

# VR空間における視覚と深部感覚のクロスモーダルを用いた

## 重さ感覚提示手法の提案と評価

Weight sense representation using cross-modality between visual and somatic sensation in virtual reality

1w143110-0 平尾 悠太郎, 指導教員 河合 隆史 教授

Yutaro Hirao, Prof. Takashi Kawai

**概要:** 本研究では VR 空間における重さ感覚提示手法の確立を目的とし、「非常に軽い」感覚から「非常に重たい」感覚までを段階的に提示可能な手法を提案する。具体的には、VR 空間において仮想物体を持ち上げる際、仮想物体が実際の動作に追従する「速度を遅らせる（遅延）」条件と「距離を減少させる（距離減少）」条件を設定する。実験の結果、少なくとも遅延条件で4段階、距離減少条件で3段階の重量感覚変化が有意に知覚された。また、条件によっては「非常に重たく感じる」といったものから「重さを感じないほど軽い」といった意見も多数聞かれ、以上から提案手法の有効性が確認された。さらに、疑似触覚体験時は通常時より手にかかる力が有意に大きくなる、といった身体的な影響も見られた。

**キーワード:** 触覚, クロスモーダル, バーチャルリアリティ, 重さ感覚

### 1. はじめに

触覚情報は、仮想物体や遠隔地におけるインタラクションにおいて、リアリティやその質を高めるために重要な役割を担っている。中でも物体の存在感やリアリティ、仮想空間での没入感において、力覚情報は特に重要であり、これまで多くの力触覚提示のデバイスや手法が提案されてきた。しかし未だ一般に普及しうる触覚提示の手法は数少なく、成功しているものでも用途や利用シーンが限定的なものがほとんどである。そこで、本研究では VR 空間における視覚表現の自由度の高さに着目し、「非常に軽い」感覚から、従来手法では難しかった「非常に重たい」感覚までの、段階的な提示が可能な手法を追求し、VR 空間における重量提示手法の確立を目的とした。また評価方法について、主観評価と共に、物体把持時のコントローラにかかる把持力を測定することで、疑似触覚体験時の客観評価も行った。

### 2. 提案手法

提案手法として、VR 空間において仮想物体を持ち上げる際、仮想物体がコントローラ（実際の動作）に追従する「速度を遅らせる（遅延）」条件と「距離を減少させる（距離減少）」条件を設定する。図 2.1 に各条件の挙動イメージを示す。また、 $f$  フレーム目におけるユーザの手の位置を  $Y_f$ 、仮想物体の位置を  $y_f$ 、パラメータを  $k$  ( $0 \leq k \leq 1, k \in \mathbb{R}$ ) とおくと、それぞれの挙動は以下ようになる。

$$\cdot \text{遅延条件} : Y_f = Y_{f-1} + (y_f - Y_{f-1}) \cdot k$$

$$\cdot \text{距離減少条件} : Y_f = Y_{f-1} + (y_f - y_{f-1}) \cdot k$$

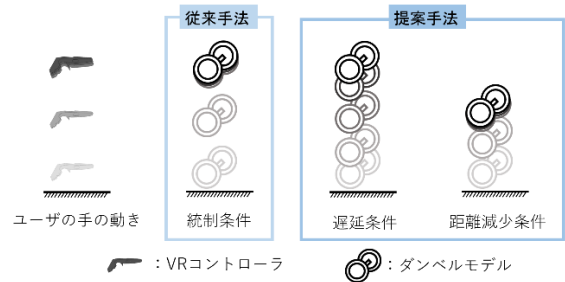


図 2.1: 提案手法の挙動イメージ

### 3. 実験

#### 3.1 実験刺激

参加者は VR 用 HMD を装着し、トリガー部に力センサが付けられた VR コントローラを右手で持つ。VR 空間では床から 50cm 程度の台の上にダンベル型の仮想物体が置かれており、その上方には参加者の肩の高さに合わせたラインが表示してある。また、VR コントローラは手のオブジェクトになっており、トリガーにより仮想物体を掴む、放すといった操作が行える。実験系と VR 空間における操作イメージを図 3.1 に示す。

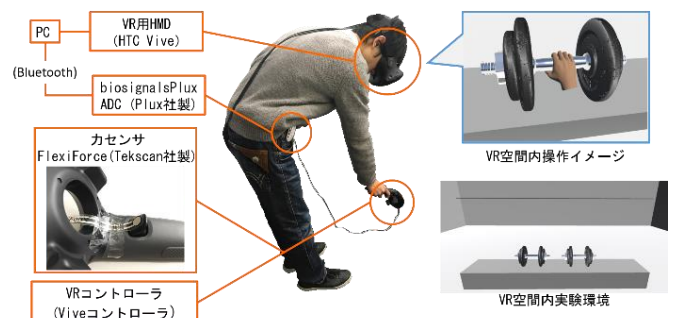


図 3.1：実験系および VR 空間内イメージ

### 3.2 手続き

実験は 20 代大学生 20 名で行った。以下に手続きを示す。

1. 基準条件 (k=1) の挙動をする仮想物体を、ラインを指して持ち上げる (合図で終了)
2. 比較条件 (k=ki) において同様に課題を行う
3. 基準条件において感じた重さを 10 とした時の、比較条件において感じた重さを回答する
4. 1~3 を一方の条件のすべてのパラメータについてランダムに 1 回ずつ行う
5. 1~4 を提案手法の 2 条件それぞれについて行う
6. 実験全体に関するインタビューを行う

なお、2 で用いる条件として、遅延条件では k = 0.01, 0.005, 0.0035, 0.002, 0.001, 0.0005, 0.0 の 7 条件、距離減少条件では k = 0.5, 0.3, 0.2, 0.1, 0.05, 0.0 の 6 条件をランダムに提示した。

### 4. 結果

提案手法の 2 条件において、マグニチュード推定法で得られた値 (ME 値) を各パラメータの平均値によりフィッティングしたグラフを図 4.1, 4.2 に示す。なお、ME 値は k=0 を除外し、かつ個人の各 ME 値をその個人の最大 ME 値で割る基準化処理を行っている。

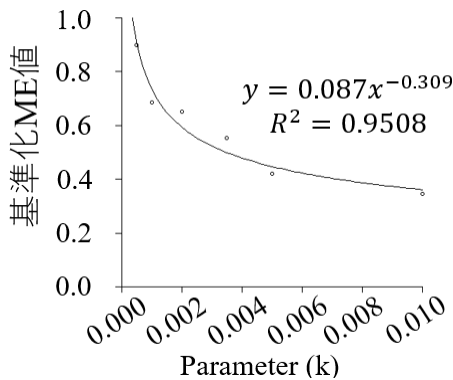


図 4.1：平均 ME 値によるフィッティンググラフ 遅延

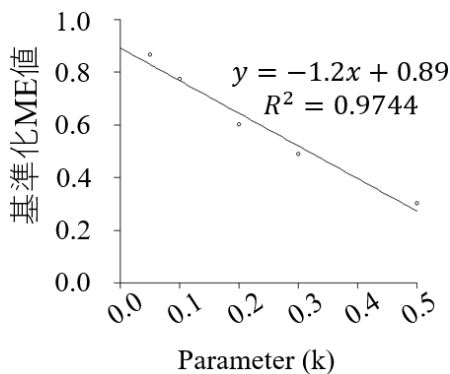


図 4.2：平均 ME 値によるフィッティンググラフ 距離減少

また、基準化された ME 値において、各条件でパラメータを要因とした一元配置分散分析を行った後、多重比較を行った結

果を表 4.1, 4.2 に示す。

表 4.1：多重比較 遅延

	0.01	0.005	0.0035	0.002	0.001	0.0005
0.01	-	-	-	-	-	-
0.005	x	-	-	-	-	-
0.0035	<0.05	x	-	-	-	-
0.002	<0.01	<0.01	x	-	-	-
0.001	<0.01	<0.01	x	x	-	-
0.0005	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	-

表 4.2：多重比較 距離減少

	0.5	0.3	0.2	0.1	0.05
0.5	-	-	-	-	-
0.3	x	-	-	-	-
0.2	<0.01	x	-	-	-
0.1	<0.01	<0.01	x	-	-
0.05	<0.01	<0.01	<0.01	x	-

さらに、仮想物体持ち上げ課題中におけるコントローラのトリガーにかかる力を、各提案手法の 2 条件について「パラメータ」と「基準—刺激条件」を要因とした対応ありの二元配置分散分析を行った結果、「基準—刺激条件」要因で、遅延条件で有意水準 10% の有意傾向が、距離減少条件で有意水準 1% の有意差が見られた。またパラメータ要因の主効果と要因間の交互作用は見られなかったため、それぞれの条件において、基準条件と刺激条件について対応ありの t 検定を行ったところ、いずれも有意水準 1% で有意差が見られた。図 4.3, 4.4 に結果を示す。

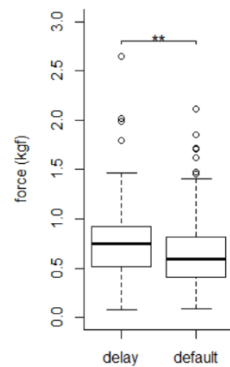


図 4.3：遅延—基準条件

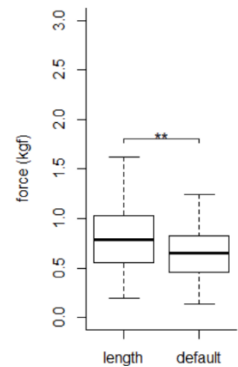


図 4.4：距離減少—基準条件

### 5. 結論

本実験の結果および自由記述のコメントより、本研究では大きく以下の 5 つの知見を得ることができた。

- 提案手法 2 条件共に、重さ感覚の提示が可能であり、条件やパラメータによっては「非常に重たい」という感覚を出すことができる。
- 視覚的なずれが大きくなるほど有意に主観的な重量感が増加し、少なくとも遅延条件で 4 段階、距離減少条件で 3 段階の重量感覚変化が知覚される。
- 少しでも動いていると認識できるか否かにより、重さ感覚の個人差に大きく影響が出る。
- 提案手法による重量感錯覚体験では通常時より手に力が入るといった身体的な影響がみられる。
- 現実の感覚と質的には異なるが、同じ概念、体験として機能する VR 独自の感覚表現の可能性が示唆される。