

把持端末に追従する AR 追加表示領域の提示位置が重さ知覚に与える影響の分析

橋口 哲志¹ 羽賀 夢馬¹ 森 尚平²

概要：身体や端末に情報表示領域を追加できる AR 技術により、物理的な端末の映像提示領域に縛られない新たな映像空間を構築できる。この映像空間でのインタラクション方法が注目される一方で、追加された視覚情報が重さ知覚に与える影響も過去の研究事例から無視できない。本稿では、被験者実験により、こうした AR 追加表示領域の提示位置によって、実際に把持した端末が軽く、または重く感じられる現象を確認した。インタラクティブ発表では、本稿で確認した重さの錯覚現象を実体験できるデモを行う。

1. はじめに

AR（拡張現実感）技術により、身体や装着した端末に追従した追加情報を提示することができる。映像提示装置越しに見えるこの追加の表示領域により、物理的な映像提示領域に制限されないより自由な映像空間を構築できる [1]。

我々は、こうした AR 追加表示領域は、それに直接触れずとも、力触覚や操作性に影響を与える可能性がある点に注目する。実際、AR 表示が視覚以外の感覚にも情報を伝達することが過去の研究で指摘されている。例えば、AR 表示による拡大・縮小が実物体の重さ知覚に影響を与えることが確認されている [2]。また、AR 表示の遅延で擬似触力覚が生じ、運動方向に対して反力を知覚する [3]。

本稿では、携帯端末に追従する AR 追加表示領域が重さ知覚に与える影響について分析する（図 1）。

2. 実験

実験目的 以下の仮説を検証する。

H1 AR 追加表示領域の位置関係が重さ知覚に影響する

H2 端末の把持位置から離れた位置の AR 追加表示領域は、近い位置のものよりも携帯端末を軽く知覚させる

先行研究により、AR 表示により延長された棒を振る場合、本来の棒よりも軽く知覚されることが明らかになっている [2]。同様に、本研究でも **H2** の仮説を立てた。棒の場合は慣性モーメントの違いを知覚しやすい一方で、手元だけに重さのある場合で同様の効果があるかは未知である。これを本稿にて確認する。

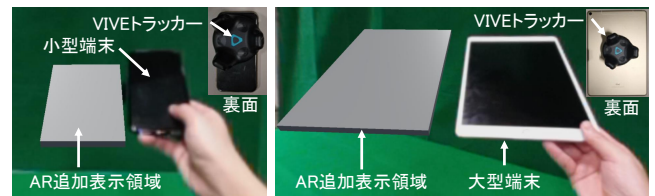


図 1 実験で用いた AR 追加表示領域の例。

使用機材 実験ではビデオシースルー型 HMD として HTC VIVE Pro を用いた。Vive SRWorks SDK を用いてビデオシースルーを実現し、図 1 端末の裏側に VIVE トラッカー (2018) を設置して端末の位置を取得した。小型、大型端末としてそれぞれ iPhone XR (6.1in, 314g (VIVE トラッカー込)) と iPad Pro (10.5in, 591g (VIVE トラッカー込)) の 2 種類を用いた（図 1）。

実験条件 AR 追加表示領域を提示する場合、片手はタッチ操作に使われる可能性があるため、本実験では端末を片手で保持させた。また、AR 追加表示領域は把持した手より外側で使用することは少なく [4]、今回全員（男性 9 名、女性 2 名）が右利きの被験者であったため AR 表示領域は右手より内側にした。端末より身体に近い場所では AR 表示が手や身体と重なることがあり、視認できない場合があったため条件からは除外した。AR 追加表示領域の大きさは端末の表示領域と同じ大きさで、色による重さ知覚の影響を排除するため中間色の灰色にした。端末上に描画する条件を含め、端末の左側に端末大きさ 1 つ分、または 2 つ分を移動させた条件、端末の上側にも同様に移動させた条件で 3×3 のマトリクス状にした計 9 試行とした。

評価方法 実験ではマグニチュード推定法を用いて、AR 追加表示領域が端末の重さ知覚に与える影響を確認した。

¹ 龍谷大学

² Graz University of Technology

AR 非表示の条件における端末の重さを基準（基準刺激）の 100 として、AR 表示した場合（比較刺激）と基準を比較した重さを倍数值で回答させた。被験者には端末を支点として、表示された領域の方に回転させるように振らせた。小型端末、大型端末の 2 種類に各 9 試行で計 18 試行を、手に疲労を感じた場合には休憩をとらせながら実施した。試行手順は以下のようなになる。

- (1) HMD を装着，振り方の練習
- (2) 2 種類のうち 1 種類の端末を選択
- (3) 9 種類から 1 種類の AR 空中表示（比較刺激）を選択
- (4) 基準刺激，比較刺激と順に振り，評価値を回答
- (5) 疲れがある場合は休憩
- (6) (3)～(5) を他 8 種類も繰り返す
- (7) もう一方の端末にして (3)～(6) を繰り返す
- (8) 最後にコメントがあれば聴取

結果 図 2 に被験者 11 名の各試行におけるマグニチュード評価値の平均を示す。結果より小型端末の場合，VIII，IX の箇所以外は端末からの距離が遠くなると，端末を軽く知覚する傾向にあった。Tukey-Kramer 法により I（端末上に AR 追加表示領域）と III，V，VI の箇所に有意差がみられた。このこと端末から左側に上側にも適度に離れている場合，最も端末を軽く知覚することがわかる。一方で，VIII，IX といった箇所では重さの評価値に大きなばらつきがみられた。つまり，VIII，IX の条件において端末を軽く知覚する被験者だけでなく，重く知覚する被験者がいた。特に IX の条件では被験者 11 名中 6 名が端末を重く知覚する評価を回答した点は予想に反しており興味深い。

大型端末の結果では，被験者 11 名中 8 名は端末を軽く知覚したが，端末を軽く知覚する場合は小型端末の場合ほど顕著ではなかった。また端末を重く知覚した被験者は評価が高く，評価値の平均値は基準刺激よりも大きかった。

総じて，小型端末に関して **H1** と **H2** の両方を確認した。また，端末の違いに関して次の 3 つの事柄が確認できた。

- 小型端末から AR 追加表示領域が遠い場合に端末を軽く知覚する
- 小型端末から対角に離れた AR 追加表示領域では，端末を重く知覚する被験者が増加する
- 大型端末では小型端末ほど顕著に軽く知覚せず，重く知覚する被験者が増加する

3. 考察

端末を軽く知覚した要因 被験者のコメントでは「重くなると連想していたが，思ったより軽く感じた」といった意見もあり，先行研究 [2] と同様に見た目と実際の齟齬から生じている可能性がある。

端末を重く知覚した要因 小型端末で AR 追加表示領域が対角に離れた場合，もしくは大型端末での一部の被験者は

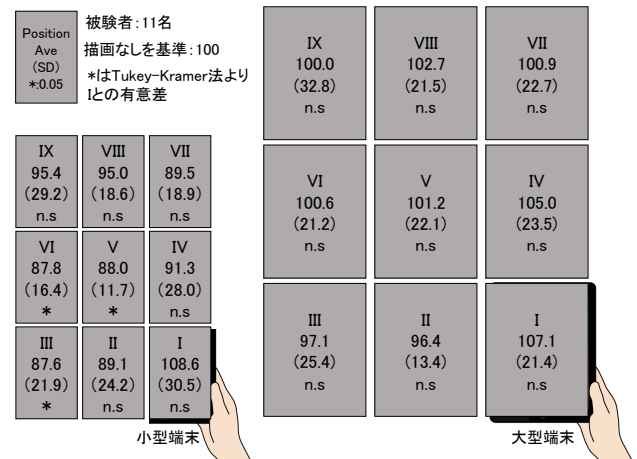


図 2 実験結果

重く知覚した。前者の場合，被験者のコメントでは「離れすぎていて，追従している感じがしなくなった」「離れすぎていて，別のものと感じる」という意見もあった。このことから，AR 追加表示領域が端末から離れすぎた場合には追従しているという把持した端末への帰属性がなくなり，別の物体の重さと知覚させる可能性がある。

また，AR 追加表示領域が少し遅れて追従するように見える場合があるという意見もあった。端末と AR 追加表示領域の距離が離れること，大型端末の場合は自重が重いためゆっくりとしか振れないことは，AR 表示の遅延に気づきやすくさせる。この遅延によって疑似力触覚が生じていたとすると，振り動作に対して反力を感じて重く知覚する可能性がある。

4. むすび

本稿では AR 追加表示領域が端末の重さに与える影響を確認した。実験結果から仮説の通り，AR 追加表示領域が端末から遠くなるにつれて端末が軽く知覚する傾向があった。しかし，一部，対角方向に遠くなると重く知覚し，重たい端末でも一部更に重く知覚する現象がみられた。今後，重く知覚した一要因として考えられる追従の遅延をパラメータにし，端末の重さ知覚に与える影響を系統的に実験していく。

参考文献

- [1] J. Grubert, et al.: MultiFi: Multi-Fidelity Interaction with Displays On and Around the Body, Proc. CHI, pp. 123-133, 2015.
- [2] S. Hashiguchi, et al.: Perceived Weight of a Rod under Augmented and Diminished Reality Visual Effects, Proc. VRST, Article No. 12, 2018.
- [3] A. Lecuyer, et al.: Pseudo-haptic Feedback: Can Isometric Input Devices Simulate Force Feedback?, Proc. IEEE VR, pp. 83-90, 2000.
- [4] E. Normand and M. J. McGuffin, Enlarging a Smartphone with AR to Create a Handheld VESAD (Virtually Extended Screen-Aligned Display), Proc. ISMAR, pp. 123-133, 2019.