波紋表示による球面ディスプレイにおける視野外ポインティングの可視化

竹内 大空* Jana Hoffard* Hsueh Han Wu[†] Kelvin Cheng[‡] 宮藤 詩緒* 小池 英樹*

本論文では、球面ディスプレイを用いたインタラクティブな遠隔コミュニケーションを実現するた め、新しいポインティング手法として波紋型ポインティングを提案する、提案手法は、球面上に表示され た 360 度映像内の指示位置を起点に同心波紋を等方的に伝播させ、観察者が可視領域に現れる波形から視 野外の指示位置を推測できるようにするものである.本手法のために、全天周映像の球面マッピングと波紋 生成・同期表示から成る UI を実装した. 評価として, 既存の局所マーカー提示法との比較による参加者実 験を行い、視野外ポインティングにおける位置推定正答率・主観評価を指標に有効性を検証した. さらに、 遠隔協調や案内支援などへの応用可能性についても言及する.

1 はじめに

遠隔コミュニケーションにおいて、参加者が同じ 対象を同時に参照し共有するためには、広い視野の 獲得と、指差しやハイライト等の指示を確実に伝え るポインティングが不可欠である. 視野が狭い場合, 対象の同定や位置関係の解釈に齟齬が生じやすく, またポインティングが不十分だと、言語化の負荷増 大やタスク効率の低下につながる.

これらの課題に対し、入力 (input) 側では全天 周カメラ(360度カメラ)を用いて環境全体を撮像 し, 受信側に広視野映像を提供することで, 状況理 解や相互参照を支援する研究が蓄積されている [12, 3, 15, 9, 7]. 一方, 出力 (output) 側の提示手法と しては、全天周画像を球面ディスプレイに表示する 取り組みがある [6, 14, 17]. この手法では、HMD (ヘッドマウントディスプレイ)で得にくい、複数 人が同一の実体を囲みながら共有する,協調作業や, HMD 等の装着負荷なく正確な相対位置関係を把握 できる点が注目されている. 球面という実体を介し た提示は、身体配置(立ち位置や身体の向き)と視 覚情報が直結するため,空間的合意参照に適してい る.しかし,球面上でのポインティングには固有の 課題が残る. 点光やマーカーを単純に表示しただけ では、球体の自遮蔽により裏面側の観察者からポイ ンティング箇所が見えず、対象の位置を共有できな い、という問題がある.

そこで本研究では,球面ディスプレイ上に「波紋 表示(波紋型ポインティング)」を行い,ユーザーが 球面上のどこを見ていてもポインティング箇所を推 定できる手法を提案する. 具体的には、指示点を起 点として球面上を等方的に伝播する同心状のパター ンを生成し、観察者は可視領域に現れる波紋の位相・

間隔・伝播方向から、視界外(裏側)にある指示点 の方位と概略距離を推測することが可能となる. こ れにより、裏面に位置する参加者であっても、球面 全体で一貫した指示位置を認識することが可能とな る. 本論文では、全天周映像を用いた遠隔コミュニ ケーションにおける球面ディスプレイ上の波紋型ポ インティング手法を提案し、波紋の設計と球面上表 示の実装方法を示す.さらに,参加者実験でポイン ティング精度を評価し、遠隔協調への応用例を紹介 する.

関連研究

遠隔コミュニケーションにおいて、ポインティン グは重要な役割を果たす.このため、さまざまなポ インティング手法がこれまでに検討されてきた. そ の中でも、直感的かつ即応性に優れる手法として、 触覚刺激を利用する方法が挙げられる [10].しかし, 多人数でのコミュニケーションにおいて触覚手法を 用いる場合、すべてのリモートユーザがデバイスを 装着する必要がある.これに対し、環境へのある程 度のセットアップは必要とするものの、参加者に追 加の装着を求めない代替手法として,ポインティン グを視覚的に提示する方法が提案されている. たと えば、ビデオコミュニケーションにおいては、卓上 に指さしの手を表示する方法 [2, 16] や、デバイス 画面上に重ねて表示する方法 [4] が開発されている.

ポインティングの大きな課題の一つは、ユーザの 視野外にある対象をどのように通知するかという点 である. これに対処するため、2次元インタフェース 上で視野外ターゲットを可視化する手法がいくつか 提案されている. その一例として, ターゲットの周 囲に円弧を表示し、ユーザがその中心を推定できる ようにする方法がある [1]. その他にも、AR におけ る放物線状の軌跡を用いる方法 [13],VR における レーダー様のビジュアルモニタを用いる方法[8],あ るいは群れのような視覚的手がかりを提示し、ユー

Copyright is held by the author(s).

東京科学大学

[†] 楽天モバイル

[‡] 楽天技術研究所

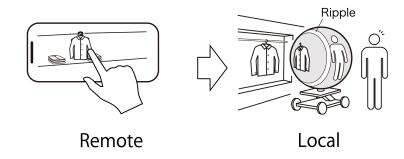


図 1. 波紋型ポインティングのイメージ図

ザの視線を誘導する方法[5]が提案されている.

本研究では、球面ディスプレイと遠隔のモバイルデバイスとを組み合わせた非対称的なコミュニケーション場面を想定する. したがって、上述のようにユーザにポインティング位置を推定させることが可能な可視化ベースの手法が適していると考える.

3 提案手法

3.1 システムの概要

本研究は、球面ディスプレイと 360 度カメラを用いた、既存のマルチリモートコミュニケーションシステムが存在する ([11]). システムは、球面ディスプレイや 360 度カメラを備えたローカルサイドと、遠隔地からスマートフォンなどのデバイスを用いて参加する複数のリモートサイドから構成される.

リモートユーザは各々のデバイスから専用のアプリケーション(以下アプリ)にアクセスし、画面に表示されるローカルサイドのリアルタイム 360 度映像を視聴する。そして、アプリ内のジョイスティックを用いて、視点を操作し、ローカルサイドの球面ディスプレイを操縦する。また、アプリにはポインティング機能があり、画面をタップすることで、他のリモートユーザやローカルサイドへ注目点を伝達できる。

ローカルサイドでは、球面ディスプレイの上部に 360 度カメラを設置し 360 度映像を鏡像的に表示する. これらを遠隔操縦可能なオムニウィールに乗せる. リモートユーザのポインティングは球面ディスプレイ上の 360 度映像に重ねて表示し、その上部に顔の映像を配置する. オフラインのコミュニケーションでは、話者の顔や指をさす方向から注目点を推測できるが、本システムではポインティングに顔の映像を連動して表示させることで、これを再現している.

3.2 既存手法と波紋型ポインティングの提案

既存手法のポインティングは, リモートユーザの アプリ画面, 球面ディスプレイ双方において, ユーザごとに色のついた正方形のマーカーを表示している. しかし, 第1章でも述べた通り, 球面ディスプ

レイは常に裏面を視認できず, 既存の静的なポイン ティングではローカルユーザの視野外にあるそれを 視認することができないという問題点があった.

そこで、リモートユーザがタップした箇所から白い円が波紋のように球面上を伝播していく波紋型ポインティングを提案する。ローカルユーザは、360度映像上のあらゆる場所のポインティングに気がつけるだけでなく、視野外のポインティングの位置を推測することができる(図1).

4 実装

4.1 システム全体の実装

まず,システム全体の実装について概要を述べる. ローカルサイドのハードウェアを図 2(a) に示す. 構成要素とその説明は以下の通りである.

- 360 度カメラ (RICOH THETA V): ローカ ルサイドの映像を撮影する.
- 球面ディスプレイ:360度カメラの映像やその他リモートサイドから送られた情報をリアルタイムで表示する。
- オムニウィール:リモートサイドからシステム全体を操縦できる.
- ポータブルバッテリー:球面ディスプレイや オムニウィールの電源.
- Arduino:オムニウィールの進行方向を制御する.
- ◆ ノートブック PC:360 度カメラで得られた 映像を球面ディスプレイに表示する. またリ モートサイドとの通信を行うとともに進行方 向を Arduino に伝達する.

続いて、リモートサイドのアプリ画面を図 2(b) に示す. 球面ディスプレイの映像や UI, リモートアプリは Unity で作成し、360 度映像や両サイドの情報を処理するサーバは Python で処理している. Unity プロジェクトと Python の通信は ZeroMQ による TCP/IP 通信を採用. 音声通信とリモートユーザの顔映像は Zoom 経由としている.



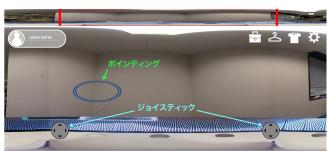


図 2. (a) ローカルサイドのハードウェア. (b) リモートユーザのアプリ画面.

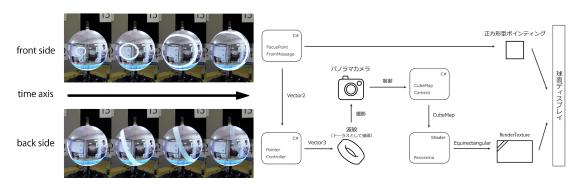


図 3. (a) 波紋型ポインティング. 伝播方向から指示点を推測できる. (b) 波紋型ポインティング生成のワークフロー.

リモートアプリでは、ローカルサイドの360度映像を画面上部に表示し、その内120度の視野をディスプレイ全体にリアルタイムで映し出す。右スティックで視点を操作、左スティックでオムニウィールを遠隔操縦し、上にあるシークバースクリーンで360度映像のうちリモートアプリ画面に表示されている範囲を赤枠で示している。リモートユーザは映像の任意の場所をタップすることで、ローカルユーザや他のリモートユーザの画面にポインティングを表示させることができる。

4.2 波紋型ポインティング生成の流れ

ローカルサイドの Unity プロジェクトにおいて, canvas 内には Plane が配置されており, 360 度カメラから受け取った equirectangular 形式のパノラマ映像を Render Texture を用いてそこに表示している. そして, リモートユーザがタップした点の xy 座標をサーバに送り, リサイズした後 plane に被せるようにポインティングのプレハブを生成している.

続いて、波紋型ポインティング生成のワークフローを図 3(b) に示す。Unity3D 空間上の原点にカメラオブジェクトを配置し、得られたシーン映像をシェーダを用いて CubeMap から Equirectangular 形式に変換、その映像を上記の Plane に重畳して表示する。これにより、ローカルサイドの環境をスケール変換したメタバース空間として Unity 空間を扱うことができる。リモートサイドから受け取ったポインティング座標を三次元ベクトルに変換し、Unity 空間上

に Torus プレハブを生成,原点を中心に球面の軌道を描くよう移動させる. torus は,始発点から 2 秒かけて収縮点に到達するスピードで球面の軸を等速直線運動し,1.2 秒かけて徐々に透明度を下げる (図 3(a)). これは,ポインティングの始発点と収縮点の差別化を図る為である. また,球面ディスプレイでの波紋表示と既存のマーカーによるポインティングを組み合わせを行っている. 静的なポインティングと合わせて表示することで,ローカルユーザは波紋が伝播した後でも厳密な指示点を認識できる.

5 波紋型ポインティングの認識精度評価

5.1 実験概要

提案手法は、球面ディスプレイにおいてリモートユーザがどの方向からポインティングしているかを認識しやすくするために実装された.そこで、ポインティングの認識精度を評価するべく、四角形のポインティングのみの既存手法と、それに波紋型ポインティングを加えた提案手法の比較実験を行った.

実験を行った環境を図4に示す.壁で仕切られた幅3mほどの空間の中心にローカルサイドのハードウェアを配置し,その空間に被験者を立たせ,ポインティングを観察してもらった.壁には8方位上下2箇所の計16箇所に番号付きパネルを貼り付け,実験者がリモートユーザのアプリから特定の番号付きパネルをタップして球面ディスプレイ上にポインティングを表示させた.被験者は表示されたポイン

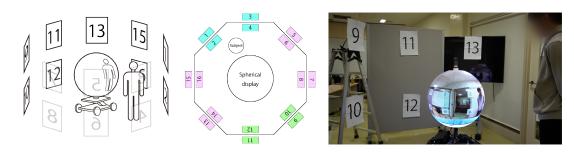


図 4. (a) 実験環境の全体図. (b) 実験環境を上から見た図. (c) 実験の様子.



図 5. 実験のワークフロー

ティングを見て番号を記録してもらった. 実験は条 件を変えて3種類行った、実験のフローチャートを 図5に示す. 実験1では被験者を定位置(目印の1,2 と3,4の中間にあたる場所)に固定し、足を動かさ ない範囲でポインティングを探してもらった. ポイ ンティングは各番号を一度ずつ計 16 回、ランダム な順番で行われ、確認のために1つの番号につき二 度ずつ行った. 実験2では、被験者を実験1と同じ 位置に固定した上で、記録するポインティングの数 を2つに増やした. 16 つの番号を被験者を基準に 正面(1,2,3,4), 側面(5,6,7,8,13,14,15,16), 背面 (9,10,11,12) の3グループに分割し、グループごと の総当たり 6 回を試行した(図 4(b)). 1 秒間隔で 2つの番号をタップした後、確認のため3秒間隔を あけてもう一度ポインティングを行った. 実験3で は、被験者を定位置に固定する制約を無くし、自由 に動き回れる条件下で実験1を行った.しかし,ス タートする位置は前と同じ1,2と3,4の中間にし、記 録が終わるたびにそこに戻るよう指示した. 被験者 には自身のスマートフォンを持参してもらい、専用 Googleform に記録してもらった. 回答の選択肢に は1から16の番号の他に「わからない」という欄 を設け、当てずっぽうの回答は禁止にしたが、波紋 の波形から見えない位置のポインティングを推測す ることは可とした. Googleform ではその他に、各 実験後には二つの手法における認識の容易さの違い について、以下の質問に答えてもらった.

- 波紋の有無によってポインティングの認識の しやすさに変化はありましたか. 具体的にお 答えください.
- ポインティングが複数の場合、波紋の有無に

よる変化はありましたか. 具体的にお答えください.

• 動き回れる状況下では、波紋の有無は認識に 影響しましたか. 具体的にお答えください.

また,実験後には感想欄とSUS(システムユーザビリティスケール)の設問を用意した.被験者にはそれぞれの手法に関する設問に答えてもらった.また,実験の様子を定点カメラで録画しながら実験を行った.

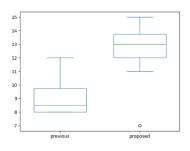
本実験は研究室内の学生と職員 10人(男性9名,女性1名)を対象に行い,年齢は22歳から30歳(標準偏差=2.81)であった.実験順序を公平にするため被験者を二つのグループに分け,一方は既存手法を先に,もう一方は提案手法を先に行い,実験ごとに手法の順序を変えた.実験を実施するにあたって,東京科学大学の「人を対象とする研究倫理審査委員会」の倫理審査を受けた.

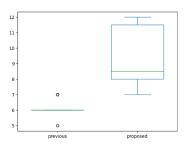
5.2 仮説

波紋型ポインティングは裏面の情報がわからない という球面ディスプレイの制約を克服するために考 案したものである. したがって, 以下の仮説を立て た上で本実験を行う.

仮説 H_1 :提案手法によりポインティングの認識精度が改善.

既存手法である正方形のみのポインティングでは, ローカルユーザがポインティングに対し反対側にい る場合認識することができなかった.一方提案手法 では,球面のあらゆる場所から波紋を視認し,正方 形のポインティングからその場所を正確に認識する





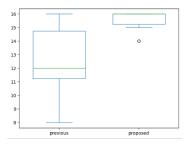


図 6. (a) 実験 1 (定位置単数探索) における正解数. (b) 実験 2 (定位置複数探索) における正解数. (c) 実験 3 (自由位置単数探索) における正解数.

ことができる. したがって, 既存手法では視認できないポインティングの認識精度が向上すると予想する.

仮説 H_2 : 提案手法によりポインティングの場所が 推測可能.

波紋型ポインティングの特徴として, ローカルユーザは波紋の形状を見て指示点の予想を立てることが可能になる. 実験では視野外のポインティングの認識精度が向上し, 被験者から推測の手助けになったという意見が得られることを期待する.

これら二つの仮説に対し,定量評価と定性評価の 二つの観点から検証を行う.

5.3 実験結果

5.3.1 定量評価

各実験における既存手法と提案手法の正答率の箱 ひげ図を図 6(a),(b),(c) に示す.

実験1では既存手法の平均値は9.1,中央値8.5であったのに対し,提案手法では平均値12.4,中央値13.0となった.実験2では既存手法の平均値は6.1,中央値6.0であったのに対し,提案手法では平均値9.3,中央値8.5となった.実験3では既存手法の平均値は12.4,中央値12.0であったのに対し,提案手法では平均値15.6,中央値16.0となった.それぞれの実験における,有意水準 α =0.05 の Wilcoxontest の片側検定の結果を表1に示す.

表 1. Wilcoxon test の結果

TY I. WIICONOII CCSC ONITAL	
実験	p value
実験1	0.005859375
実験2	0.001953125
実験3	0.007526315

Wilcoxon test の結果から、全ての実験において p value が有意水準 α =0.05 を下回った.

また、SUS スコアについては、提案手法は既存手法の平均値は 68.75、中央値 73.75 であったのに対し、提案手法では平均値 83.75、中央値 82.5 となった。Wilcoxon test により、両者間に有意差が認められた(p=0.03<0.05)。

5.3.2 定性評価

本節では,実験における二つの手法の定性的評価を,フォームの設問や自由記述欄で得られた意見,動画分析により行う.

得られた意見 実験1に関しては、ポインティングの推測について言及する人が多かった. 既存手法では認識できないポインティングでも、提案手法では波紋の形状から推測することができたという意見が多く得られた. しかし、上下の差異に関しては認識に苦戦したと述べた人も見受けられた(P1, P2, P10).

実験2に関しては、ポインティングの推測に加え、認識のしやすさについて述べている人が見受けられた.タスクが増えた分、ポインティングを認識すること自体が難しくなったが、提案手法の場合はポインティングのタイミングを認識しやすかったという意見が得られた。中にはそれを活用し、1回目のポインティングで大体の位置を認識し、2回目でその周辺を注視することで詳細な位置を把握する、といった方法を確立している人もいた(P4).

実験3に関しては、実験2と同様その認識のしやすさから、動き始めるタイミングや方向を掴みやすかったという意見が多く見受けられた.提案手法では、1回目のポインティングで大体の位置が推測できるため、迷いなく探すことができた様子だった.その他、提案手法で大体の方向を認識し、既存手法の正方形を視認することで確実性が増したという意見が見られた(P8、P10).

動画分析 実験の様子を録画した定点カメラの映像 をもとに,特徴的だった被験者の行動を紹介する.

- P1 は動けない条件の実験1,2のにおいて, 視野外のポインティングを目視しようと積極 的に身を乗り出していた.提案手法において も,壁に貼られた目印ではなく,ディスプレイ 上に表示された番号を視認しようとしていた.
- P5 は各実験の既存手法において、ポインティングが消えるタイミングがわからなかったため、ポインティングが終了した際に合図を求

めた. その後はその合図をもとに選択肢を選び、回答のペースが良くなった.

- P7は実験3の既存手法において, 視野外のポインティングを球面に対し常に右回りで探索していた. 一方提案手法では最短ルートになるよう右回り左回りを使い分けて着目点に向かっている様子だった.
- P10 は実験3の既存手法において,動けるという条件下であっても途中からあまり動かず, 視野外のポインティングはわからないを選択している様子だった.提案手法に関しては積極的に着目点を探索していた.

5.4 考察

Wilcoxon test の結果から,三種の実験全てにおいて,既存手法のポインティングの認識精度が向上していることがわかり,仮説 H_1 が示された.また,SUS スコアも既存手法と提案手法で有意差が認められた.SUS スコアの評価グレードは既存手法が C,提案手法が A であり,波紋型ポインティングがユーザビリティの観点でも優れていることを示している.さらに,アンケートや動画分析から,既存手法では視認できなかった背面のポインティングも,提案手法では押されているタイミングを認識しやすかったという意見が得られた.定性的な観点からも,提案手法は被験者のポインティング認識を補助していたと言える.

実験1と2に関して、被験者はその場を移動できないという条件下で行なっているため、視野外のポインティングに関しては推測する必要があった.二つの実験において Wilcoxon test により両手法に有意差が認められたことは、波紋の形状によりポインティングの推測ができたことが一因と考えられる.定性評価においても、波紋の形状から位置を推定することができたとの意見が得られた.したがって、仮説 H_2 に関しても、おおむね推測可能であるとする.しかし、アンケートでは、上下の判別に関しては推測に苦戦したという意見もあった.今回実験の環境による制限から、左右に比べて上下の数字間の間隔が近くなってしまったことが原因である.したがって、厳密なポインティング位置に関しては、本手法では判別が少し難しいということがわかった.

6 議論

本研究の提案手法は球面ディスプレイ上の全方位に対応可能なポインティング認識補助システムである. 既存の静的なポインティングでは, 球面ディスプレイの利用者は裏面の情報を認識することが困難であったが, 提案手法により, 視野外のポインティングを視認し指示点の位置を推測することが可能となった. 本手法は, 球面ディスプレイを用いたコミュ

ニケーション支援,特にマルチユーザの遠隔コミュニケーションにおいて,利点を活かすことができると考える.

一つ目の例として、球面ディスプレイを用いたオンラインショッピングシステムへの応用が考えられる。 客はローカルサイドである実店舗の様子をリモートから視聴し、店員とコミュニケーションをとる。波紋型ポインティングにより、店員は一度に複数の客の着目している商品を把握することができる。一度に複数の客と応対することができ、マルチリモートショッピングのクオリティをより向上できると期待する。

同じような一対多のコミュニケーションのシーンとして、観光案内への応用を提案する. ローカルサイドのハードウェアを観光地に配置し、リモートから参加するユーザとポインティングを使って新たな気づきを共有することができる. ツアーガイドが本システムを利用することで、観光客が逸れる等の心配がなくなるほか、提案手法により一方的な説明ではなく相互的なコミュニケーションが実現すると考える.

しかし、今回実装した波紋型ポインティングは、 視野外の正確な着目点が予測できるわけではない。 実験1は実験3と比べ認識精度が落ちていたことから、着目点を視認できない条件下では認識精度が低 下してしまうことが問題点として挙げられる。また、 提案手法において、波紋が経過する際に他のUI表示を邪魔してしまう可能性がある。ユーザ同士のポインティングの衝突や、他のUIとの衝突により、ど ちらかのUIが認識しづらくなるおそれがある。

今後の展望としては、他手法のポインティングおよび多岐にわたる分野への応用を模索したい。例えば、虫眼鏡のようにポインティングした箇所を拡大するような手法では、詳細な位置を伝えられるのではないかと考える。また、他分野の応用に関しては、今プロジェクトの特徴である一対多のコミュニケーション構造を当てはめられるサービスを考えていきたい。

7 謝辞

本研究は,楽天モバイルとの共同プロジェクト研究により実施されたものである.

参考文献

- [1] P. Baudisch and R. Rosenholtz. Halo: a technique for visualizing off-screen objects. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '03, p. 481–488, New York, NY, USA, 2003. Association for Computing Machinery.
- [2] D. Iwai, R. Matsukage, S. Aoyama, T. Kikukawa, and K. Sato. Geometrically

- Consistent Projection-Based Tabletop Sharing for Remote Collaboration. IEEE Access, 6:6293–6302, 2018.
- [3] S. Johnson, I. Rae, B. Mutlu, and L. Takayama. Can You See Me Now? How Field of View Affects Collaboration in Robotic Telepresence. New York, NY, USA, 2015. Association for Computing Machinery.
- [4] B. Jones, A. Witcraft, S. Bateman, C. Neustaedter, and A. Tang. Mechanics of Camera Work in Mobile Video Collaboration. In Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '15, p. 957–966, New York, NY, USA, 2015. Association for Computing Machinery.
- [5] S. Kergaßner, N. Doerr, M. Wieland, M. Fuchs, and M. Sedlmair. HiveFive360: Extending the VR Gaze Guidance Technique HiveFive to Highlight Out-Of-FOV Targets. In *Proceedings of Mensch Und Computer 2024*, MuC '24, p. 11–20, New York, NY, USA, 2024. Association for Computing Machinery.
- [6] Z. Li, S. Miyafuji, E. Wu, H. Kuzuoka, N. Yamashita, and H. Koike. OmniGlobe: An Interactive I/O System For Symmetric 360-Degree Video Communication. In Proceedings of the 2019 on Designing Interactive Systems Conference, DIS '19, p. 1427–1438, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery.
- [7] Y.-T. Lin, Y.-C. Liao, S.-Y. Teng, Y.-J. Chung, L. Chan, and B.-Y. Chen. Outside-In: Visualizing Out-of-Sight Regions-of-Interest in a 360 °Video Using Spatial Picture-in-Picture Previews. In Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '17, p. 255–265, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery.
- [8] S. J. Liu, R. Henrikson, T. Grossman, M. Glueck, and M. Parent. RadarVR: Exploring Spatiotemporal Visual Guidance in Cinematic VR. In Proceedings of the 36th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '23, New York, NY, USA, 2023. Association for Computing Machinery.
- [9] M. Manabe, D. Uriu, T. Funatsu, A. Izumihara, T. Yazaki, I.-H. Chen, Y.-Y. Liao, K.-Y. Liu, J.-C. Ko, Z. Kashino, A. Hiyama, and M. Inami. Exploring in the City with Your Personal Guide:Design and User Study of T-Leap, a Telepresence System. In Proceedings of the 19th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia, MUM '20, p. 96–106, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery.

- [10] A. Matsuda, K. Nozawa, K. Takata, A. Izumihara, and J. Rekimoto. HapticPointer: A Neck-worn Device that Presents Direction by Vibrotactile Feedback for Remote Collaboration Tasks. In Proceedings of the Augmented Humans International Conference, AHs '20, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery.
- [11] S. Miyafuji, J. Hoffard, S. Takeuchi, Y. Makimoto, H. H. Wu, K. Cheng, and H. Koike. Remote Online Shopping System with 360-Degree Streaming and Spherical Display. Workshop in VR-HSA. IEEE, 2025.
- [12] J. Norris, H. Schnädelbach, and G. Qiu. Cam-Blend: an object focused collaboration tool. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '12, p. 627–636, New York, NY, USA, 2012. Association for Computing Machinery.
- [13] H. Oshimi, M. Perusquía-Hernández, N. Isoyama, H. Uchiyama, and K. Kiyokawa. LocatAR: An AR Object Search Assistance System for a Shared Space. In Proceedings of the Augmented Humans International Conference 2023, AHs '23, p. 66–76, New York, NY, USA, 2023. Association for Computing Machinery.
- [14] L. Takagi, S. Miyafuji, J. Pardomuan, and H. Koike. LUNAChair: Remote Wheelchair System Linking Users to Nearby People and Assistants. In Proceedings of the Augmented Humans International Conference 2023, AHs '23, p. 122–134, New York, NY, USA, 2023. Association for Computing Machinery.
- [15] A. Tang, O. Fakourfar, C. Neustaedter, and S. Bateman. Collaboration with 360° Videochat: Challenges and Opportunities. In Proceedings of the 2017 Conference on Designing Interactive Systems, DIS '17, p. 1327–1339, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery.
- [16] N. Yamashita, K. Kaji, H. Kuzuoka, and K. Hirata. Improving visibility of remote gestures in distributed tabletop collaboration. In Proceedings of the ACM 2011 Conference on Computer Supported Cooperative Work, CSCW '11, p. 95–104, New York, NY, USA, 2011. Association for Computing Machinery.
- [17] T. Yonezawa, N. Hayashida, K. Urano, J. Przybilla, Y. Kyono, and N. Kawaguchi. MetaPo: A Robotic Meta Portal for Interspace Communication. In ACM SIGGRAPH 2022 Posters, SIGGRAPH '22, New York, NY, USA, 2022. Association for Computing Machinery.