

手モデルの変形がバーチャル物体の重さ知覚に与える影響

岡田一志[†] 橋本渉[†]

概要: 本研究では、Pseudo-Haptics (擬似触覚) の一つとして弾性変化を加えた手モデルの使用によりバーチャル物体への重さを錯覚させることを目的とする。本実験では、一般的な 3D 手モデルを粒子からなる手モデルへ変換し、VR 空間内の異なる重さの球体を操作し、変形量の大きな順に並べ替える課題、変形量から重量にどの程度違いがあるかを判別する課題を実施した。実験の結果、明確に重さの違いは知覚されなかったが、手モデルの変形により重さが知覚される可能性が示された。

1. はじめに

物体に触れることで得られる触覚を、実際に触れずに視覚情報からあたかも物体に触れたように知覚させることを Pseudo-Haptics (擬似触覚) と呼ぶ。そのなかでもマウスのカーソルのような操作対象そのものの振る舞いを変化させることにより、凹凸の触感を与えたり[1]、あたかも触っているかのような感覚を与える試みが提案されている[2]。Watanabe らはペン先を表すカーソルの振る舞いを触れる対象に応じて変化させることにより、あたかも対象をなぞっているような感覚を与えることを狙いとしている[3]。一方、伴らはバーチャル把持物体とバーチャルハンド両方を故意に変形させることにより、把持物体の硬さ知覚に影響を与えることを示している[4]。橋口らは実物体を把持する際、内部に液体が揺れるような CG を重量表示することにより、実物体が剛体であるにもかかわらず液体が入っていると知覚される現象について分析している[5]。本研究ではこれらの研究から着想を得て、ユーザの手モデルを変形させ、バーチャル物体の重さ知覚に影響を与えることができないか考えた。図 1 のように、VR 空間内でマウスカーソルに当たる物体のユーザの手モデルの弾性を変化させ、図 1 に示すように球体を手モデルに衝突した際に球体の重さに応じて変形量に違いを持たせることで重さの知覚に影響を与えることを目標としている。

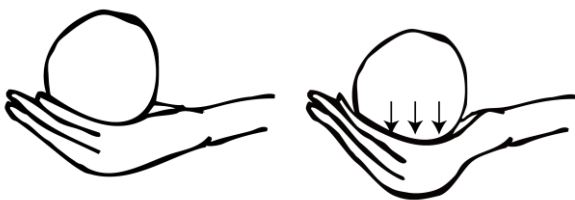


図 1 ユーザの手モデルの変形による重さの表現

2. 実装

2.1 重さにより変形する手モデルの実装

図 1 のような手モデルの変形を実現するにあたり、VR 空間上で弾性変形できる仕組みを考える。バーチャル物体の重さや衝突の状態によって、手モデルの変形を動的に制御するため、ここでは粒子モデルを使用した。粒子モデルへの変換・生成は粒子ベースのシミュレーションライブラリ NVIDIA Flex for Unity を用いた。粒子モデルに変換した 3D の手モデルを図 2 左に、生成した粒子の手モデルを図 2 右に示す。粒子モデルをそのまま使用すると、その場で落下してしまい VR 空間を手モデルが移動できないという問題がある。また、手モデルが極端に変形すると、身体所有感がそこなわれる可能性がある[6][7]。そこで、生成した粒子モデルをコントローラのトラッキング座標と一致させるため粒子モデルの一部をコントローラのトラッキング座標に固定し、極端に大きな変形が生じないようにしている。固定した粒子に固定されていない粒子を追従させ、VR 空間を自由に移動させることが可能な弾性のある手モデルを実装している。粒子モデルの拘束点を表したものを図 3 に示す。線が表示されている部分に点を設定しており、拘束点の位置は手の骨の位置を基準に設定している。

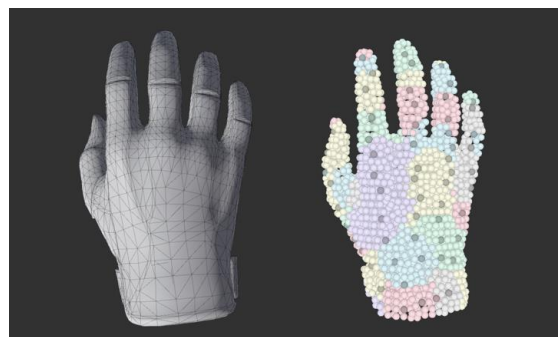


図 2 一般的な 3D モデル (左) と粒子モデル (右)

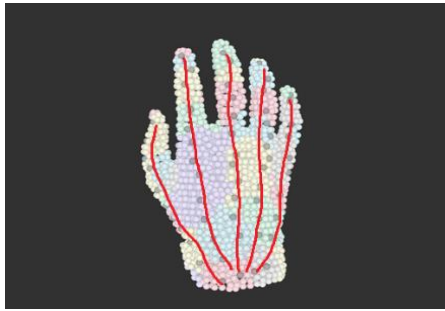


図 3 粒子モデル拘束点位置

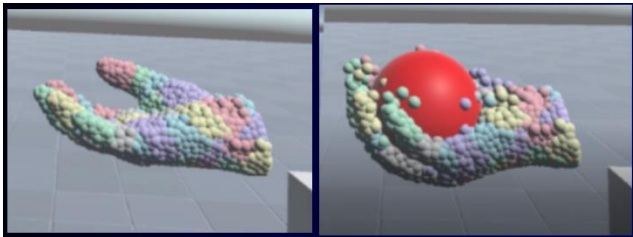


図 4 変形量の違い 球体無し (左) 球体あり (右)

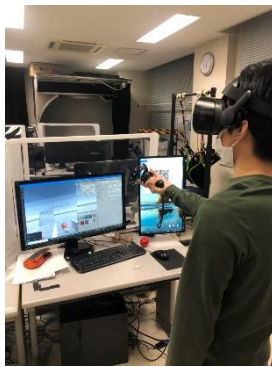


図 5 実際の様子

視覚刺激の提示, 手の座標のトラッキングには Samsung Windows Mixed Reality Headset とコントローラを使用した. ここでは実際に手形状を用いず, コントローラに手モデル (図 4 左) を追従させることにしている. 粒子モデルはバーチャル物体の重さに応じて変形の度合いが変わるようになっており, Unity 内の mass scale の値で定義している. mass scale40 の物体を把持したときの手モデルを図 4 右に示す.

3. 実験

3.1 実験目的

本研究では, 弾性を变化させた手モデルの変形量を認識できるか, 変形量の違いから重さを知覚できるかを調査する実験を行う. VR 空間での操作に慣れるための練習フェーズ, 重さの異なる球体を手モデルの変形量から違いが確認できるか調査するために並べ替えフェーズ, 手モデルが変形することで重さの知覚に影響が出るのか調査するために重さ比較フェーズの 3 つの段階を用意した.

3.2 実験方法

練習フェーズでは, 手モデルの掌の上に球体を載せた状態で手を上下, 球体を手モデルの上で弾ませる動作を実験参加者が慣れるまで練習してもらおう. 並べ替えフェーズでは Unity 内の mass scale の値を変更した, 見た目が同じで重さだけ異なる 4 つの球体を手モデルの変形量を元に左から順に変形量大きい順に並べ替えてもらおう. mass scale の値は大きい順から 40, 30, 20, 10 である. 重さ比較フェーズでは, mass scale10 の球体を基準としたときに 40 の球体が何倍重く感じたかを 1.0 から 10.0 の範囲, 口頭で回答する. 各フェーズを行っている様子を図 5 に示す.

3.3 実験手順

実験参加者には HMD を装着させて練習フェーズを開始する. 操作方法に慣れたら HMD を被ったまま並べ替えフェーズに移行する. 並べ替えが完了したら並べ替えた球体の mass scale を実験参加者には伝えず左から順に記録する. 最後に重さ比較フェーズに移行し, mass scale10 と 40 の球体を実験者に指し示し, 比較させて何倍の重さを感じたか口頭で回答するよう指示した. 実験終了後, HMD を外してもらいアンケートの回答を指示した.

実施したアンケートの質問内容を表 1 に示す. 1 (そう思う) から 5 (そう思わない) の 5 段階のリッカートスケールで実施した.

表 1 アンケート質問内容

- Q1.手を自然に動かすことはできたか
- Q2.変形量の違いはあったか
- Q3.重さを感じたか

4. 実験結果・考察

大学生の男性 9 人, 女性 1 人, 計 10 人が実験に参加した. 実験参加者が並べ替えを行った結果と重さ比較を行い基準と比べて重さが何倍か回答した結果を表 2 に示す. 正しい並べ替え結果は左から順に 40, 30, 20, 10, 倍率は 4.0 である. 表 1 に対するアンケート結果を図 6 に示す.

表 2 比較実験結果

実験参加者	並べ替え結果				倍率
A	40	30	20	10	4.0
B	20	40	10	30	1.5
C	40	20	30	10	1.1
D	40	30	20	10	5.0
E	40	20	10	30	2.5
F	40	20	30	10	2.5
G	40	30	20	10	7.0
H	20	10	30	40	1.0
I	30	40	20	10	1.5
J	40	30	20	10	3.0

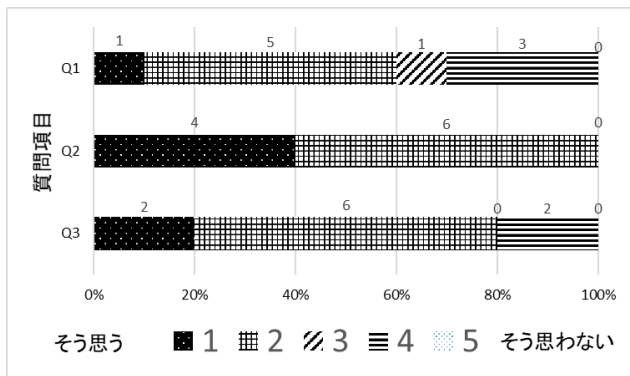


図6 アンケート結果

参加者 A, D, G, J は正しい順序で並べ替えを行えたが、mass scale 10 と 40 の球体を比較し重さが 4.0 倍だと回答したのは参加者 A のみであった。

参加者 H を除く 9 名は mass scale 40 と 10 の順序は正しく並べ替えができていた。しかし、この 9 名の内 5 名は 30, 20 の順序を間違えたり、40 以外の重さの球体を 40 より左に並べている。また、間違った順序で並べ替えた参加者が回答した倍率は 2.5 以下であり、正しい順序で並べ替えた参加者の回答倍率を上回ることにはなかった。これより、把持物体の重さによる変形量の差を明確に知覚させるためには、比較する把持物体の重量の差が 4 倍以上必要であると考えられる。

参加者 H は並べ替え順序は間違えたがアンケート結果より変形量の違い、重さは知覚していると答えていた。しかしながら、比較時の重さを 1.0 倍と回答している。このことから、参加者 H にとって手モデルの変形量の差が小さすぎたため違いを判別できなかつたと推測する。

“手を自然に動かすことは出来たか” に対して 4 と回答した参加者が 3 名いた。この 3 名からは“自分の意識と違う挙動をする”というコメントが得られた。弾性を変化させたことにより手モデルに対して身体所有感がそこなわれた可能性が考えられる。

全参加者が“変形量の違いはあったか” に対しては 1 か 2 と回答しており、変形量の違いは知覚できたと考えられる。しかしながら、参加者 E, F は“重さを感じたか” に対して 4 と回答していた。この 2 名は倍率を 2.5 倍と回答していた。変化量の違いは知覚できたと判断できるため、個人差の大きな倍率を正確に知覚させるため変形量の調整が重要であると考えられる。

5. おわりに

本研究では、操作対象である手モデルの変形量の違いから異なる重量のバーチャル物体を判別可能か、手モデルの変形が重さ知覚に影響を与えるのか調査した。手モデルの変形量が小さすぎたためか重さの違いを知覚させることは出来なかつたことが示された。しかし、重さを感じたと回

答する参加者が 8 名であったため、重さの知覚に手モデルの変形が影響を与える可能性がある。本実験では、主観評価のみであったが、重さの知覚に対する客観評価をコントローラにおもりなどを取り付け、おもりの有無条件で比較実験を考えている。

今後の展望として、粒子モデルを使用し弾性の変化を行ったが、弾性だけでなく物体にモデルが張り付くような表現方法、物体への接着性を変化させることが可能である。接着性を変化させた手モデルで物体に触れるとモデルが一時的に変形しながら物体に張り付く。張り付いた手モデルを引きはがそうとした際に引っ張られるような感覚を提示できる可能性がある。弾性と接着性の度合いの強さを慎重に調整しつつ、実験を進めていく。

参考文献

- [1] Powercursor: <https://www.powercursor.com/>
- [2] Visual Haptics: <http://www.persistent.org/visualhaptics.html>
- [3] Watanabe et al.: FlexibleBrush: A realistic brush stroke experience with a virtual nib, UIST2007, pp. 47-48, 2007
- [4] 伴ら: 手形状変形フィードバックを利用した把持動作における硬さ知覚操作, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.19, No.4, p.523-532, 2014
- [5] 橋口ら: R-V Dynamics Illusion: 実物体と仮想物体の異なる運動状態が重さ知覚に与える影響, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.21, No.4, p.635-644, 2016
- [6] 小川ら: にくす手: 変調バーチャルハンドへの即応的な身体所有感の生起による身体拡張システム, 情報処理学会・インタラクシオン 2016 論文集, p.1022-1024, 2016
- [7] 小柳ら: Liquid Hand Illusion 液体に対する身体所有感の生起に関する研究, 第 24 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2C-05, 2019