

HoloLens による可視化と調整手法を組み込んだ ジェスチャによる家電操作システムの構築

Development of a Gesture-based Home Application Operation System
Incorporating Visualization and Adjustment Techniques with HoloLens

○学 望月 勇伸 (中央大) 横田 雅恵 (中央大)
Sarthak Pathak (中央大) 正 梅田 和昇 (中央大)

Yushin MOCHIZUKI, Chuo University, mochiduki@sensor.chuo-u.ac.jp
Masae YOKOTA, Chuo University
Sarthak PATHAK, Chuo University
Kazunori UMEDA, Chuo University

In this paper, we propose a system for operating home appliances with gestures, which aims to make it easy for anyone to perform operations. The proposed system enables operation in a personalized command space by incorporating a system that visualizes the command space and a system that allows the command space to be adjusted for the individual using HoloLens. The introduction of relative coordinates at the time of a gesture to start operation and a spherical command space have improved the degree of freedom in terms of posture during operation and the placement of the command space. Comparison experiments showed that the operation time, accuracy, and usability of the system improved after the HoloLens was introduced, indicating that this system improves the ease of learning the home appliance operation system.

Key Words: Intelligent room, Mixed reality, HoloLens, Gesture recognition

1 序論

近年、現実世界とサイバー空間を融合した製品の開発が進められている。2016 年には第 5 期科学技術基本計画 [1] により、超スマート社会 (Society5.0) という新しい社会形成が定義された。超スマート社会では、サイバー空間において社会のあらゆる要素をデジタルツインとして構築し、利便性の高いサービスによって現実空間に反映させることを目指している。サイバー空間を現実世界に反映させた技術の一つとして、リモコンを使用せず家電操作を行うシステムが構築されている。リモコンの代わりとなるインタラクティブな手法として、ジェスチャによる家電操作の研究が進められている。

ジェスチャで家電操作する研究として、ハンドジェスチャを用いて家電操作を行う研究 [2][3]、ジェスチャの軌跡を認識することで家電操作を行う、軌跡ベースのジェスチャ認識の研究 [4] などが挙げられる。しかし、ハンドジェスチャを用いた研究では、ハンドジェスチャを認識する専用のデバイスが必要であり、操作位置がデバイスの場所に依存する課題がある。軌跡ベースのジェスチャ認識の研究では、異なる家電操作をするジェスチャが異なることから、ジェスチャと紐づけた操作暗記する必要がある、操作者の負担が増加してしまうといった課題がある。

そこで、顔ら [5] は、家電操作のコマンドを空間に紐づけたコマンド空間を用いた家電操作システムを構築し、コマンド空間内に手をかざす動作で家電操作を可能にした。しかし、コマンド空間は部屋の特定の位置に固定したため、コマンド空間を設置した場所まで移動しなければならないという課題があった。眞嶋ら [6] は肩を基準とした相対座標を構築し、相対座標上にコマンド空間を設置することで、場所にとらわれず家電操作が可能なシステムを構築した。しかし、コマンド空間は不可視であることや、個人に合わせたコマンド空間を設定することができないため、家電操作システムの習得が容易ではないという課題もあった。そこで我々 [7] は、Microsoft 製の MR ゴーグルである HoloLens[8] を用いたコマンド空間の可視化・調整手法を提案している。しかし、コマンド空間を可視化した状態での操作において、コマンド空間に触ろうとする心理的效果から、体をひねった状態でコマンド空間の操作をする人が多くみられた。その結果、コマンド空間の認識精度が低下してしまった。また、HoloLens のシステム全体の移動が不可能であったため、アプリ起動時に設置される場所

に依存していた。そのため、目の前に障害物がある状態など、適切でない場所で起動するとシステムを再起動しなくてはならないという課題があった。

本研究では、操作開始のジェスチャ時に相対座標を構築するシステムを組み込んだ家電操作システムや、HoloLens 上でコマンド空間の可視化と調整が可能なシステム、HoloLens 上で表示されているすべてのオブジェクトを移動させるシステムを構築した。以上によって、誰もが簡単に使用可能なジェスチャによる家電操作システムの構築を実現した。

2 提案手法

本研究ではコマンド空間の可視化・調整システムと、家電操作システムの二つのシステムを使用する。コマンド空間の可視化・調整システムでは、MR ゴーグルである HoloLens を用いてコマンド空間の可視化を行う。また、HoloLens 上でコマンド空間の位置や大きさを変更できるようにすることで、使用者の体格や好みに合わせたコマンド空間で操作を可能にする。家電操作のシステムでは、コマンド空間を用いた簡単なジェスチャで家電操作を可能にする。このとき、コマンド空間の可視化・調整システムで変更したコマンド空間の情報を読み取り、同じ相対座標上にコマンド空間を配置する。以上の手法によって、コマンド空間の可視化・調整システムでの設定が完了後は、HoloLens を使用せずにジェスチャだけで家電の操作を可能にする。

2.1 家電操作システム

本システムの模式図を図 1 に示す。本システムでは天井四隅に設置された CCD カメラから撮影を行う。得られた画像に OpenPose[9] を適用し、骨格点情報を取得する。複数の画像から得られた骨格点の二次元座標からステレオ視の原理により三次元座標を取得し、ジェスチャ認識を行う。

2.1.1 操作開始のジェスチャ

先行研究では [6]、日常生活での誤動作を防ぐため挙手ジェスチャによる操作開始のジェスチャを構築し、操作開始のジェスチャを行った後のみコマンド空間の操作を可能にした。また、肩を基準とした相対座標を構築し、相対座標上にコマンド空間が配置された。しかし、肩を基準にした相対座標では、体のひねりによって認識されるコマンド空間が回転してしまうことによる誤動作の課題があった。操作者の停止時にコマンド空間を固定することで

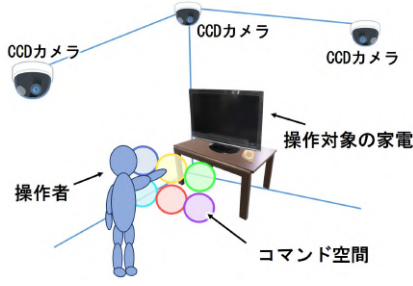


Fig.1 Home Appliance Operation System

操作時の体のひねりによる誤動作の課題は解消したが、操作開始ジェスチャ時に体をひねっている場合、認識されるコマンド空間が正面に配置されないという新たな課題が生じた。そこで、操作開始のジェスチャを体の正面に手を伸ばすジェスチャに変更し、操作者の手首と胸の中心点を基準に相対座標系を構築する方式に変更した。操作開始のジェスチャのフローチャートを図2に示す。

操作開始を認識する手法について説明する。右手首と胸の中心点の三次元座標をそれぞれ $W(x_w, y_w, z_w)$, $C(x_c, y_c, z_c)$ と定義する。胸の中心点の x_w, y_w 座標と手首の x_c, y_c 座標の距離を算出し、距離が 0.4m 以上である時にフレームカウントを開始する。体の正面に手を伸ばすジェスチャが 15 フレーム以上 (約 5 秒間) 以上継続する。その後、手を下ろす動作によって x, y 軸上の胸の中心点と手首の距離が 0.4m 以下となった時、操作開始のジェスチャが完了として認識される。この手法によって、操作開始のジェスチャ時にコマンド空間が誤認識されることを防ぐ。

相対座標系の構築手法について説明する。操作開始のジェスチャのフレームカウントを実施している間のフレームごとの胸の中心点の x_w, y_w 座標と手首の x_w, y_w 座標を保存し、それぞれの平均値を求める。手首と胸の中心点の平均座標をそれぞれ $W_{Avg}(x_{AvgW}, y_{AvgW}, z_{AvgW})$, $C_{Avg}(x_{AvgC}, y_{AvgC}, z_{AvgC})$ と定義すると、胸の中心点と手首の距離 CW_{dis} x 軸方向のみの距離 x_d , y 軸方向のみの距離 y_d , はそれぞれ式 (1), 式 (2), 式 (3) により求められる。

$$CW_{dis} = \sqrt{(x_{AvgW} - x_{AvgC})^2 + (y_{AvgW} - y_{AvgC})^2} \quad (1)$$

$$x_d = x_{AvgW} - x_{AvgC} \quad (2)$$

$$y_d = y_{AvgW} - y_{AvgC} \quad (3)$$

手首座標やコマンド空間など相対座標を求める対象の三次元座標を (x, y, z) とすると、絶対座標系と相対座標系間の回転行列を R と、相対座標 $W'(x', y', z')$ は式 (4), 式 (5) で求められる。

$$R = \begin{pmatrix} \frac{y_d}{CW_{dis}} & \frac{-x_d}{CW_{dis}} & 0 \\ \frac{x_d}{CW_{dis}} & \frac{y_d}{CW_{dis}} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = R \left\{ \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{pmatrix} \right\} \quad (5)$$

相対座標を構築する際、算出した回転行列をさらに yaw 角周りに 90 度回転させることで、体をひねっていない状態での肩を基準にした相対座標と向きを平行にした。これにより、移動時は再び肩を基準とした相対座標系に更新され、場所にとらわれずコマンド空間の操作ができるようにした。以上の手法によって操作開始のジェスチャ時の姿勢や場所にとらわれず、家電操作を可能にした。

2.1.2 コマンド空間の形状・認識手法

コマンド空間の形状として球と立方体が提案されたが、立方体では横に連続して 2 つのコマンド空間を設置すると境界面での操作ミスの回数が増加する課題が生じた。立方体を回転させることによって操作ミスの回数を低下させる手法も考案したが、認識の

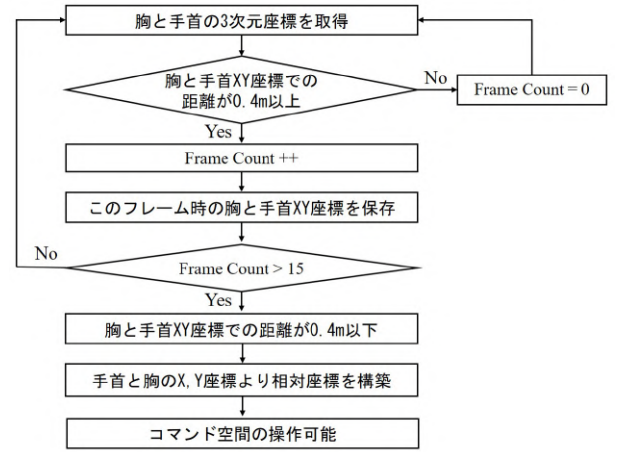


Fig.2 Flowchart of Gestures for Starting Operation

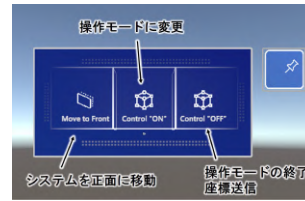


Fig.3 Control Button

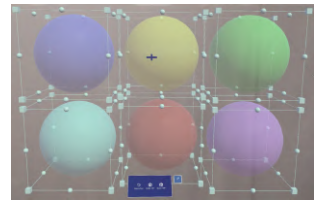


Fig.4 Operation Mode

手法が複雑化してしまうという新たな課題が生じた。そのため、配置の変更に影響されず、境界面での誤動作が少ない球を選択した。コマンド空間は、コマンド空間の中心座標と操作者の手首座標の距離を算出し、距離がコマンド空間の半径以下となった時に認識される。

2.2 コマンド空間の可視化・調整システム

コマンド空間の可視化・調整システムでは、HoloLensを用いてコマンド空間の可視化と操作を行う HoloLens アプリと、HoloLens アプリから送信された情報を取得し、保存するサーバーのプログラムの二つを使用する。まずサーバーのプログラムを待機状態にし、HoloLens アプリと接続する。操作者は HoloLens アプリ上でコマンド空間の大きさ、位置の調整を行う。調整が完了後、コマンド空間の半径と中心座標がサーバーのプログラムに送信され、保存される。通信は TCP/IP 通信を用いる。

初期状態であるコマンド空間の位置やサイズは、図3に示すコントロールボタンによって図4に示す操作モードに切り替えることで変更することができる。変更完了後は図3の右のボタンを押すことによって操作モードが終了し、サーバーのプログラムにデータが送信される。

2.2.1 すべてのオブジェクトの移動手法

HoloLens アプリでは、操作位置が起動時の場所に固定される。そのため、手の届く範囲に障害物がある場所など、不適切な場所で起動するとコマンド空間の操作が困難となった。そこで、図3のコントロールボタンにすべてのオブジェクトを簡単に移動させるボタンを導入した。コントロールボタンは操作者に自動的に追従する。

すべてのオブジェクトを移動させる手法を説明する。すべてのオブジェクトの親として空のオブジェクトを構築し、階層構造を構築した。これにより、空のオブジェクトの座標が変更されたとき、すべてのオブジェクトが空のオブジェクトを基準に移動する。システム起動時に HoloLens を基準としたシステム全体の相対的な正面方向と空のオブジェクトの相対座標を取得し、保存する。任意の位置でコントロールボタンを操作したとき、保存された正面方向と空のオブジェクトの相対座標を呼び出し、現在の相対座標系上に再構築する。また、顔の向きによって設置されるコマンド空間が上下方向に角度が変わってしまうを防ぐため、Z 軸を固定して移動を行っている。以上の手法により、すべてのオブ

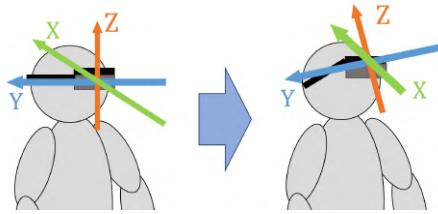


Fig.5 Rotation of Coordinate System

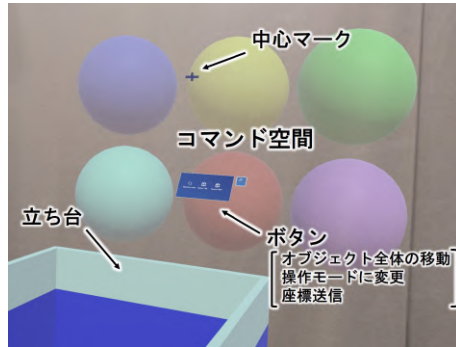


Fig.6 HoloLens Application

ジェクトを移動させ、場所にとらわれずコマンド空間の調整、操作を可能にした。また、コマンド空間の位置や大きさの変更後も、変更後の状態を維持したまま移動可能にした。

2.2.2 座標の取得手法

コマンド空間の座標データを送信する際に、HoloLens 基準の相対座標で座標を取得すると、図 5 のように HoloLens の向きによって座標系が回転してしまう問題が生じた。そこで、HoloLens アプリを図 6 のように構築した。HoloLens の相対座標上の $(x,y,z)=(0.3, 0, 0)[m]$ の点に中心マークを設置し、中心マーク基準の相対座標でコマンド空間の座標を取得するようにした。また、操作者の立ち位置を一定にするため、立ち台を設置した。操作者の身長によらず操作可能にするために、立ち台は触れることで地面に落ち、設置される。また、爪先が台と接する位置を操作位置とすることで、一度移動した後も同じ操作位置に戻れるようにした。以上により、中心マークと HoloLens 間の距離を中心マーク基準の相対座標に加算することで、姿勢にとらわれず正確な座標データを送信を可能にした。

3 比較実験

3.1 実験概要

コマンド空間の可視化・調整システムは家電操作システムの習得容易性を向上に有効であるか検証するために比較実験を行った。実験は本システムの使用経験のない 20 代の男性を 10 名を対象に行った。本実験では、HoloLens を装着せずに練習した後に本番を行う実験 A と、HoloLens を装着して練習した後に本番を行う実験 B の 2 つの実験を行い、本番の操作での練習時間、操作時間、操作精度を比較した。また、各実験の本番の操作終了後に NASA-TLX と構造化インタビューを用いたアンケート調査を行い、それぞれの実験での使用感を比較した。本実験では順序効果による実験結果の偏りを防ぐために、被験者を二つのグループに分け、実験 A、B を異なる順序で行った。

3.1.1 操作時間・操作精度の調査手法

HoloLens を装着せず練習を行う実験 A では、図を用いてコマンド空間の配置を伝え、ジェスチャのみで家電操作のシステムの練習をした。認識完了のフィードバックは PC 画面上に認識完了を示す画像の提示と、口頭での伝達で行った。練習では時間制限を設けず、十分にコマンド空間の場所や操作方法が把握ができるまで行った。実験 A でのコマンド空間の配置は、どちらのグループでも同じ初期の配置で行う。HoloLens を装着して練習を行う実験 B では、被験者はコマンド空間を自身が操作しやすいように調整し、調整が完了した後、HoloLens を装着したまま練習を

行った。本番は二つの実験とも同じ条件になるよう HoloLens を装着しない状態で行った。日常生活で本システムを使用する際は場所にとらわれず操作を行うため、本番の操作は練習とは身体の向きを変更して行った。ランダムな順番でコマンド空間の操作指示を行い、操作指示から認識されるまでの時間と正しいコマンド空間が認識されたかを計測した。10 秒以上検出されない場合と違うコマンド空間が認識された場合をミス回数として加算し、同じコマンド空間でのミス回数が 3 回となった時を認識不可とした。

3.1.2 使用感の調査手法

本実験では、各実験の本番の操作終了後に NASA-TLX と構造化インタビューを用いたアンケート調査を行い、使用感を評価した。NASA-TLX とは知的・知覚的欲求、身体的欲求、タイムプレッシャー、努力、フラストレーション、作業成績、以上 6 項目の下位尺度から構成される、メンタルワークロードの主観的評価法である。それぞれについて 0-100 のビジュアルアナログスケール (VAS) で評価する。2 パターンそれぞれの NASA-TLX スコアを算出し、比較する。

構造化インタビューでは、各実験について 4 項目ずつ共通の質問を行い、すべての実験が終了後さらに 4 項目の質問を行った。Q9-12 では理由も聞き、すべての質問を記述式で収集した。構造化インタビューの内容は以下の通りである。

各実験で行う共通の質問

Q1.5. なにを基準にコマンド空間を覚えたか

Q2.6. 練習でコマンド空間の位置をどの程度把握できたか

Q3.7. 本番の家電操作システムを操作する際不安を感じたか

Q4.8. 本番や練習時に課題や障害があったか

実験終了後に行う総合的な質問

Q9. コマンド空間の調整によって操作はやりやすくなったか

Q10. コマンド空間の暗記はどちらの実験がやりやすかったか

Q11. 本システムを初めて使用する際、どちらの手法が適切だと感じたか

Q12. どちらの実験の方が簡単に感じたか

3.2 実験結果

3.2.1 操作時間・操作精度

各実験の操作時間・操作精度の実験結果を表 6 に示す。平均検出時間は実験 A では 3.54s、実験 B では 3.42s、平均失敗回数は実験 A では 0.92 回、実験 B では 0.76 回、認識失敗割合は実験 A では 16%、実験 B では 20% となった。

以上の結果より、平均検出時間と平均失敗回数は実験 B の方が向上していることが分かる。しかし、認識失敗割合は実験 B の方が増加してしまった。この原因として、コマンド空間の配置の失敗が挙げられる。HoloLens の配置を行う際、コマンド空間の適切な位置が分からず、全く認識されないような配置にしてしまった被験者が一部いた。そのため、平均失敗回数は低下しているが、認識失敗割合は増加してしまったと考えられる。

Table 1 Operation Time and Accuracy Experimental Results

	平均検出時間	平均失敗回数	認識失敗の割合
A : HoloLensを使用しない	3.54 s	0.92 回	16 %
B : HoloLensを使用	3.42 s	0.76 回	20 %

3.2.2 NASA-TLX

実験 A、実験 B それぞれの NASA-TLX スコアの平均値は、知的・知覚的欲求は実験 A では 45.9、実験 B では 43.2、身体的欲求は実験 A では 54.9、実験 B では 40.9、タイムプレッシャーは実験 A では 19.8、実験 B では 25、努力は実験 A では 61.3、実験 B では 49.7、フラストレーションは実験 A では 52.6、実験 B では 39.8、作業成績は実験 A では 53.6、実験 B では 32.4 となった。また、データのばらつきを図 7 に示す。

以上の結果より、タイムプレッシャー以外の 5 項目では HoloLens 装着後の方が値が減少していることが分かる。実験 B の方がタイムプレッシャーが増加した原因として、自分でコマンド空間を設定したことで、認識されない時間がタイムプレッシャーとして感じてしまったことが挙げられる。しかし、他の 5

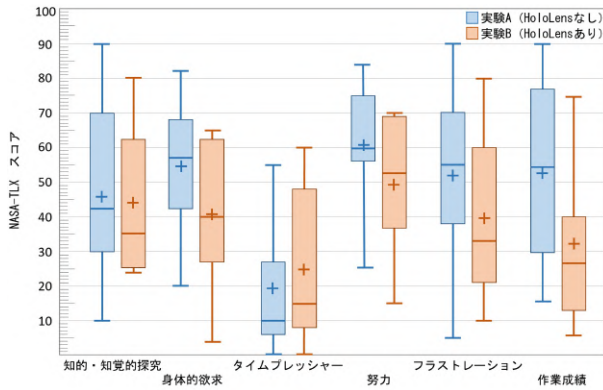


Fig.7 NASA-TLX Score

項目では全体的に減少していることから、HoloLens を装着して練習を行うことで作業負担度が減少したことが分かる。

3.2.3 構造化インタビュー

各実験で行った共通の構造化インタビューの結果を表 2 に示す。Q1,5 のなにを基準にコマンド空間を覚えたかには、HoloLens を装着していても視覚情報で覚えたと回答した人が 30%であった。これにより、視覚情報だけでなく、本番を想定して感覚で覚えようとした人が多いことが分かる。Q2,6 の練習でコマンド空間の位置をどの程度把握できたかでは、コマンド空間の位置が明確にわかることで完璧に覚えられたと回答した人が増加した。Q3,7 の本番の家電操作システムを操作する際不安を感じたかでは、実験 A ではコマンド空間の場所が明確に把握できていないことによる不安を抱いた人が 40%いた。これに対し、実験 B では練習と本番の環境の違いにより、正しく覚えられているか、どういったジェスチャを練習時にしていたかわからなくなったと回答した方が 40%いた。Q3,7 の本番や練習時に課題や障害があったかでは、実験 A では特定のコマンド空間の位置を把握することを苦戦している人が 30%いた。実験 B では Q6 の回答と同様の理由に加えて、自分が配置したコマンド空間を実際に操作してみると認識されにくかったと答えた人が 30%いた。

実験終了後に行う総合的な構造化インタビューの結果を表 3 に示す。Q9 のコマンド空間の調整によって操作はやりやすくなったかでは、やりやすくなったと答えた人が 70%、やりにくくなったと答えた人は 30%となった。この理由として、自分の腕の長さに合わせて設定に変更したことや、あえて近くに配置することによって腕の負担を減らして操作できることでやりやすくなったと答えた人が 30%いた。一方、Q7 と同様にコマンド空間の配置に失敗してしまったことでやりにくくなってしまったと答えた人が 30%いた。Q10,11,12 ではそれぞれ、実験 A と B を比較した質問をしたが、Q10 では 80%の人が、Q11 では 100%の人が、Q12 では 80%の人が実験 B の方が良いと回答した。その理由として、コマンド空間を視覚的に理解できたかと回答した人が 70%、調整によって、やりやすくなったと回答した人が 13%いた。一方、実験 A の方が練習と本番に大きな差がなかったため実験 A の方が良いと回答した人が 13%いた。

3.2.4 考察

平均操作時間、平均失敗回数が向上し、NASA-TLX と構造化インタビューの結果より、実験 B の方が全体的に優れているとなったことから、コマンド空間の可視化・調整システムは家電操作システムの習得容易性の向上に有効であると言える。しかし、練習と本番の差が大きいことによる操作精度の低下や、全員がコマンド空間を適切な配置にできなかったといった課題が残った。

4 結論・今後の展望

本論文では、操作開始のジェスチャを導入した家電操作システムの構築や、HoloLens を使用した場所にとらわれないコマンド空間の可視化・調整システムの構築によって、誰もが使用しやすいジェスチャによる家電操作システムを提案した。実験によって、コマンド空間の可視化・調整システムを使用して練習することで、習得容易性が向上することを示した。

Table 2 Structured Interview Q1-Q8

質問	実験A (HoloLensなし)	実験B (HoloLensあり)
Q1,5.	腕を基準に暗記(60%)、体の中心(30%)	視覚情報(30%)、腕(30%)、体の中心(30%)
Q2,6.	完璧に覚えられた(50%)、半分以上(40%)	完璧に覚えられた(90%)、半分以上(10%)
Q3,7.	不安はあった(70%)、不安はなかった(30%) 理由: コマンド空間の場所を完全に把握できていないから(40%)	不安はあった(60%)、不安はなかった(40%) 理由: 正しく覚えられているか不安(20%) 練習との環境の違いによる不安(20%)
Q4,8.	障害や課題があった(70%)、なかった(30%) 理由: 特定のコマンド空間が操作しにくかった(30%)	障害や課題があった(60%)、なかった(40%) 理由: コマンド空間を操作しにくい配置にしまった(30%)

Table 3 Structured Interview Q9-Q12

質問	結果	主な理由
Q9.	やりやすくなった(+評価)(70%) やりにくくなった(-評価)(30%)	(+) 体格に合わせた調整ができるから(30%) (-) 操作しにくい配置にしまったから(30%)
Q10.	実験Aの方が暗記しやすい(20%) 実験Bの方が暗記しやすい(80%)	(実験A) コマンド空間を視覚的に理解できたから(70%) (実験B) 練習と本番に大きな差がなかったから(20%)
Q11.	始めて使うときに優れている手法 実験A(0%)、実験B(100%)	(実験A) コマンド空間を視覚的に理解できたから(80%) 調整によって身体的負担が減少したから(20%)
Q12.	実験Aの方が簡単(20%) 実験Bの方が簡単(80%)	(実験A) コマンド空間を視覚的に理解できたから(60%) 調整により難易度を下げられたから(20%) (実験B) 練習と本番に大きな差がなかったから(20%)

今後は、さらに習得容易性を向上させるために、HoloLens 装着時の練習システムとして、操作者に何が原因で操作できないのかといった情報のフィードバックや、コマンド空間の再変更を可能にするシステムの構築を目指す。

5 謝辞

本研究を進めるにあたり、中央大学ヒューマンシステム研究室の新妻実保子教授に実験の手法に関して多大なるご助言をいただきました。心より感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 内閣府. 第 5 期科学技術基本計画.
url:https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/index5.html
(Accessed on 3/10/2024)
- [2] Marvin S.Verdadero, Celeste O.Martinez-Ojeda and Jennifer C.Dela Cruz,“Hand Gesture Recognition System as an Alternative Interface for Remote Controlled Home Appliances,” 2018 IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM), Baguio City, Philippines, 2018
- [3] Harshitaa A,Hansini P and P.Asha,“Gesture based Home appliance control system for Disabled People,” 2021 Second International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems(ICESC), Coimbatore, India, pp.1501-1505, 2021
- [4] Anna Li, Eliane Bodanese, Stefan Poslad,“A Trajectory-Based Gesture Recognition in Smart Homes Based on the Ultrawide-band Communication System,” IEEE Internet of Things Journal, Vol. 9, no. 22, pp.22861-22873, 15 June 2022
- [5] 顔世荀, 池勇勳, 梅田和昇, “簡単なジェスチャでコマンド空間を設定し家電操作可能なシステム”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集 2020, 2A2-F01, 2020.
- [6] 眞嶋宗一郎, 横田雅恵, Sarthak Pathak, 梅田和昇, “個人のコマンド空間に基づく複数人が操作可能な家電操作システム,” ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2023
- [7] 望月勇伸, 横田雅恵, Sarthak Pathak, 梅田和昇, “コマンド空間を用いてジェスチャで家電を操作するシステムの HoloLens を用いた可視化と調整”, 2024 年精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, E44, pp.492-493, 2024.
- [8] Microsoft,HoloLens2,MRGoggle,2019.
url:https://www.microsoft.com/ja-jp/hololens (Accessed on 3/10/2023)
- [9] Zhe Cao, Gines Hidalgo, Tomas Simon, Shih-En Wei and Yaser Sheikh, “OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation Using Part Affinity Fields,” in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 43, no. 1, pp. 172-186, 1 Jan. 2021