

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 16 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12075

研究課題名(和文)自己接触感を利用したデバイスレス視触力覚システムの研究

研究課題名(英文) Device-less visuo-haptic display system using self-contact sensation and visuo-haptic interaction

研究代表者

廣瀬 通孝 (HIROSE, Michitaka)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授

研究者番号：40156716

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、視触覚間相互作用により深部感覚を操作し、バーチャル物体との接触感の提示に自己の身体同士の接触を用いることで、外部的な触力覚提示装置を全く用いず、物体を掴み、操作している感覚を提示する手法を実現した。この手法では、視覚提示しているバーチャル物体の大きさに合わせ、実際の指同士が接触する瞬間に、バーチャル物体と映像中の指が接触するよう、手映像の姿勢を変形して視覚提示する。この手法の性能を検証する心理物理実験をおこなったところ、バーチャル物体の直径が25mm以下であれば、80%以上の確率で視覚提示されている大きさのバーチャル物体をつかんでいる感覚が提示できることが示された。

研究成果の概要(英文)：In this study, we realized a visuo-haptic augmented reality (AR) system which delivers pinching and pulling interactions with AR objects. The system employs a cross-modal effect at the point where fingers feel an equivalent contacting sensation when pinching an object. It controls bathyesthesia sensation with visuo-haptic interaction based on a rendering algorithm that evokes haptic sensations without using haptic devices. Through a psychophysical experiments, we confirmed that this method enabled us to present as if they were touching a virtual object as same size as they were watching when the diameter of the virtual object is 25 mm or less.

研究分野：バーチャルリアリティ

キーワード：視触力覚間相互作用 触覚提示 自己接触感 拡張現実感 クロスモーダル

1. 研究開始当初の背景

これまで、バーチャルな物体を把持・操作する感覚を提示するにあたり、機械的な機構によって物理的に触力覚を生起させる手法が主に用いられてきた。しかし、それらはリンクやワイヤ等により自由度が限られる、複雑な装置によりコストがかかるといった問題がある。

他方、視触覚間の感覚間相互作用を用いることで、触力覚を物理的に再現する装置なしに擬似的に触力覚を生成する Pseudo-haptics[1]を始めとする手法が近年注目を集めている。しかし、接触感・反力を提示するための実物体が必要であったり、提示可能な触力覚が微小であったりという課題を抱えていた。

これらの課題に対し本申請では、申請者らが研究開発している視触覚間相互作用による深部感覚操作手法[2]を拡張させ、自己接触感をバーチャル物体に対する接触感にすり替えることで、バーチャル物体の把持操作感覚が提示出来るのではないかと考えた。具体的には、図1のように、取得した手映像姿勢をリアルタイムに変調して視触覚間相互作用の効果を生起させ、自己の身体、例えば指同士の接触(自己接触感)をバーチャル物体との接触であるかのように視覚提示できる手法を構築する。これを用い、バーチャル物体の把持操作感覚を提示するデバイスレスなシステムの実現を目指す。



図 1: 自己接触感を利用した視触力覚ディスプレイ

2. 研究の目的

本研究の目的は、視触覚間相互作用により深部感覚を操作し、バーチャル物体との接触感の提示に自己の身体同士の接触を用いることで、外部的な触力覚提示装置を全く用いず、物体を掴み、操作している感覚を提示する手法の実証と適用限界の検証にある。

従来より申請者らは Pseudo-haptics の原理を活用し、物体に触れる手の姿勢を変調し視覚提示することで、実際に触っている物とは異なる形状の物体を知覚させられる事

を確かめてきた[2]。しかし、本手法でも接触感を提示するためには簡単であるにせよ実際に触る物体が必要であり、何らかの物理的存在が不可欠であった。本研究はこれを拡張し、何も持たない状況でも指同士の接触をバーチャル物体との接触のように提示できる手法を実現し、その適用限界(提示物体の形状・大きさ等)を明らかにする。

3. 研究の方法

(1)自己接触感を用いた触覚提示のための視覚フィードバック生成アルゴリズム確立

触力覚提示装置を全く用いずとも、指同士の接触をバーチャル物体との接触であるかのように知覚させる視覚フィードバック生成アルゴリズムを構築し、その効果を定量的に評価する。手指の姿勢をリアルタイムに適切に変形させ、指同士が接触した瞬間と視覚提示映像内でバーチャル物体と接触した瞬間を同期させることで、自己接触感をバーチャル物体との接触とすり替えて知覚させるアルゴリズムを開発する。

(2)視覚フィードバックによる視触覚間相互作用効果の主観・客観指標による定量的評価

(1)で構築したアルゴリズムを用いて、何も持たない状態でも、どの程度の大きさまで把持物体があるかのように提示できるか、効果の発生条件や提示可能限界について検証し、それをもとに更にアルゴリズムの改良を進める。

(3)手法の汎用性の向上

(1)にて構築し、(2)にて効果を明らかにしたアルゴリズムを、より複雑な環境や一般的な拡張現実感システムにおいて利用可能にするため、汎用性を向上させる手法を構築する。把持動作が複雑になるに従い、指同士が重なる等のオクルージョンも発生しやすくなり、視覚提示映像内の空間的整合性を保つのが困難になるため、デプスカメラを用いた手指姿勢の推定などを利用し、複雑な背景環境・複雑な手指姿勢においても(1)の手法を利用可能にするアルゴリズムの検討を進める。

4. 研究成果

4. 1 視覚フィードバックアルゴリズムの構築

提案システムでは、視覚提示しているバーチャル物体の大きさに合わせ、実際の指同士が接触する瞬間に、バーチャル物体と映像中の指が接触するよう、手映像の姿勢を変形して視覚提示する必要がある。提案手法における、フィードバック映像合成のための画像処理を図2に示す。本節では、この処理の各段階における処理の説明を行う。

4. 1. 1 手領域の抽出と指先、重心位置の同定

まず、ブルーバックを用いて HSV 色空間よ

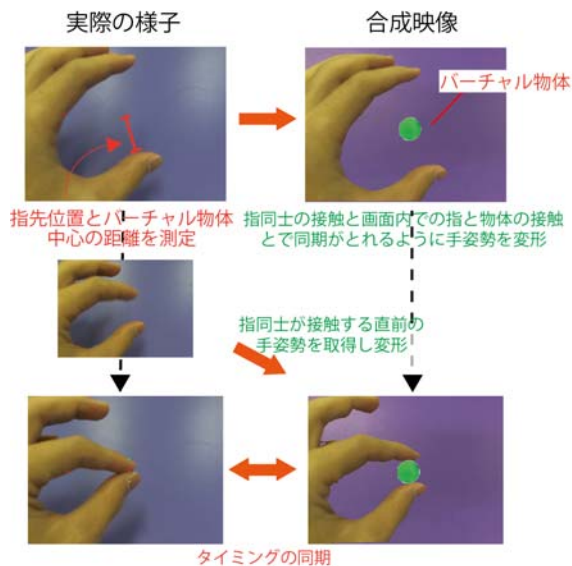


図 2: 手映像の姿勢を変調し、バーチャル物体を把持しているかのような映像を合成する画像処理の流れ

り、キャプチャ映像から手領域を抽出し、その重心座標 (O_h) を取得する。指先位置の取得に関しては、今回は簡易に実装、検証するため、二指で物体をつかむことを前提とした実装をおこなった。手領域のうちバーチャル物体の中心 O_v との距離が最も短い点を指先位置 F_1 とし、続いて F_1 近傍の点を手領域から除外し、残った領域内で最も O_v との距離が短い点をもう一つの指先の位置 F_2 とした。本実装では、自然な手の変形結果を得るために十分に離れた二つの接触点を選ぶ目的から、 $\angle O_v F_1 P < 80^\circ$ となるような点 P の集合を、 F_1 近傍の点として除外した。

4. 1. 2 手画像の変形・重畳

次に、画像変形アルゴリズムを利用して先に取得した手領域をリアルタイムに変形し、実際の指同士が接触するタイミングと、バーチャル物体と映像中の指が接触するタイミングが揃うような映像刺激を生成する。画像変形にあたっては rigid MLS method [3] を利用する。本手法は、制御点の位置の変化を元に、画像全体を歪める画像変形アルゴリズムである。変形度合いに重み付けをすることで、制御点周りの画像の形を崩さないような変形が行われるため、自然な手形状変形を行うことができる。rigid MLS method では、変形結果を得るために、3 つ以上の制御点の変形前後の位置を与える必要があるため、本手法では、先に求めた指先位置 (F_1, F_2) と、重心位置 (O_h) を利用する。

本変形手法の問題点として、指同士が接触してしまうと、指先位置が同定できなくなる上に、親指と人差し指が繋がったままで変形を加えようとするために、手映像の姿勢が崩れて見えてしまうという問題がある。そこでここでは、指同士が接触する直前の手映像を取得し、指先間距離が小さい場合は実際の手

映像ではなく、そちらの画像を変形して視覚提示するという手法をとった。

指先間距離が十分に大きい段階では、バーチャル物体の半径 d と指先からバーチャル物体の中心距離を用いて、変形後の指先の位置 (F'_1, F'_2) は以下のように表される。なお、本実装では、 OF_1, OF_2 が d の L 倍以上になる場合は変形が開始されないようにした。

$$OF'_{1(2)} = d + OF_{1(2)} \cdot (L - 1.0) / L \quad \dots (1)$$

また、指先間距離が小さい、または指同士が付いている段階では、指同士が接触する直前の手映像を取得し、そちらを変形する。その際の条件は、 $OF_{1(2)} < d \cdot 1.5$ とした。この取得した手映像の指先位置を F_{v1}, F_{v2} とすると、変形後の指先の位置 (F'_1, F'_2) は以下のように表される。

$$OF'_{1(2)} = (d + OF_{1(2)} \cdot (L - 1.0) / L) \cdot OF_{v1(2)} / OF_{v1(2)} \quad \dots (2)$$

この $F_{1(2)}$ ($F_{11(2)}$) と手領域の重心 O_h を変形前の制御点位置である F'_1, F'_2, O_h それぞれに対応した変形後の制御点位置として用い、rigid MLS method によって手画像を変形する。その後、バーチャル物体映像、変形した手画像、あらかじめ用意した背景画像を合成し、体験者に提示する。

4. 2 提示可能物体サイズの検証実験

4. 2. 1 実験概要

実装したシステムを用いて、提案手法によって指同士の接触感をバーチャル物体との接触感とすり替えて提示し、何も持たせずとも、ある程度の大きさを持った物体を把持している感覚を提示できるか、またその際どの程度の大きさの物体まで提示できるか検証をおこなった。

被験者には、モニタ越しにバーチャル物体を親指と人差し指でつかむように指示し、掴んでいると感じた大きさの物体を回答させた。カメラと被験者がバーチャル物体をつかむ距離を一定に保つために、ガイド用の板を取り付け、被験者には親指と人差し指がこの板面に触れた状態でバーチャル物体をつかむように指示した。

本実験ではバーチャル物体として直径 5mm, 15mm, 25mm, 35mm, 45mm の円盤五種類を用意した。被験者が知覚したバーチャル物体の大きさを回答させる為、直径が 1, 3, 5mm ~ 60mm (5mm 間隔) の円盤を用意した。被験者はモニタ裏でバーチャル物体をつかんだ後にこの回答用円盤を触り比べ、最も大きさが近いと知覚した円盤を選択した。被験者は 20 代男性 6 名 (全員右利き) とし、タスクは、各バーチャル物体に対し 3 回ずつおこなった。また、実験前に、物体をつかむ際には必ず提示映像に注目する、物体を親指と人差し指でつかむ、バーチャル物体も回答用円盤も

右手のみでつかむ、バーチャル物体をつかんだ後に回答用円盤をつかむ、という4点に気をつけるよう教示した。

4. 2. 2 結果と考察

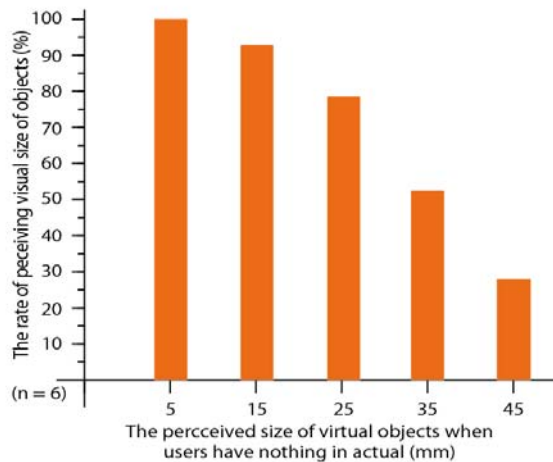


図 3: 提示したバーチャル物体の直径と、被験者がつかんでいると知覚した物体の直径の差が 5mm 以下だった割合

実験の結果として、被験者がつかんでいると知覚した直径と、提示したバーチャル物体の直径との差が 5mm 以下(バーチャル物体の直径が 5mm の時は 2mm 以下)に収まった確率を図 3 に示す。この割合が高いほど、被験者は視覚的に提示されている大きさの物体を把持している感覚を強く得ていたといえる。本結果より、バーチャル物体の直径が 25mm 以下であれば 80%以上の確率で視覚提示されている大きさのバーチャル物体をつかんでいる感覚が提示できることが示唆された。これは筆者らが先におこなった、把持物体の大きさに対する知覚操作実験[2]において、把持している物体の直径が視覚的に 20mm~30mm 操作されても違和感なく視覚提示されている物体の大きさを知覚した被験者が多く居たことにも合致する結果となった。

今回、回答用に提示した円盤は木製であり、指同士の接触感覚とは温度、硬さ等が明らかに異なっており、またバーチャル物体として提示したものは回答用円盤を事前に撮影した画像を利用したものであったため、大きさとしては違和感がないが触感に違和感を覚えたという被験者が 6 名中 4 名いた。そのため今後は、提示するバーチャル物体を皮膚の触感に近いものにする、また、指先に硬いサック等をつけ、指先の触感や温度感覚を伝わりにくくすることで、触感に対する違和感を軽減することが必要だと考えられる。触感に対する違和感を減少させることができれば、バーチャル物体の实在感が高まり、視覚間相互作用がより強く働くことで、大きさに対する知覚操作域も拡大できる可能性もあるため、今後検討をおこなっていく。

4. 3 適用可能環境の拡張

上述の手法は 2 次元画像から色抽出によって手領域を判定していたため、利用できる環境に強い制限があった。特に、もとの提案手法では、カメラから取得したリアルタイム映像をそのまま背景画像として使用する場合、元の手映像と、動きを変調した後の手映像の両方が表示されてしまう。この問題を避けるために、上記実験で使用したシステムではあらかじめキャプチャしておいた環境画像を背景として用いている。

そこでデプスカメラを用いることで手領域抽出手法を改良し、任意背景・多様な手姿勢での接触方法への対応を図った。まず、取得した映像から実際の手を自然に消すことで、リアルタイムに背景画像を更新していく手法を構築した。本手法では、カメラの移動量を逐次算出し、前のフレームまでに取得した背景画像から、現在手領域だと認識されている領域に画像を当てはめることによって、実際の手を映像中から消去することができる。具体的には、図 4 に示す処理によって手の消去をおこなう。まず距離カメラによって前景と背景を切り分け、背景画像を確保しておく。その後、確保されている背景画像からのカメラ移動量を算出し、取得していた背景画像にホモグラフィ変換をかけることにより、現カメラ画像と保存していた背景画像のパスが一致するようにする。最後に、前景(手領域)領域には変換した背景画像を、それ以外の領域には現カメラ画像を合成させることにより、現カメラ画像からそこに写り込んでいる実際の手を消去することができる。手領域の表示位置を操作すれば、カメラの移動に従って背景がリアルタイムに変化していくような拡張現実感システムにおいても、本研究にて提案した形状知覚操作システムを搭載することが可能になる。

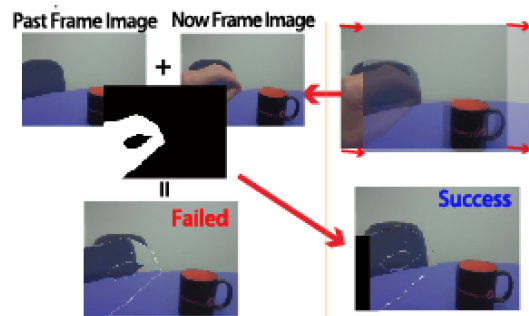


図 4 過去フレームの背景を用いた手領域の消去

<引用文献>

- ①A.Lecuyer et al.: Pseudo-Haptic feedback: Can isometric input devices simulate force feedback, IEEE VR, pp.83-90,2000.
- ②Yuki Ban, Takuji Narumi, Tomohiro Tanikawa and Michitaka Hirose:

Modifying Perceived Size of a Handled Object through Hand Image Deformation, Presence: Teleoperators and Virtual Environments Summer 2013, Vol. 22, No. 3: 255-270, 2014.

- ③ Schaefer, S., McPhail, T. and Warren, J.: Image deformation using moving least squares. ACM Transactions on Graphics 25, 3, pp. 533-540, 2006.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計4件)

- ① 茂山丈太郎, 小川奈美, 鳴海拓志, 谷川智洋, 廣瀬通孝: アバタの関節角補正による疑似抵抗感提示, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 22, No. 3, pp. 369-378, 2017年9月.
- ② 鳴海拓志, クロスモーダル知覚のインタフェース応用, 映像情報メディア学会誌, Vol. 72, No. 1, pp. 2-7, 2018.
- ③ 鳴海拓志, Pseudo-haptics 応用インタフェースの展望: 疑似触力覚提示からその先へ, システム制御情報学会誌, Vol. 61 No. 11, pp. 463-468 2017.
- ④ 鳴海拓志, 多感覚知覚の工学的応用, 基礎心理学研究, Vol. 36 No. 1, pp. 129-132, 2017年9月.

[学会発表] (計5件)

- ① Jotaro Shigeyama, Nami Ogawa, Takuji Narumi, Tomohiro Tanikawa, Michitaka Hirose: Presenting pseudo-haptic feedback in immersive VR environment by modifying avatar's joint angle, World Haptics 2017, June 2017.
- ② 茂山丈太郎, 小川奈美, 鳴海拓志, 谷川智洋, 廣瀬通孝: アバタの関節角補正による疑似触力覚提示手法の基礎検討, 信学技報, vol. 117, no. 73, MVE2017-2, pp. 7-12, 2017年6月.
- ③ Yuki Ban, Takuji Narumi, Tomohiro Tanikawa and Michitaka Hirose: Evaluation of The Effect of The Visuo-haptic Interaction for The Shape Perception by Measuring The Movement of A Fingertip, ASIAGRAPH 2016, Mar. 2016.
- ④ 伴祐樹, 鳴海拓志, 谷川智洋, 廣瀬通孝: 自己接触感を利用したバーチャル物体把持感の提示, 第20回日本バーチャルリアリティ学会大会, 32A-5, 2015年9月.
- ⑤ Yuki Ban, Takuji Narumi, Tomohiro Tanikawa, Michitaka Hirose: Air Haptics: Displaying feeling of contact with AR object using visuo-haptic interaction, SIGGRAPH 2015 Emerging Technologies, Aug. 2015.

[図書] (計3件)

- ① 鳴海拓志, VR技術と多感覚知覚, 図説 視

覚の事典, 日本視覚学会 編, 朝倉書店, 2018.

- ② 鳴海拓志, VRのためのクロスモーダルインタフェース技術, VR/AR技術の開発動向と最新応用事例, 技術情報協会, 2018年
- ③ 鳴海拓志, 多感覚情報を圧縮するクロスモーダル知覚とその活用, 狙いどおりの触覚・触感をつくる技術, S&T出版, 2017年.

[産業財産権]

- 出願状況 (計0件)
○取得状況 (計0件)

[その他]

なし

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
廣瀬 通孝 (HIROSE, Michitaka)
東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授
研究者番号: 40156716
- (2) 研究分担者
なし
- (3) 連携研究者
谷川 智洋 (TANIKAWA, Tomohiro)
東京大学・大学院情報理工学系研究科・特任准教授
研究者番号: 80418657
- 鳴海 拓志 (NARUMI, Takuji)
東京大学・大学院情報理工学系研究科・講師
研究者番号: 70614353
- (4) 研究協力者
伴祐樹 (BAN, Yuki)