



レーザ走査プロジェクトにおける拡張手の浮遊および接触表現

Hovering and Contact Representation of Contour-Based Extended Hand Projection
by Laser Scanning Projector

渡邊あきら¹⁾, 内田琢也¹⁾, 佐藤優志¹⁾, 岩井大輔¹⁾, 佐藤宏介¹⁾

Akira WATANABE, Takuya UCHIDA, Yushi SATO, Daisuke IWAI, and Kosuke SATO

1) 大阪大学 大学院基礎工学研究科 (〒 560-8531 大阪府豊中市待兼山 1-3,
{watanabe, t.uchida, y.sato}@sens.sys.es.osaka-u.ac.jp, {daisuke.iwai, sato}@sys.es.osaka-u.ac.jp)

概要: ウィズコロナ時代において様々な非接触型コミュニケーションが求められているが, 従来の遠隔コミュニケーションはビデオ通話等の映像のみを介したシステムに留まっている. そこで本研究では, ビデオ通話システムとレーザ走査プロジェクトによる輪郭投影型拡張手を組み合わせる手法を提案し, 簡便にも存在感のある遠隔コミュニケーションの実現を目指す. そして浮遊および接触を表現することのできる輪郭投影型拡張手のエフェクト形状および動作について解明を試みた.

キーワード: 遠隔コミュニケーション, 投影型拡張現実感, 身体拡張, レーザ投影

1. はじめに

ウィズコロナ時代においてテレワーク等の新しい生活様式が確立され, 非接触型の遠隔コミュニケーションへの需要が高まっている. 現在主流となっているビデオ通話等の映像のみを介した遠隔コミュニケーションシステムは, 身体的インタラクションがないため遠隔地にいる双方の存在感は一般に高くない. また, アバターロボットを用いた遠隔コミュニケーションは, その可搬性や設置性が課題となる.

そこで本研究では, ビデオ通話システムと遠隔地での輪郭投影型の手 (以下, 輪郭拡張手) を組み合わせる手法を提案する. そして, 簡便かつ存在感のある遠隔コミュニケーションシステムの実現を目指す. 提案システムの概要を図 1 に示す. ローカルサイトユーザはリモートサイトの輪郭拡張手の動きを遠隔で制御し, 所望の対象を指示する. リモートサイトユーザは, 投影される輪郭拡張手を介して空間的インタラクションを行う. 本研究では, ユーザの手の動きを推定して実空間に投影する仮想の手の動きに反映させることで遠隔対象に働きかける ExtendedHand (以下, EH) [1] から着想を得た輪郭拡張手をリモートサイトに組み込む.

従来の EH では, ビデオプロジェクトで CG の手の映像を投影していたため, 明室環境では視認性が著しく低いという問題があった. そこで手を輪郭で表現することとし, 手の輪郭線のみを描画する場合は, ビデオプロジェクトより輝度が高いホログラムパターン投影型レーザ素子やレーザ走査プロジェクトを使用することができる. しかし, ホログラムパターン投影型レーザ素子ではアニメーション表現ができない. そこで本研究では, 高輝度投影およびアニメーション表現が可能なレーザ走査プロジェクトを用いる.

ここで掌形状の輪郭拡張手は投影面に描画されるという

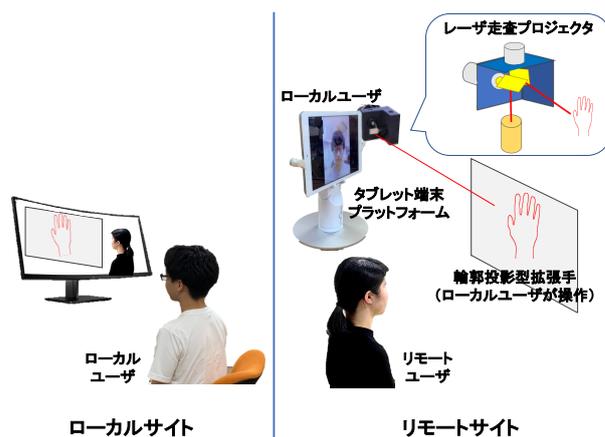


図 1: 提案システムの概要

特性から, 投影面に対して接触しているような印象をユーザに与える. ゆえに掌形状のみの投影では, コミュニケーションの際に遠隔地の物体への非接触状態を明示することは困難である. そこで輪郭拡張手の形状を変化させて浮遊および接触を表現し, ユーザの意図に応じて物体への非接触および接触を明示することのできる視覚効果を輪郭拡張手に付与することを考えた. そして, 浮遊と接触を表現することのできる輪郭拡張手のエフェクト形状および動作について調査を行った.

2. 輪郭拡張手投影システム

浮遊と接触を表現する輪郭拡張手のエフェクト形状および動作を調査するため, ゆらぎによる浮遊表現, エフェクトによる浮遊表現, および, 浮遊から接触への遷移表現を組み込んだシステムを作成した. 本研究ではユーザ心理の調

査を目的とし、その投影には任意のグラフィックス表現が可能なビデオプロジェクタ (NEC, NP-V300W) を使用した。

2.1 ゆらぎによる浮遊表現

間欠性カオスによるカオス性を有する $1/f$ ゆらぎを拍手のアニメーションに用いることで自然で人間らしいアニメーションになるという報告 [2] から、待機状態の輪郭拡張手にゆらぎ表現を付与して人間らしい動作を再現し、浮遊を表現することを考えた。ゆらぎ表現に使用した間欠性カオスのアルゴリズムを式 1, 式 2 に示す。 Δt は 25 ms とし、 $x(t), y(t)$ ($0 < x(t), y(t) < 1$) はそれぞれ輪郭拡張手の x 軸方向および y 軸方向の移動量のパラメータを表している。

ここで、 $x(t), y(t)$ は 0 または 1 に収束する可能性があるため、 $x(t), y(t) < 0.05$ または $0.95 < x(t), y(t)$ の場合には、区間 (0, 1) のランダムな数値を与えることとする。なお、ゆらぎの周期は 40 Hz とし、ゆらぎの振幅は高さ 180 mm の輪郭拡張手に対して 3 mm とした。

$$x(t + \Delta t) = \begin{cases} x(t) + 2(x(t))^2 & (x(t) < 0.5) \\ x(t) - 2(1 - x(t))^2 & (0.5 \leq x(t)) \end{cases} \quad (1)$$

$$y(t + \Delta t) = \begin{cases} y(t) + 2(y(t))^2 & (y(t) < 0.5) \\ y(t) - 2(1 - y(t))^2 & (0.5 \leq y(t)) \end{cases} \quad (2)$$

2.2 エフェクトによる浮遊表現

図 2 に示すエフェクトなしの輪郭拡張手に浮遊を表現するエフェクトを付与した輪郭拡張手を複数作成した。それらを用いた予備調査を被験者 6 名 (男性, 21 ~ 25 歳) に対して実施した結果、図 2 に示す影エフェクト、リングエフェクトの評価が高かったことから、本研究ではこれらを使用する。なお、影エフェクトの幅は被験者 6 名 (男性, 22 ~ 26 歳) に対して実施した予備調査より、高さ 180 mm の輪郭拡張手に対して 9 mm とした。

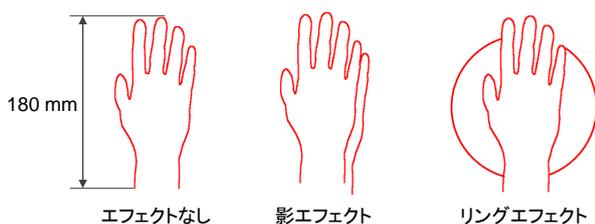


図 2: エフェクトによる浮遊表現

2.3 浮遊から接触への遷移表現

HEMP という疑似触覚アプローチによってユーザの手の視覚的表現を動的に変化させることで触覚のような感覚を提供できることを示唆した研究から [3], 輪郭拡張手の形状を動的に変化させることで浮遊から接触を表現することを考えた。そして、浮遊から接触へと遷移する際に輪郭拡張手を右下方向へ 2 cm 移動させる表現を作成した。

3. 輪郭拡張手の浮遊および接触に関する実験

本実験では、浮遊および接触を表現することのできる輪郭拡張手のエフェクト形状および動作を調査した。

3.1 実験条件

実験はシェッフェの一対比較法に基づいて実施した。被験者 (男性 10 名, 22 ~ 26 歳) は図 3 に示す、輪郭拡張手を遠隔で操作する場合を想定した実験環境において、以下のタスクを繰り返した。

1. 被験者は手元のタブレット端末を用いて同期して動作する A, B の輪郭拡張手を操作し、その様子を観察用タブレット端末越しに観察した。被験者は実験者からタブレット端末に 1 点で触れることで浮遊, 2 点で触れることで接触という操作の教示を受けた後, 20 分程度操作を体験した。
2. 被験者は「輪郭拡張手が浮遊から接触へ変化しているように感じた。」という質問項目に 7 段階リッカート尺度 (-3:A に対してとてもそう思う ~ +3:B に対してとてもそう思う) で回答した。

使用した輪郭拡張手の組合せパターンを図 4 に示す。2 章をもとに 3 要因の視覚効果に対する組合せを作成した。ゆらぎによる浮遊表現, および浮遊から接触への遷移表現に関しては、その有無による 2 条件とした。エフェクトによる浮遊表現については図 2 に示す 3 条件とした。エフェクトなしパターン (C1, C4, C7, C10) は基準として含めることとする。ここで、接触を表現する際の輪郭拡張手はエフェクトなしを使用する。被験者は 12 通りの輪郭拡張手のすべての組合せについて実験を行ったため、 $64 (= 12C_2)$ 試行実施した。なお、順序効果を抑制するために、提示する輪郭拡張手の組合せパターンの順序を被験者間で調整した。

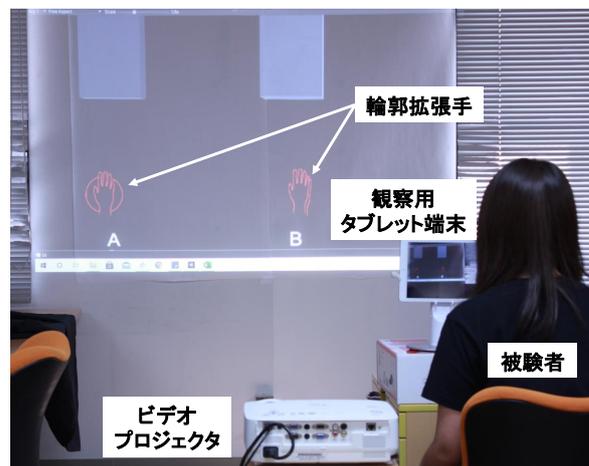


図 3: 実験の様子

3.2 結果

シェッフェの一対比較法 (中屋の変法) を使用して検証を行った結果を図 5 に示す。このグラフにおいて正の値が大きいほど被験者は浮遊から接触への変化を強く知覚していたことを示している。

分散分析を実施した結果、主効果は有意であった ($F=93.208$, $p < 0.01$)。Yardstick 尺度 Y を使用して各組合せパターン間の差の 99% 信頼区間 (99%CI) を計算した。その結果、

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10 基準(無表現)	C11	C12
ゆらぎによる 浮遊表現	✓	✓	✓	✓	✓	✓						
浮遊から接触への 遷移表現	✓	✓	✓				✓	✓	✓			
エフェクトによる 浮遊表現												

図 4: 輪郭拡張手組合せパターン

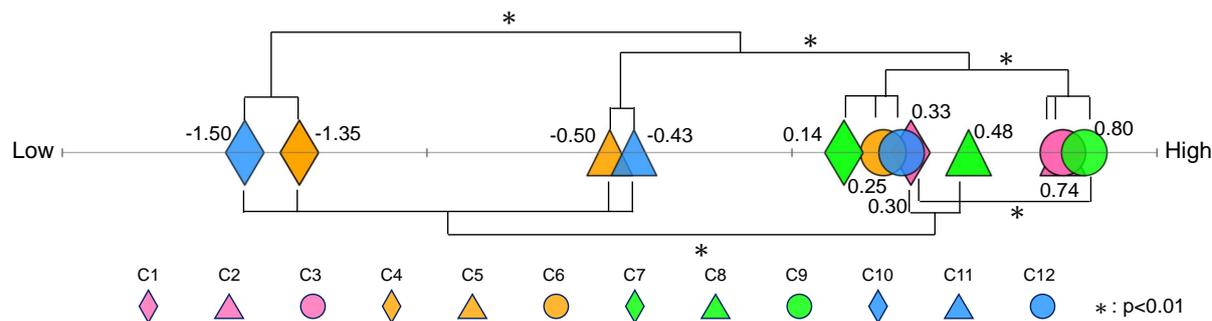


図 5: 実験結果

C5, C6, C7, C11, C12 < C2, C3, C9, C4, C10 < それ以外, C5, C11 < C1, C6, C7, C8, C12, C1 < C9 で有意差がみられた (99%CI ± 0.4326)。

3.3 考察

ゆらぎによる浮遊表現の有無以外の条件をそろえて比較した結果、ゆらぎの有無による有意差は確認されなかった。内観報告より、ゆらぎの有無による組合せパターン A, B の差異を知覚できなかった被験者がいたことから、被験者が知覚できないほどゆらぎの振幅が小さかった可能性がある。

一方、ゆらぎによる浮遊表現の有無による条件をそろえて比較した結果、浮遊から接触への遷移表現がない場合、影エフェクト > リングエフェクト、影エフェクト > エフェクトなし、リングエフェクト > エフェクトなし、の間で有意差が確認できた。また、浮遊から接触への遷移表現があり、ゆらぎがない場合にも、影エフェクト > エフェクトなしの間で有意差を確認した。実環境において、壁に掌を近づける際にできる影と影エフェクトが類似していたことから、ユーザは影エフェクトを観察した際に浮遊しているように感じたと考えられる。

さらに、浮遊から接触への遷移表現の有無以外の条件をそろえて比較した結果、浮遊から接触への遷移表現がある場合の方が無い場合よりも有意に高い結果となった。ゆえに、視覚的に動的に輪郭拡張手を変化させることでユーザは浮遊から接触への遷移をより知覚しやすくなると考えられる。

以上より、輪郭拡張手で浮遊および接触を表現する際、影エフェクトによる浮遊表現と浮遊から接触への動的な遷移表現を用いることでユーザは浮遊から接触への遷移をより知覚しやすくなるといえる。

4. おわりに

本研究ではレーザ走査プロジェクトでの輪郭投影型拡張手を用いた遠隔コミュニケーションシステムを提案した。実験の結果、影エフェクトによる浮遊表現と浮遊から接触への遷移表現の必要性を確認した。

今後は輪郭拡張手の指を独立して動作させた際の浮遊表現や接触表現での身体所有感の向上に関する調査を行う。そして明室での輪郭拡張手を用いた遠隔コミュニケーションにおける詳細なユーザ心理を解明していく。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP16H02859 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 岡原浩平, 小川修平, 新明拓也, 岩井大輔, 佐藤宏介: 身体拡張型インタフェースのための前腕の投影表現に関する基礎検討, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 19, No. 3, pp. 349-355, 2014.
- [2] 山田光宏, 井上祐貴, 野月悠平, 大和田祥平, 金沢文恵, 中村雅人: カオス性の異なる 1/f ゆらぎを用いた拍手のアニメーションの感性評価, 日本感性工学会論文誌, Vol. 12, No. 3, pp. 389-396, 2013.
- [3] Andreas Pusch, Olivier Martin, Sabine Coquillart: HEMP—hand-displacement-based pseudo-haptics: A study of a force field application and a behavioural analysis, International journal of human-computer studies, Vol. 67, No. 3, pp. 256-268, 2009.