

MRを用いた現実空間で移動可能な遠隔旅行システム

畑中 衛^{1,a)} 濱川礼²

概要：本論文は現実空間を移動しながら複数人での遠隔旅行を可能とするシステムについて述べる。自身を遠隔地に存在しているかのようにする技術としてトレイグジスタンスがある。この技術を利用し遠隔地旅行を行う研究が行われている。これらの研究の多くはディスプレイ表示や完全没入型 VR を利用している。しかしこれらの手法ではディスプレイの前にいなければならないことや、VR を利用している時に周囲の状況がわからないことから自由な移動ができない。またディスプレイの操作や VR システムの利用は複数人で行うことができない。これらの問題を解決するために透過型 MR ヘッドマウントディスプレイを用いてユーザが指定した旅行コース上の風景と現実の風景を重畳し、旅行コースの道路部分と現実の道路以外の部分を切り抜き、さらに自分以外のユーザをアバターとして表示する手法を提案する。本手法を実装したシステムにより友人と同じ旅行コースを指定することで友人のアバターと共に現実で移動しながら遠隔旅行することが可能になる。ユーザのアバターはヘッドマウントディスプレイの位置と同期しており、ユーザが移動を行うとアバターも同様に移動を行う。旅行コース上の風景表示は全天球パノラマ画像を用いてユーザ周囲の風景に重畳する。その際に視野確保のため道路部分を切り取る。これにより現実の道路を視認可能になり他者との衝突などの危険を抑制し現実空間での移動を可能にする。

1. はじめに

本論文は現実空間を移動しながら複数人で遠隔旅行ができるシステムについて述べる。遠隔地に自身が存在するかのような体験を可能にする技術としてトレイグジスタンスがある [1]。この技術を利用し遠隔旅行をする研究が行われてきた [2]。これらの研究の多くはディスプレイや完全没入型 VR を利用して遠隔地の風景を表示し遠隔旅行を可能にしている [3][4]。しかしディスプレイを用いて遠隔旅行する時ユーザはディスプレイの前にいる必要があり、さらに同時に画面操作を行えないため 1 人での利用になる。また完全没入型 VR を利用する時ユーザは周囲の状況を把握できず移動しながらの利用はできない。

我々はこれらの問題を解決し、遠隔旅行を移動しながら複数人で行うことでより現実感のある体験が可能になると考え、以下の 2 つの手法を提案する。1 つはユーザが指定した遠隔地の旅行コースから見られる風景を現実の風景に重畳表示することである。風景を重畳する際は道路部分は現実の風景を表示し、道路以外の部分のみ旅行コースの風景を表示することで現実空間を移動しながらの遠隔旅行を可能にする。もう 1 つの手法は自分のアバターを他ユーザの前に投影することで、複数人での遠隔旅行を可能とする。

これらの手法により複数人で身体動作を伴った体験が可能となりよりリアリティのある遠隔旅行体験が可能になる。我々はこれらの手法の有効性を評価するため、現実空間を移動しながら複数人での遠隔旅行を可能にするシステムを開発した。開発したシステムは MR を用いて他ユーザをアバターとして表示し、ユーザが指定した旅行コース上から見る風景のパノラマ画像を表示する。これにより友人と同じ旅行コースを設定することで、近所にいながら友人と遠隔旅行を行うことが可能となる。

2. 提案手法

我々の目的はユーザが現実空間を移動をしながら遠くにいる友人と、遠隔旅行を体験をすることであり、その目的を実現するために以下の手法を提案する。

2.1 風景重畳

現実空間を移動しながら遠隔旅行しているかのような体験をするためユーザが指定した旅行コース上の風景を現実の風景に重畳表示し、ユーザが見ている風景を変化させる。この時道路部分のみ現実の風景を表示することで、他の歩行者や乗用車などと衝突する危険を抑制する。重畳イメージを図 1 に示す。図 1 においてシステムを通してユーザが見ている風景の道路部分は現実地の風景であり、道路以外の部分はユーザが指定した旅行コース上の風景である。これ

¹ 中京大学 工学研究科 情報工学専攻

² 中京大学 工学部 情報工学科

a) mamoru.hatanaka@gmail.com

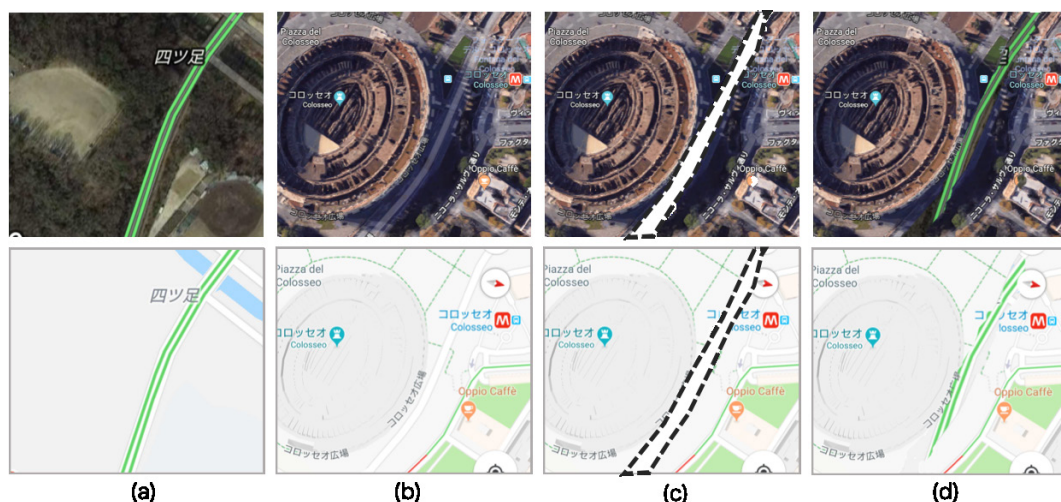


図 2 風景重畳:(a) 現実の風景.(b) ユーザが指定した遠隔地の風景.(c) 遠隔地の風景から道路部分切り抜き.(d) 重畳.

によりユーザは現実の道路を歩きながらあたかも旅行コース上を歩いているような体験ができる. 本手法を実装するためユーザが指定した旅行コース上の風景を 360 度パノラマ画像として取得し, 球体オブジェクトに貼り付けることでユーザの周囲の風景を変化させる. パノラマ画像を貼り付けるだけではユーザの視線を覆ってしまうため, 歩行者や自転車などと衝突する危険性がある. そこで本手法では図 2 のように重畳表示する風景の道路部分を切り抜くことで道路部分のみ現実の道となり衝突の危険を抑制する. 道路部分の切り抜きにはマスク処理を用いる. マスク画像は事前に手動で風景のパノラマ画像の道路部分を黒くし, 風景部分を白くすることで作成した.

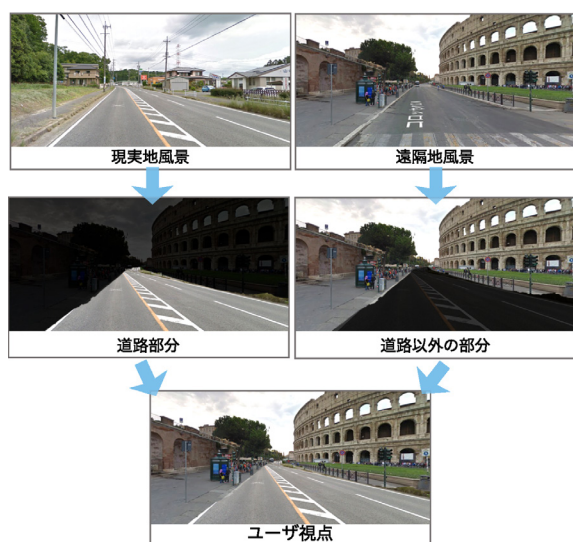


図 1 風景変化

2.2 他ユーザのアバター表示

複数人で遠隔旅行しているかのような体験のために, 他

のユーザのアバターを表示する. 表示する他ユーザは指定した旅行コースの出発地点が自分が指定した地点と同じかによって決定する. 図 3 は 2 人のユーザが同じ旅行コースで遠隔旅行してる例である. 名古屋にいるユーザ 1 が旅行コースとして指定したローマのコロッセオを, ロサンゼルスにいるユーザ 2 も同様に旅行コースとして指定しているため, ユーザ 1 の視点には遠くにいるユーザ 2 のアバターが見える. 逆も同様である. これにより他ユーザと一緒に行動することが可能となる. 本手法ではユーザ同士のマッチングをユーザが指定した旅行コースの出発地点の座標を比較し, 距離が近いユーザがいた場合に行う. そしてマッチングされたユーザのアバターを表示する事で, ユーザはあたかも複数人であるかのように感じる事が可能となる. この時のユーザ同士を引き合わせる処理はオンラインゲームで Room と呼ばれるサーバにユーザを接続し同期処理を行う Photon Unity Cloud を利用した [6]. アバターとユーザは体の向きと座標を同期しており, ユーザ同士が一緒に行動することができる. ユーザとアバターの同期はヘッドマウントディスプレイの自己位置推定機能を用いて取得した端末の座標と方向を用いて行う.



図 3 他ユーザのアバター表示

2.3 旅行コースと現実の道路のマッピング

現実の道路と指定した旅行コースは曲がり角やカーブなどの構造が異なる。そこで本手法はユーザの進行方向を元に旅行コースの向きを操作することで、常にユーザが移動する方向へと旅行コースが続くように風景の表示を行う。風景更新前と更新時のユーザの座標を元にユーザの進行方向を算出し、それを元に風景表示用の球体オブジェクトの向きを調整する。ユーザの進行方向と風景の向きの調整を図4に示す。図4(a)のようにユーザが画像奥方向に進んでいる時、遠隔地風景から切り取った道路部分はユーザの進行方向と同様に画像奥方向へ続く。その後ユーザが進行方向を変え、図4(b)のように右方向に進行するとそれに合わせ遠隔地の道路部分も右方向へ続く。これにより常にユーザの進行方向へと道が続き、ユーザが歩いている道が遠隔地の風景の切り抜き部分に表示される。

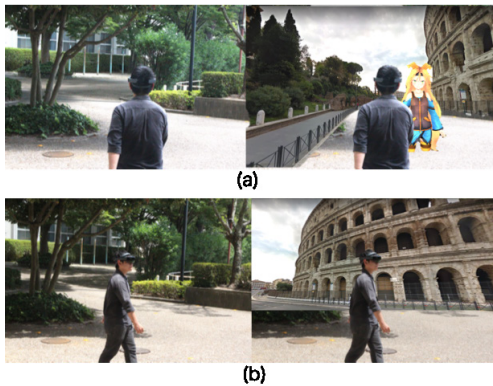


図4 (a) 奥に向かい歩くと道が奥に続く。(b) 歩く方向を変えると道が続く方向も変わる

3. 関連研究

本章では関連研究として本手法で使用している風景の変化、遠隔地にいる他ユーザの表示に関するシステムや研究について述べる。

3.1 遠隔旅行

パノラマ画像による風景表示はChenにより提案され、遠隔旅行に数多く使用されている[7]。RuygらはヘッドマウントディスプレイOculus Riftを用いてGoogle Street Viewを表示するOculus Google Street Viewを実装した[2]。これによりユーザはGoogle Street Viewが存在する場所を表示し、あたかもその場所に行ったかのような体験ができる。本手法と同様にMRを用いて遠隔旅行を行っている研究も存在する。HaleyらはHololensにより、観光地の環境音を流し、周囲の映像を表示することであたかもその場所に言ったかのような体験を可能にするHoloTourを開発した[8]。環境音は指向性マイクにより録音し周囲の風景は360°カメラを使い撮影している。HoloTourは高性能なカ

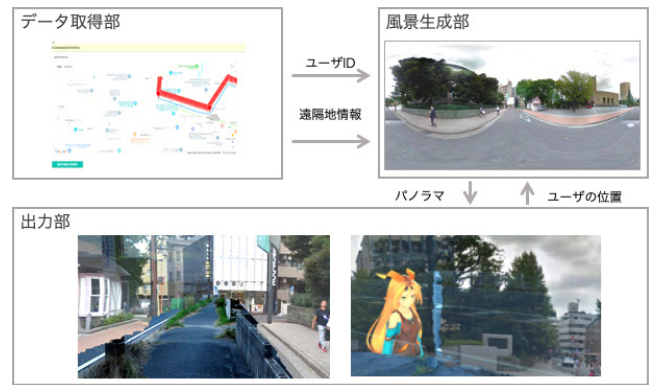


図5 システム構成

メラと指向性マイクにより没入感の高い体験が可能であるが、現実環境を視認できず移動範囲も制限がある。本システムは表示する遠隔地の風景から道路部分を切り抜くことで、現実の道路を視認可能にしている。そのため実際に移動しながら遠隔地に行ったかのような体験を可能にしている。

3.2 他ユーザの表示

遠くにいる他ユーザを表示し互いにコミュニケーションをとる研究が行われている。上ら是对話相手に自身の空間へと侵入されている感覚「被侵入感」を提示し、テレプレゼンスの向上を目指すビデオチャットシステム「ドアコムAR」を開発した[5]。ドアコムARはKinectにより取得したユーザのカラー情報、深度情報から3次元点群データを取得する。取得した点群データを遠隔地にいる別のユーザの前に表示することで同室感のあるビデオチャットが可能になる。このようにユーザの姿を遠隔地に表示しコミュニケーションを取るシステムは他にも存在する。CutlerらはHololensを利用して遠隔地にいる友人の存在をリアルタイムで表示するシステムHolopotationを開発した[9]。Holopotationは深度情報を取得可能なカメラを複数使いユーザを撮影し、ユーザの3Dモデルを作成する。そして作成した3Dモデルを遠隔地にいる別のユーザの前にHololensを通して表示することで、遠隔地にいるユーザとコミュニケーションを取ることができる。ドアコムAR、Holopotationはリアルなユーザのモデルを表示可能であるが、自分がKinectやカメラに映る範囲にいないため、移動範囲に制限が存在する。本システムはユーザの存在をアバターとして表示し、その制御をHololensの自己位置推定機能により行なっているため、設置が必要な機器がなく遠隔旅行の際制限なく移動ができる。

4. システム概要

提案手法に基づきシステムを実装した。実装にはゲーム開発エンジンUnityを使用し、ヘッドマウントディスプレイはMicrosoft社のHololensを使用した。本システムの構成を図5に示す。本システムはデータ取得部、風景生成部、



図 6 システム使用例と出力

出力部から構成されている。

4.1 データ取得部

データ取得部は、出力部でのユーザ識別、風景表示のためユーザ情報、遠隔地の StreetView に関する情報を取得する処理群である。データは遠隔地設定ページでユーザが入力した値を使用する。取得したデータはデータベースに保存し管理する。本システムでは Unity の標準クラスで利用可能な json を利用しデータを管理する。以下に json に含まれる各データの詳細を示す。

ユーザ ID	ユーザを識別するための固有 ID
表示遠隔地	遠隔地の情報からユーザが現在見ている遠隔地の場所を抽出するための値
遠隔地の情報群	指定遠隔地の経度、緯度、パノラマ ID

4.1.1 ユーザ情報取得

ユーザ情報取得部ではユーザの識別のために使用する固有のユーザ ID を取得する。ユーザ ID として遠隔地設定の際にユーザが入力した Hololens の端末 ID をサーバに送信し、データベースを更新する。これによりシステムを使用する際にどのユーザがどのアバターの制御するかを識別する。

4.1.2 StreetView 情報取得部

StreetView 情報取得部はユーザが遠隔地設定ページから設定した出発地点と目的地点の 2 地点間を繋ぐルート上のうち StreetView が存在する地点の座標、StreetView の固有 ID を取得する。2 地点間を繋ぐルートの設定は GoogleMapsApi を用いた。

4.2 風景生成部

風景生成部はデータ取得部で取得した StreetView の情報からパノラマ画像の生成、道路部分切り抜きを行う処理群である。

4.2.1 パノラマ画像生成

パノラマ画像の生成には GSVPano ライブラリを利用した [10].GSVPano ライブラリは GoogleStreetView からパ

ノラマ画像を作成するライブラリである。パノラマ画像の生成はパノラマ表示された GoogleStreetView について複数の視線の向きで 28 枚の画像を取得する。その後パノラマ画像になった時、隣接する部分の画像同士を結合することで一枚のパノラマ画像を生成する。その後システムは生成したパノラマ画像から余白部分を削除する。

4.2.2 道路部分切り抜き

StreetView 取得部で取得した画像に対し道路部の切り抜きを行う。切り抜きにはマスク処理を用いる。マスク画像は事前に手で StreetView の道路部分を黒くし、風景部分を白くすることで作成した。StreetView 取得部で取得したパノラマ画像に対し作成したマスク画像を用いてマスク処理を行い道路部分を切り抜く。

4.3 出力部

出力部は風景生成部で生成したパノラマ画像とデータ取得部で取得したユーザ情報を元に風景、他ユーザの表示、またユーザの移動による風景の更新を行う処理群である。ユーザ A とユーザ B がシステムを使用している出力例を図 6 に示す。(a),(b) はそれぞれ ユーザ A、ユーザ B が実際にいる場所 (ユーザ A:名古屋, ユーザ B: 仙台) の風景である。(c) はユーザ A、ユーザ B が旅行コースとして設定した場所 (東京) の風景を示している。(d) はユーザ A、ユーザ B が実際にいる場所と、指定した旅行コース上の位置関係である。(e) はユーザ A から見える風景である。現実空間に旅行コースから見られる風景が重畳され、同じ旅行コースを指定したユーザ B のアバターが表示されている。(f) は反対にユーザ B から見える風景である。(g) はシステム使用時に旅行コース上における二人のユーザの位置関係である。

4.3.1 風景表示

現実風景への重畳は球体のオブジェクトにテクスチャとして風景生成部で生成したパノラマ画像を貼り付けることで行う。パノラマ画像が貼り付けられた球体オブジェクトの中にカメラを配置する事により周囲の風景は旅行コース上の風景へと変化する。

4.3.2 他ユーザの表示

他ユーザの表示では指定遠隔地が近いユーザのアバターを表示する。ユーザ間のアバターの同期処理にはオンラインゲームの同期処理に使われる Photon Unity Cloud を利用した [6]。表示するユーザはデータ取得部で生成した json データを元に決定する。システムは json データのユーザ情報と現在地情報から、設定した旅行コースの出発地点同士の距離が近いユーザのユーザ ID を取得する。そして取得したユーザ ID を元に Photon Unity Cloud のルームを検索する。ユーザは旅行コースの出発地点同士の距離が近いユーザの ID と同じ名前のルームが存在する場合、入室する。検索した結果近いユーザの ID と同じ名前のルームがなければシステムは自身のユーザ ID と同名のルームを作成する。これにより他ユーザとのアバターの共有を行う。自分の設定地点と距離が近いユーザがいた場合アバターを表示する。アバターの向きは Hololens の y 軸方向のみ同期しており、アバターの回転を水平方向のみに制限している。またアバターの座標は Hololens の座標と同期しており、ユーザが進行した方向にアバターも進行する。

4.3.3 風景更新

風景更新ではユーザが歩くことでパノラマ画像を更新する。ユーザの位置は Hololens の自己位置推定機能によって算出する。また更新は 3 メートル移動するごとに行う。これは Google が定めた StreetView 認定要件において StreetView 間の距離が 3 メートルとなっていたためである。システムは風景更新時のユーザの座標と、前回の更新時のユーザの座標から移動方向を算出し、ユーザの移動方向に道が存在するよう風景表示用の球体オブジェクトの方向を調整する。

5. 評価・結果

本章では提案手法を評価するために行った評価実験と結果について述べる。

5.1 評価方法

実装したシステムを使った実験とアンケートにより本手法の有効性を評価した。実験は被験者 10 人に対して行なった。被験者は本システムと関連研究であげた HoloTour を使用して遠隔地の風景を体験した後アンケートに回答した。この時システムを使用する順番はランダムに決定し、体験する遠隔地は 2 つシステムで同じ場所に統一する。また本システムを使用する際被験者の前にアバターを表示し、我々がノートパソコンを通してアバターを操作した。実験後アンケートとしてプレゼンスシステムの優位性を測ることができる Presence Questionnaire(PQ) と [11]、個人が感じる没入感の傾向を測ることができる Immersive Tendencies Questionnaire(ITQ) を利用し 2 つのシステムの比較を行う [12]。PQ は以下の項目をスコア化することでシステムの優位性を算出できる。

現実感高さ (現実感)
システムで行える行動のレベル (行動)
表示や操作などの質 (インタフェース)
仮想環境でどれだけ探索や調査ができたか (調査)
仮想環境での自身のパフォーマンスの熟練度 (パフォーマンス)
音響の質 (音響)
触覚フィードバックの質 (触覚)

この中から本システムに実装されていない音響と触覚に関する項目を抜いた現実感、行動、インタフェース、調査、自身のパフォーマンスの 5 項目について行う。スコアは原著論文の方法通り現実感、行動、調査、自身のパフォーマンスはスコアが高い方が優れている事とし、逆にインタフェースはスコアが低い方が優れている事とする。

また ITQ はスコアが高いほど没入感を感じやすいことを示している。PQ の結果について 2 標本 t 検定を行い 2 つのシステムの間有意差が存在するか調査する。この時有意水準を 0.05 とした。

5.2 結果

各項目について本システムと HoloTour を比較した結果を図 7 に示す。

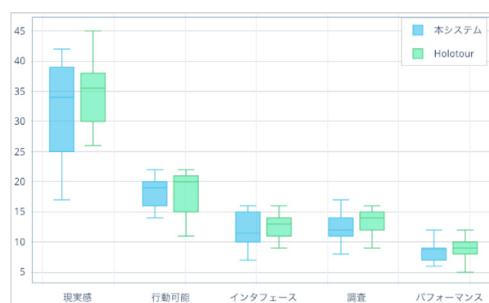


図 7 Presence Questionnaire 結果

図 7 では 2 つのシステムの現実感の平均スコアは本システムが 31.8, HoloTour が 34.8 と HoloTour の方が高い値となった。平均値について有意差があるか検定を行った結果、 p 値は 0.46 であったため本システムと HoloTour の現実感に有意差はみられなかった。行動の平均スコアを比較すると本システムの平均は 18.4, HoloTour は 18.0 と僅かに本システムの方が高かった。検定を行った結果、 p 値は 0.78 と有意差はみられなかった。またインタフェースに関して平均を比較すると本システムの平均は 12.1, HoloTour は 12.7 と僅かに本システムの方が低い結果となった。検定を行った結果、 p 値は 0.39 とこの項目も有意差はみられなかった。調査に関する平均スコアは本システムが 12.4, HoloTour が 13.6 と僅かに本システムの方が低い結果となった。検定を行った結果、 p 値は 0.27 とこの項目も有意差はみられなかった。パフォーマンスに関する平均スコアを比較すると本システムの平均は 8.5, HoloTour は 8.9 と僅かに本シス

テムの方が低い結果となった。検定を行った結果、 p 値は 0.71 と有意差はみられなかった。

続いて ITQ と PQ のスコアの関係を図 8 に示す。図 8 は PQ の各項目の値を縦軸、ITQ の値を横軸にとったグラフである。丸い点は本システムのスコアを示しており、菱形の点は HoloTour のスコアを示している。縦軸方向に丸い点と菱形の点が離れている時 2 つのシステムのスコアの差が大きいことがわかる。図 8 から現実感に関して ITQ のスコアが低い被験者ほど本システムを使用した時の方が現実感を高く感じていることがわかる。逆に ITQ のスコアが高い人は、本システムより HoloTour を使用した時により高い現実感を感じている。HoloTour を利用した時に感じる現実感が高かった被験者は遠隔地の風景が動画で動いているところに現実感を感じていた。逆に本システムの方が現実感があると感じていた被験者は実際に歩くことができることに現実感を感じるとのことだった。

最後に被験者に本システムの良いところ、改善してほしいところを質問した。その結果、本システムのよかったところとして表示されたアバターに対し親近感を覚えるところや、実際に歩くことができるため没入感が高いとの意見があった。改善してほしい点として、システム使用中に音の情報がないことが遠隔地で行動する時の楽しさを減少させているとの意見があった。また風景の更新が遅いことが、実際に遠隔地を歩いている感覚を損ねているとの意見もあった。

6. 考察

本システムと HoloTour を比較した時、ITQ の値が高い人は HoloTour を使用した際に感じる現実感が高かった。アンケートの回答により表示された風景が動画で出力されていたのが現実感を高める理由であった。そのため没入感を感じやすい人は身体動作よりも視覚情報によって現実感を感じやすくなると考えられる。逆に ITQ の値が低い人は、視覚情報より身体動作によって現実感を感じるため、HoloTour より本システムを使用した方がより現実感を感じることができたと考えられる。

本システムのよかったところとして実際に歩くことがで

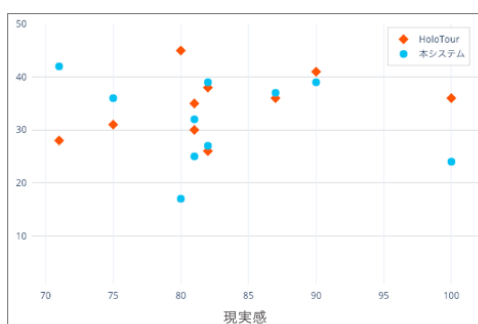


図 8 PQ と ITQ の関係

きる点をあげた人が多かったため、遠隔存在する際の移動は現実感を高めるのに有効であると考えられる。

一方システムの改善してほしいところとして、音がなく寂しいところや風景の更新がスムーズに行われないうところをあげるユーザが多かった。我々は HoloLens の内蔵スピーカーによるガイドや他ユーザの声の出力、風景更新時のサーバとの通信回数削減によりこれらの問題を解決可能であると考えている。

7. 結論

本論文では現実空間をよりリアリティのある遠隔旅行を可能にするため、移動しながら複数人で遠隔旅行を行う手法を提案した。手法を元に実装したシステムにより本手法の有用性の評価を行った。その結果、遠隔旅行する際の移動行動は遠隔地での体験をリアルに感じさせる効果があった。そしてこの効果は ITQ のスコアが低く没入感を感じにくいユーザに対してより有効に働くことがわかった。しかし実装したシステムについて遠隔地風景の更新がスムーズに行われないうために、遠隔地を歩いている気になれないとの意見があったので、風景の更新処理をスムーズにすることでこの問題を解決する必要がある。

参考文献

- [1] S.Tachi, K.Tanie, K.Komoriya, M.Kaneko: *Tele-existence (I): Design and Evaluation of a Visual Display with Sensation of Presence Theory and Practice of Robots and Manipulators* pp 245-254
- [2] Marjolijn Ruyg: *Virtual Reality for the Web: Oculus Rift*, 2014.
- [3] FirstAirlines, <http://firstairlines.jp/>.
- [4] Google Earth VR, <https://vr.google.com/earth/>.
- [5] 上 宏樹, 吉野 孝: ドアコム AR: ポータルを用いた空間接続表現手法による対話相手の存在感の強化, 情報処理学会インタラクション (2018),
- [6] Photon Unity Cloud, <https://www.photonengine.com/en-US/photon>.
- [7] Shenchang Eric Chen: *QuickTime VR -An Image-Based Approach to Virtual Environment Navigation*, SIGGRAPH (95)
- [8] David Haley, Danny Askew, Jason Syltebo, Travis Steiner: *Case study - Capturing and creating content for HoloTour*, <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/case-study-capturing-and-creating-content-for-holotour>
- [9] Ben Cutler, Spencer Fowers, Wayne Chang, Samuel Ogden: *Holoportation*, <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/holoportation-3/>
- [10] GSV Pano, <https://juampi92.github.io/GSV Pano/>
- [11] Bob G. Witmer, Michael J. Singer: *The factor structure of the Presence Questionnaire*.
- [12] Bob G. Witmer, Michael J. Singer: *Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire*. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 225-240.
- [13] 畑中 衛, 濱川 礼: AR を用いた風景重畳によるウォーキング意欲向上システム, WISS (2017).