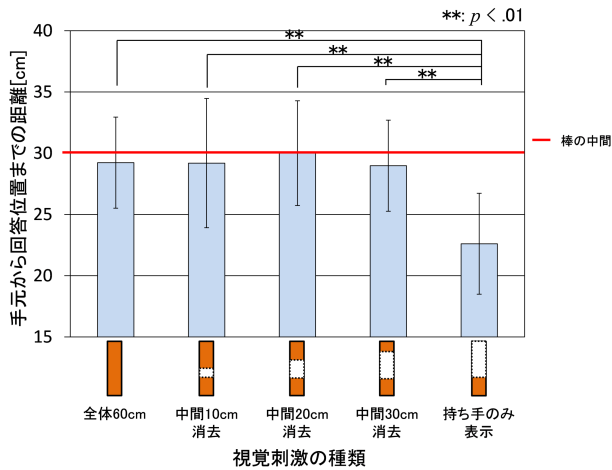


図 3: 実験 2 の結果 (視覚刺激と回答した重心位置の平均)

の影響を検討する。実験参加者の体位は実験 1 と同様である。実物体の振り動作は、手首で振らせており、振る角度は約 40 度で 1 試行ごとに振る回数は指定せず、重心位置を知覚できるまで振るよう指示した。実験参加者は、実験 1 と同じ人物である。

4.3 実験手順

(1) 実験参加者に HMD を装着させる, (2) 実験参加者に棒を把持させる, (3) 5 種類の視覚刺激のうち 1 種類を無作為に選択する, (4) 視覚刺激を実験参加者に提示し、棒を振らせる, (5) 知覚した重心位置を回答させる, (6) 全ての組み合わせについて (3 - 5) を繰り返す。

4.4 実験結果・考察

実験 2 の結果を図 3 に示す。グラフの縦軸は実験参加者が回答した重心の位置、横軸は提示した視覚刺激の種類を示す。グラフ上の赤線は、実物体と同じ長さの基準刺激 (60cm) の中間 30cm を表しており、値がこれより大きいと重心位置を実際の重心より先端側に、小さいとより手元側に知覚していることになる。また、エラーバーは標準偏差を表している。参加者内分散分析の結果、主効果に有意な差が見られた ($F(4, 55) = 5.6, p < .01$)。ここで、どの条件間に有意差があるかを確認するため、下位検定として Tukey-Kramer 法による多重比較を行った結果、持ち手のみ表示した条件 (図 1(d)) とその他 4 つの条件間で有意な差が見られた。図 3 より、中間部を消去した 3 つの条件 (図 1(a-c)) はどれも棒の中間 30cm に近い傾向であることが分かる。このことから、中間部を視覚的に消去した形状は主観的な輪郭が発生し、実物体と同じ長さ (60cm) と重心位置に近い傾向になったと考えられる。

5. むすび

本研究では、棒状物体の中間部を視覚的に消去した場合の重さ知覚・重心位置知覚に着目し、その変化及び傾向を、

2 つの主観評価実験により確認した。実験結果から、以下のことがわかった。

- (i) 持ち手のみ表示した場合よりも、中間部を視覚的に消去した場合の方が軽く知覚した。
- (ii) 中間部を視覚的に消去した場合、重心位置が中間 (手元から 30cm) に近く知覚される傾向にあった。

実験 1 の結果、中間部を視覚的に消去した条件と持ち手のみ表示した条件間で有意な差が得られた。そのことから、中間部を視覚的に消去した形状は、主観的な輪郭が発生し、持ち手と先端部を一つの物体と認識したことで、持ち手のみ表示した形状よりも軽く知覚した可能性が示唆された。実験 2 では、中間部を視覚的に消去した条件は実験参加者の回答が中間 (手元から 30cm) に近い傾向であった。そのことから、中間部を視覚的に消去した形状は主観的な輪郭が発生し、実物体の重心位置に近い傾向になったと考えた。

これらの結果は、中間部を視覚的に消去した棒状物体が主観的な輪郭に基づき、持ち手と先端部を一つの物体と認識するという仮説を支持する結果であった。今後は、持ち手と先端部を一つの物体と認識しない条件が存在するか確認する。具体的には、持ち手部の動きに対して、先端部の動きが遅れて動いた場合、どのように知覚するか確認する予定である。

参考文献

- [1] S. Mori, S. Ikeda, and H. Saito: "A survey of diminished reality: Techniques for visually concealing, eliminating, and seeing through real objects," *IPSV Trans. on Computer Vision and Applications*, Vol. 9, No. 17, 2017.
- [2] 佐藤理晴, 永田陽子: "擬似触力覚の研究動向と展望", *駒澤大学心理学論集*, Vol. 20, pp. 29 - 32, 2018.
- [3] J. J. Gibson: "The senses considered as perceptual systems," *Houghton Mifflin*, 1966.
- [4] 木村朝子, 柚田明弘, 面迫宏樹, 柴田史久, 田村秀行: "Shape-COG Illusion: 複合現実感体験時の視覚刺激による重心知覚の錯覚現象", *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 16, No. 2, pp. 261 - 269, 2011.
- [5] S. Hashiguchi, S. Mori, M. Tanaka, F. Shibata, and A. Kimura: "Perceived weight of a rod under augmented and diminished reality visual effects," *Proc. The ACM Symp. on Virtual Reality Software and Technology (VRST)*, 2018.
- [6] G. Kanizsa: "Margini quasi-percettive in campi con stimolazione omogenea," *Rivista di Psicologia*, Vol. 49, pp. 31-49, 1955.