



# レーザ走査プロジェクトによる拡張手の輪郭投影

Extended Hand Contour Projection by Laser Scanning Projector

渡邊 あきら<sup>1)</sup>, 稲垣 理也<sup>1)</sup>, 平木 剛史<sup>1)</sup>, 松倉 悠<sup>1)</sup>, 岩井 大輔<sup>1)</sup>, 佐藤 宏介<sup>1)</sup>

Akira WATANABE, Michiya INAGAKI, Takefumi HIRAKI, Haruka MATSUKURA,

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町 1-3,

{watanabe, inagaki, hiraki}@sens.sys.es.osaka-u.ac.jp, {haruka.matsu, 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、従来の遠隔地との非接触型コミュニケーションはビデオ通話などの映像のみを介したシステムにとどまっている。そこで本研究では、ビデオ通話システムと輪郭投影型拡張手を組み合わせた手法を提案し、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。拡張手の投影には持ち運びが容易で明室でも高輝度投影可能なレーザ走査プロジェクトを想定する。抽象度を変化させた拡張手を使用した際のユーザ心理を調査した結果、抽象度の高い拡張手であっても他者への身体所有感が生起することを確認した。

**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

## 1. はじめに

ウィズコロナ時代においてテレワークやオンライン教育などの新しい生活様式が確立され、従来主流だった接触型コミュニケーションとは異なる非接触型コミュニケーションが求められている。従来の遠隔地との非接触型コミュニケーションはビデオ通話などの映像のみを介したシステムにとどまっており、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。

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、拡張手）を組み合わせた手法を提案する。そして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。提案システムの概要として、投影される拡張手を用いて空間的インタラクションを行うリモートサイトを図 1 に示す。遠隔地にいるローカルユーザは、リモートサイトの拡張手の動きを遠隔で制御し、所望の対象を指示する。ここで、ユーザの手の動きを推定して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 [2] から着想を得た輪郭投影型の拡張手をリモートサイトに組み込む。

ExtendedHand ではビデオプロジェクトを用いて CG の手の映像を投影していたため、日中の有窓室等では相対輝度が低く、投影像の視認が困難であった。そこで本研究での拡張手の投影には、日中の明室環境での使用を想定し、持ち運びが容易で高輝度投影可能なレーザ走査プロジェクトを用いる。

ガルバノスキャナを用いたレーザ走査プロジェクトは直交 2 軸の偏向ミラーを物理的に回転させることで XY 走査を行うが、質量のあるミラーの急停止、急反転が困難であ

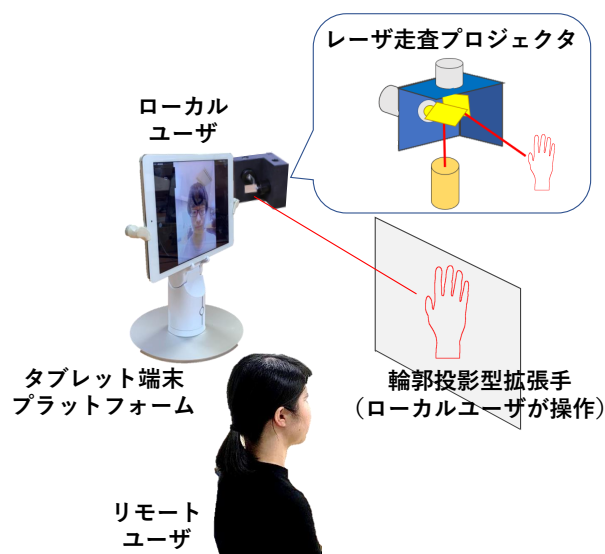


図 1: リモートサイト

り、複雑な形状の投影には制限がある。そこで、滑らかな曲線で表現された輪郭拡張手を投影することで高周期のスキャンを可能にし、フリッカの発生を防ぐことを考える。そこで、ユーザが許容できる拡張手の抽象度を調査する必要がある。

## 2. 拡張手投影システム

ユーザが許容できる輪郭投影型拡張手の抽象度を調査するため、拡張手投影システムを作成した。本研究では拡張手の抽象度に着目したユーザ心理の調査を目的とし、拡張

手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。また、ユーザはタブレット端末 (Microsoft, Surface Pro 3) を使用して拡張手を操作した。拡張手操作のために、ランダムに動くターゲットを拡張手を介して追跡するアプリケーションを作成した。

拡張手は移動平均を用いて輪郭に対するローパスフィルタを作成し、抽象度の異なる形状を作成した。図 2 は移動平均の輪郭点数と拡張手パターンの対応関係を示している。なお、一周の輪郭点数は約 4000 点である。

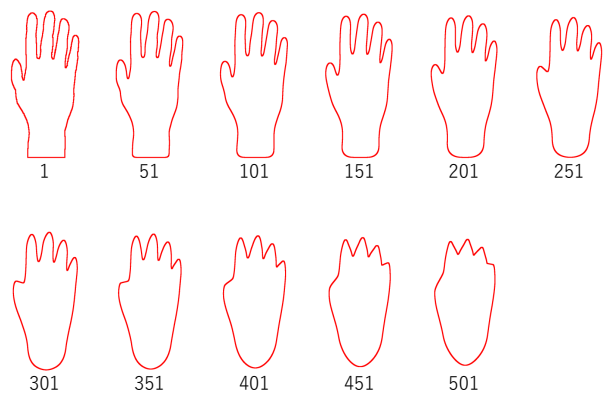


図 2: 拡張手パターン (数字は移動平均の輪郭点数)

3. 拡張手の抽象度に関する実験

3.1 目的

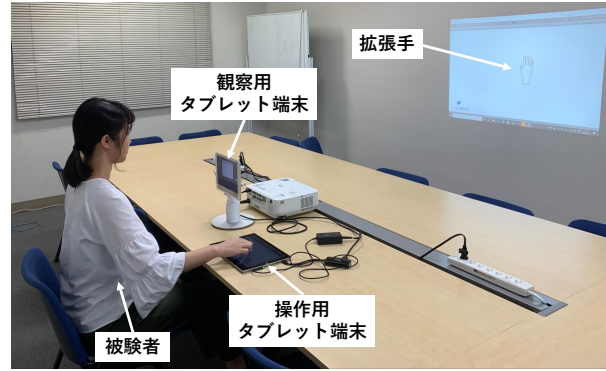
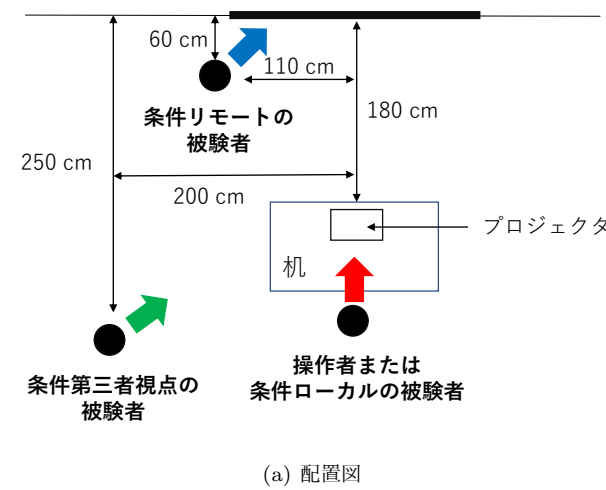
本実験では、身体所有感、および他者への身体所有感の観点から、ユーザが許容できる拡張手の抽象度を調査した。ここで身体所有感とは、対象が自分の身体に属するものであるという感覚を指す [3]。また他者への身体所有感とは、対象が他者の身体に属するものであるという感覚を指す。

3.2 実験条件

条件は拡張手を遠隔で操作する場合を想定したローカル条件、図 1 のリモートサイトを想定したリモート条件、そして環境全体を俯瞰する第三者視点条件の 3 条件である。被験者 (男性 6 名, 22 歳 ~ 25 歳) は 3 条件で図 2 に示す抽象度の異なる拡張手をそれぞれ観察し、評価した。

実験環境を図 3 に示す。ローカル条件では、被験者は自身が操作する拡張手をタブレット端末越しに観察した。リモート条件では、被験者は操作者が操作する拡張手のみを直接観察した。第三者視点条件では、被験者は操作者が操作する拡張手と操作者を同時に直接観察した。操作者はすべての被験者において著者が担当した。被験者はそれぞれの条件で図 2 に示す 11 通りの拡張手パターンを使用した後に、ローカル条件では表 1 に示す身体所有感に関する質問項目、リモート条件、および第三者視点条件では表 2 に示す他者への身体所有感に関する質問項目について、調整法を用いて評価した。それぞれの質問項目は先行研究 [1] をもとに作成した。なお、順序効果を抑制するため、実施す

る条件および各条件で表示する拡張手パターンの順序を被験者間で調整した。



(b) ローカル条件の実験の様子

図 3: 実験環境

表 1: 身体所有感に関する質問項目 (ローカル条件)

項目
1. 自分自身の手を見ているように感じた。
2. 拡張手が自分の身体の一部であるように感じた。
3. 拡張手が投影されている位置で手の動きを感知しているように感じた。
4. 拡張手が自分の手であるように感じた。

表 2: 他者への身体所有感に関する質問項目 (リモート条件, 第三者視点条件)

項目
1. 操作者の手を見ているように感じた。
2. 拡張手が操作者の身体の一部であるように感じた。
3. 拡張手が投影されている位置で操作者の手の動きを感知しているように感じた。
4. 拡張手が操作者の手であるように感じた。

### 3.3 結果と考察

実験の結果を図4に示す。それぞれの質問項目で各条件を要因としてフリードマン検定を行った結果、すべての質問項目で有意差は確認できなかった ( $p>0.05$ )。

ローカル条件 (図4(a)) とリモート条件 (図4(b)) のそれぞれの質問項目で平均値を比較すると、すべての質問項目においてローカル条件よりリモート条件の方が質問項目に対して「そう思う」と感じた抽象度の限界が高かった。よってローカル条件のようにディスプレイ越しに拡張手を観察する場合、拡張手を自分の身体のように感じるためには拡張手の抽象度が低く、詳細な掌形状であることが重要である。一方、リモート条件のように実身体と同一空間にある拡張手を観察する場合、抽象度が高く、曲線で鈍った形状の拡張手であってもユーザに受け入れられる可能性が高い。抽象度の高い拡張手ほどその形状は実際の掌とは異なり、円形に近づくが、拡張手を直接観察する場合は抽象度が高い表現でも他者への身体所有感が生起すると考えられる。

ローカル条件 (図4(a)) と第三者視点条件 (図4(c)) の平均値を比較すると、拡張手が自身、または操作者の手であるかの知覚に関連する質問項目1と4について、第三者視点条件の方がローカル条件よりも質問項目に対して「そう思う」と感じた抽象度の限界が高かった。よって拡張手が操作者の手であるかに関連する項目に対しては、第三者視点条件において抽象度が高い拡張手でも他者への身体所有感が生起すると考えられる。一方で拡張手を所有しているかに関連する質問項目2と3について平均値を比較すると、ローカル条件の方が第三者視点条件よりも質問項目に対して「そう思う」と感じた抽象度の限界が高かった。よって自分が拡張手を操作した場合、拡張手を所有しているという感覚により、抽象度の高い拡張手であっても身体所有感が生起すると考えられる。すべての質問項目の平均値を比較すると、第三者視点条件はローカル条件よりも拡張手の抽象度が高い場合でも他者への身体所有感が生起していた。

以上より、ローカル条件のようにユーザ自身で拡張手を操作する場合は、その形状が人間の掌の形状に近いことが重要となる。一方で、リモート条件や第三者視点条件のように他者の操作する拡張手を観察する場合は、実際の人間の掌の形状とは異なる、抽象度が高い拡張手であったとしても許容することができ、他者への身体所有感が生起することを確認した。

### 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。拡張手の抽象度に関する実験の結果、ユーザ自身が拡張手を操作する際に身体所有感を生起させるためには抽象度の低い拡張手 (詳細な掌形状) を用いる必要がある。一方で他者が操作する拡張手を観察する際には抽象度の高い拡張手 (曲線で鈍った掌形状) であっても他者への身体所有感が生起する。

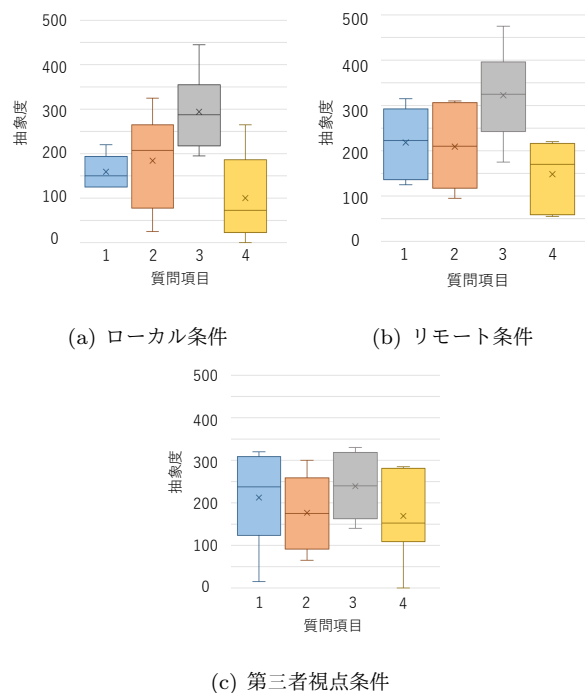


図4: 実験結果

今後は拡張手に影の輪郭や疑似触覚 [4] などのビジュアルエフェクトを付与することによって拡張手の対象への接触感向上についての実験を行う。そして拡張手を用いた遠隔コミュニケーションにおける明室でのユーザ心理を解明していく。

### 謝辞

本研究は科研費 (16H02859) の助成を受けたものである。

### 参考文献

- [1] Andreas Kalckert and H. Henrik Ehrsson. Moving a rubber hand that feels like your own: a dissociation of ownership and agency. *Frontiers in Human Neuroscience*, Vol. 6, 40, 2012.
- [2] 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.
- [3] 小川奈美, 伴祐樹, 櫻井翔, 鳴海拓志, 谷川智洋, 廣瀬通孝. えくす手: 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*, pp. 1022–1027, 2016.
- [4] Yushi Sato, Takefumi Hiraki, Naruki Tanabe, Haruka Matsukura, Daisuke Iwai, and Kosuke Sato. Modifying texture perception with Pseudo-haptic feedback for a projected virtual hand interface. *IEEE Access*, Vol. 8, pp. 120473–120488, 2020.