

拡張現実感を利用した仮想的なディスプレイによる作業の支援

金子 将大^{†1} 田中 二郎^{†2}

オンラインストレージサービスや Web アプリケーションの普及により、モバイル端末により様々な作業を行えるようになった。モバイル環境でも大画面や複数画面を利用することができればより効率的に作業を行えると考えられる。

本研究は、利用する端末に依存せずに利用可能なディスプレイ環境を提供することで、効率的に作業を行うことを目的とした。そのアプローチとして、拡張現実感による仮想的なディスプレイによる作業の支援を提案し、プロトタイプシステムを作成した。ユーザはハンドジェスチャにより、仮想ディスプレイに対して移動や書き込みなどの操作を行うことができる。プロトタイプシステムの試用から知見を得て、考察を行った。

Work Supporting with Virtual Display using Augmented Reality

MASAHIRO KANEKO^{†1} and JIRO TANAKA^{†2}

With the spread of online storage services and web applications, we can perform various tasks using mobile terminals. If we can use large screens or multiple screens in the mobile computing environment, we will work more efficiently.

This research is aimed at working efficiently by providing the display environment which can be used at a mobile terminal. As our approach, we proposed work supporting a virtual display with augmented reality, and we developed a prototype system. The user can manipulate the virtual display, performing operations such as moving it or writing in it. We obtained knowledge from a trial of the prototype system and we investigated it.

1. はじめに

ネットワークで接続されたサーバー上でシステムの運用を行うクラウドコンピューティングが広まっている。オンラインストレージや Web アプリケーションは一般ユーザにも利用可能な代表的サービスである。また、これらのサービスはサーバー上で処理を行うため、ユーザは利用する端末に関係なく同等のサービスを受けることができる。これにより、ネットワークに接続可能なモバイル端末さえあれば、デスクトップ環境などで行われていたような作業を行うことが可能である。

ただし、モバイル端末を用いれば、いつでもどこでも利用可能である一方で、受けるサービスや行う作業によっては従来環境と同等とは言い難い場合がある。例えば、モバイル端末のディスプレイはデスクトップ環境と比べ小さいため、複数のデータを並べて見比べるような作業や、プレゼンテーションのような複数人で1つのディスプレイを見るような作業には向いていない。複数のデータを扱う場合は複数のディスプレイを、複数人で作業を行う場合は大画面ディスプレイを利用可能であることが望ましい。しかし、このような複数大画面ディスプレイを持ち運び可能にすることは困難である。

本研究では、このような端末に依存した作業環境の差をなくし、どこにいても効率的な作業を行えるようにすることを目的とする。そのアプローチとして、拡張現実感を用いた仮想的なディスプレイによる作業支援を提案し、プロトタイプシステムを作成した¹⁾²⁾。

1.1 拡張現実感

拡張現実感とは、現実環境から得た知覚情報に電子情報を付加することで、補足的な情報を提示する技術である。³⁾

特に現実空間に仮想物体を重畳表示することで行う視覚情報の拡張現実感の研究は盛んに行われており、拡張現実感によって行動支援を行う研究として、実物体のペイントを試す Bandyopadhyay らの Dynamic shader lamps⁴⁾ や、ホワイトボードの機能拡張を行う塚田らの AR 白板⁵⁾ などがある。

また、重畳表示を行うための実空間座標の認識手法については、代表的である加藤の AR-Toolkit⁶⁾ のマーカを用いる手法の他に、セカイカメラ^{*1}のように GPS からの地理情報や加速度センサからの傾きを用いる手法や、Klein らの PTAM⁷⁾ の映像の特徴点を追跡する手法など、様々な研究が行われている。

^{†1} 筑波大学大学院 システム情報工学研究科 コンピュータサイエンス専攻

^{†2} 筑波大学 システム情報系

^{*1} セカイカメラ, <http://sekaicamera.com/>

2. 拡張現実感を用いた作業支援システム

2.1 仮想ディスプレイ

加茂らによる先行研究では、拡張現実感による仮想的なタッチパネルインタフェースである AiR surface を開発した⁸⁾。本研究では、先行研究と同様に仮想的な平面インタフェースである仮想ディスプレイによって作業支援を行う。

作業に用いる情報などを表示した仮想ディスプレイを実空間上の任意の場所に重畳表示する。仮想ディスプレイは、壁面や机上、空中など、実空間上の自由な位置に配置可能であり、ユーザとの位置関係に対応した見え方で表示される。

また、複数のユーザで作業を行う場合、仮想ディスプレイの情報をユーザ間で共有することで、全ユーザが実空間上の同じ位置に仮想ディスプレイの存在を認識することが可能である。

ユーザはハンドジェスチャにより仮想ディスプレイを操作することができる。また、大画面に対する操作や複数人での操作を容易にするために、タッチによる操作の他に、離れた場所からハンドジェスチャによる操作を行えるようにする。図 1 に仮想ディスプレイの表示例を示す。

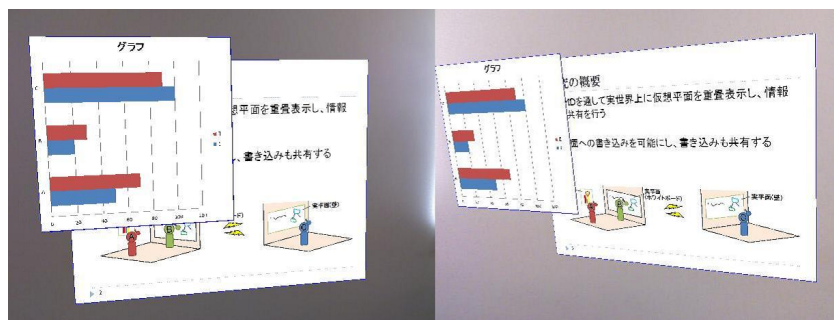


図 1 仮想ディスプレイの表示例。正面から見た様子 (左) と右側から見た様子 (右)

2.2 システムの概要

本システムでは、ユーザは計算機に接続されたセンサ付きヘッドマウントディスプレイを着用する。ユーザは実世界に重畳表示された仮想ディスプレイに対してハンドジェスチャを行うことでインタラクションを行う。仮想ディスプレイに対して移動操作や書き込み操作が可能であり、仮想ディスプレイの状態はサーバ上で管理し、共有することで複数人での作業も支援可能である。図 2 にシステムの利用イメージを示す。



図 2 システムの利用イメージ

2.3 想定する未来環境

本研究は、現在よりウェアラブルコンピューティング技術が向上し、一般に普及した未来環境を想定している。

既存のヘッドマウントディスプレイは、性能や大きさ、デザイン、価格などに様々な問題があり、一般には普及していなかった。しかし、近年は性能の高いソニーの HMZ-T1 ^{*1}や、シースルーになっている EPSON の MOVERIO ^{*2}など、低価格なヘッドマウントディスプレイが登場してきている。今後はより技術が向上し従来の問題が解消され、日常生活でヘッドマウントディスプレイをつけていることが一般的になると筆者は考えている。

^{*1} HMZ-T1, <http://www.sony.jp/hmd/products/HMZ-T1/>

^{*2} MOVERIO, <http://www.epson.jp/products/moverio/>

さらに想定する未来では、Kinect^{*1}やHarrisonらのOmniTouch⁹⁾のような、空間やジェスチャを認識するセンサが小型化され、日常的な携帯や身体への装着が可能になる。これにより、場所を選ばず屋外などでも、実世界指向のナチュラルユーザインタフェースを利用可能になると考えられる。

2.4 ハンドジェスチャによる操作

ユーザは視界内の仮想ディスプレイに対してハンドジェスチャを行うことで、その仮想ディスプレイを操作することができる。端末を通さずに操作を行うため、利用端末による作業方法に差がなく、直感的に作業を行える。

各操作は仮想ディスプレイに触れずに距離を無視して行うことも可能である。これにより、手の届かない場所にある仮想ディスプレイの操作を行えるため、大画面の操作や多人数での利用が容易になると考えられる。

2.4.1 移動操作

仮想ディスプレイに対して、指を二本出した状態で手を動かすことで、仮想ディスプレイの移動を行うことができる。これにより、ユーザが仮想ディスプレイを使いやすい状態に再配置することが可能になり、大量のデータを扱う場合などに行う情報の整理が容易になると考えられる。図3に移動操作の様子を示す。

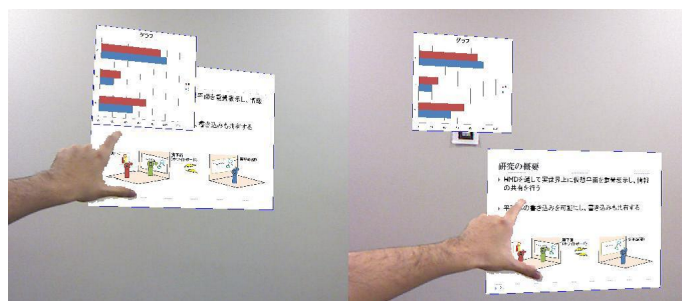


図3 移動操作の様子。操作前(左)と操作後(右)

2.4.2 サイズ変更操作

仮想ディスプレイの端をつまむジェスチャを行い、その後手を動かすことで、仮想ディスプレイのサイズ変更を行うことができる。仮想ディスプレイを適切なサイズにすることで、情報を理解しやすくなると考えられる。例えば、小さな仮想ディスプレイに表示して1人で見ていた情報を他のユーザに見せたい場合、仮想ディスプレイを大きくすることで見やすくすることができる。図4にサイズ変更操作の様子を示す。



図4 サイズ変更操作の様子。操作前(左)と操作後(右)

2.4.3 書き込み操作

仮想ディスプレイに対して、指を一本出した状態で手を動かすことで、書き込みを行うことができる。書き込みの対象とする仮想ディスプレイに指先が重なった状態で手を動かすと、指先の軌跡が書き込まれていく。この操作により表示している資料への注釈などを入れることができる。書き込み操作の様子を図5に示す。



図5 書き込み操作の様子。操作前(左)と操作後(右)

*1 Kinect, <http://www.xbox.com/ja-JP/kinect>

2.4.4 ページ送り操作

仮想ディスプレイがスライド資料のような複数のページから構成される情報を表示している場合、ページ送りを行うことができる。指を5本出した状態で手を一定距離以上右に動かすことで次のページに進み、左に動かすことで前のページに戻る。この操作により、ユーザは直感的な操作で資料を読み進めることができ、作業の効率が向上すると考えられる。ページ送り操作の様子を図6に示す。

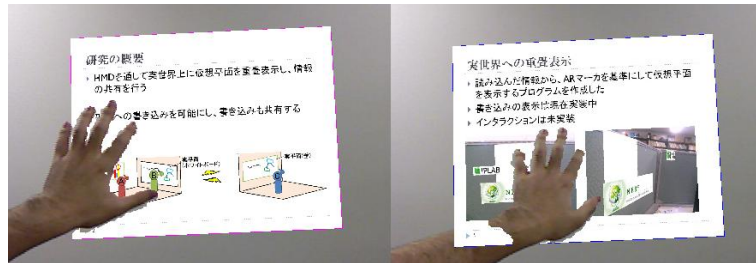


図6 ページ送り操作の様子。操作前(左)と操作後(右)

2.5 利用シーンの例

2.5.1 発表練習

研究発表を控えたAさんは、発表用スライドの作成をようやく終えた。発表に不安が残っており、時間もあまり残されていないため、すぐにその場にいた研究室の仲間呼びかけて発表練習を行うことにした。しかし、運悪く会議室は全て予約で埋まっており使用できず、空いているのは発表用設備のない休憩室だけだった。そこでAさんは、休憩室に大型の仮想ディスプレイを設置し、それを用いて発表練習を行った。発表資料は用意していなかったため、誤字の指摘やアドバイスは書き込み操作を利用して、直接スライドに書き込んでもらった。練習後、書き込まれた内容を確認して、スライドの訂正を行い、アドバイスを心に刻んだAさんは、発表本番を高評価で終えることができた。

2.5.2 写真整理

Bさんたちは、食堂にて昼食を食べながら先日の旅行の話題で盛り上がっていた。話しているうちに、旅先にてデジカメで撮った写真をそのまま放置していたのを思い出し、その場で複数の仮想ディスプレイに写真を表示し写真の整理を行うことにした。撮り貯めた写真は膨大な量であり、似たような写真も多く含んでいたが、仮想ディスプレイを移動操作により

並べて比較しどちらがいいか相談することができた。また、旅の思い出話をしながらそのときの出来事について書き込んだり、落書きをしたりしながら写真の加工も行った。結果、Bさんたちは楽しみながら旅の写真をまとめることができ、より一層友情を深め合った。

3. システムの実装

3.1 システム構成

本システムは、各ユーザの計算機上で動作するクライアントと、クライアントがアクセスするサーバに分かれる。クライアントでは、描画やジェスチャの認識など、システムの中心となる処理を行う。サーバでは、仮想ディスプレイの情報や書き込みの情報などの、ユーザ間で共有する必要があるデータの管理を行う。図7にシステム構成図を示す。

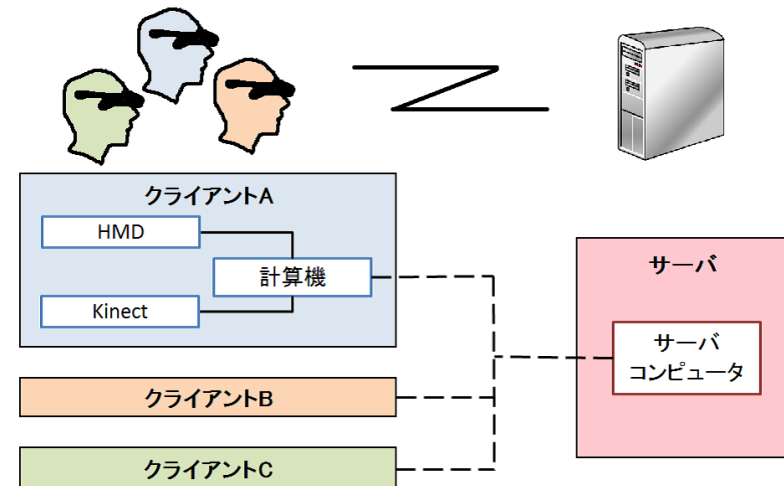


図7 システム構成図

3.2 ハードウェア

ハードウェアには、計算機に接続されたヘッドマウントディスプレイと Kinect を使用した。ヘッドマウントディスプレイには、eMagin 社^{*1}の Z800 3DVISOR を使用した。ヘッドマウントディスプレイに Kinect を取り付け、ユーザはこの Kinect 付きヘッドマウントディスプレイを着用する。Kinect が取得したユーザの視界の RGB 値とデプス値からジェスチャの認識などの処理を行う。図 8 に使用した Kinect 付きヘッドマウントディスプレイを示す。



図 8 Kinect 付きヘッドマウントディスプレイ

3.3 クライアント

クライアントの開発では、開発言語に C#, 開発環境に Microsoft Visual C# 2010^{*2}を使用した。Kinect の SDK には OpenNI^{*3}を使用し、描画には DirectX^{*4}を使用した。

クライアントで行う処理は、実空間の座標認識、ハンドジェスチャの認識と対応する操作の処理、仮想ディスプレイの描画に分けることができる。システムは、これらの処理を繰り返すことで動作する。

^{*1} eMagin 社, <http://www.emagin.com/>

^{*2} Microsoft Visual C# 2010, <http://www.microsoft.com/japan/visualstudio>

^{*3} OpenNI, <http://75.98.78.94/default.aspx>

^{*4} DirectX, <http://www.microsoft.com/japan/directx/default.mspx>

3.3.1 実空間の座標認識

本システムでは、実空間の座標認識に ARToolKit を基とした NyARToolKit^{*5}を使用した。

ARToolKit は黒枠で囲まれた矩形 (以下、マーカと呼ぶ) を設置し、それをカメラで認識した際の見え方から、カメラを基準とした座標系 (以下、カメラ座標系と呼ぶ) におけるマーカの位置や傾きを特定し、カメラ座標系からマーカを原点とした座標系 (以下、マーカ座標系と呼ぶ) への座標変換を行う行列を得る。マーカが固定されている場合、マーカ座標系はカメラの位置により変化するため、マーカ座標系のオブジェクトは、カメラが動くとそれに応じた見え方に描画される。カメラから得られた実空間の画像にマーカ座標系のオブジェクトを重ね表示することで、提示されたユーザに拡張現実感を与える。

本システムでは、マーカ座標系に対して仮想ディスプレイを描画する際と、マーカ座標系における指先の座標を求める際に、変換行列を用いる。

3.3.2 ハンドジェスチャの認識と対応する操作の処理

手の認識には、CandescentNUI^{*6}を使用した。

CandescentNUI は、Kinect から得られたデプス値をクラスタリングすることで、物体の認識と追跡を行うライブラリである。また、クラスタの特徴から手を判別し、手や指の情報を取得することが可能である。

本システムでは、取得した指の本数と指先の情報を用いてハンドジェスチャによる操作を実装した。

3.3.2.1 指先と仮想ディスプレイの交差判定

本システムのハンドジェスチャによる仮想ディスプレイの操作は、カメラ画像における指先と仮想ディスプレイの位置関係を基にして処理される。これによりユーザは仮想ディスプレイに直接触れて行う操作と、距離を気にせずに行う操作を使用することができる。例えば、書き込み操作ではユーザは書き込みたい場所に指先が重なって見えるように手を動かすことで、指先と仮想ディスプレイの重なった点の軌跡に線を引くことができる。このとき距離を気にしない操作の場合は、実際の手と仮想ディスプレイの奥行き方向の距離は離れていても問題ない。図 9 に書き込み操作を行う際の手と仮想ディスプレイの位置関係を示す。

CandescentNUI により取得される指先の情報は、カメラ画像における XY 座標 (以下、

^{*5} NyARToolKit, <http://nyatla.jp/nyartoolkit/wp/>

^{*6} Candescent NUI, <http://candescentnui.codeplex.com/>

スクリーン座標と呼ぶ) とデプス値からなる。カメラ座標系の奥行き方向を z 軸方向とすると、スクリーン座標はカメラ座標系において $z = 0$ の平面上の座標である。スクリーン座標を (x, y) とすると、カメラ座標系において $(x, y, 0)$ を通り、カメラの方向を方向ベクトルとする、つまり z 軸方向と平行な直線と仮想ディスプレイの交差を判定することで、カメラ画像内で指先と仮想ディスプレイが重なっているかどうか判断することができる。直線と仮想ディスプレイの交差判定は DirectX の関数で行った。

直線と仮想ディスプレイが交差している場合、交点と $(x, y, 0)$ の距離が得られる。求めた距離を使って交点の座標を求めることができ、それをさらに仮想ディスプレイの表面の 2 次元座標に直すことで、書き込みを行う座標が求まる。また、求めた距離と指先のデプス値から仮想ディスプレイと実際の手の距離を求めることができる。この距離が一定以内に収まる場合にのみ操作の処理が行われるようにすることで、直接触れなければ操作できないようにすることも可能である。

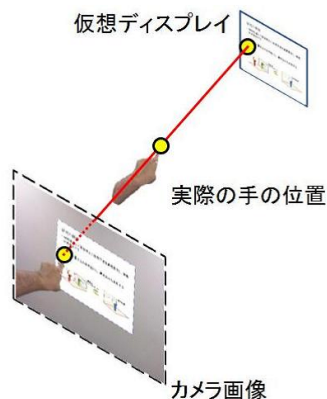


図 9 書き込み操作を行う際の手と仮想ディスプレイの位置関係

3.3.2.2 ハンドジェスチャのイベント処理

ユーザの手や指の情報や仮想ディスプレイとの交差判定の結果によって、いくつか定義されているイベントが発生する。各仮想ディスプレイは仮想ディスプレイクラスのコンストラクタとして存在し、イベントが発生した際に実行するメソッドが定義されており、それらを組み合わせて各操作の処理を行う。

手が仮想ディスプレイに重なっているときに発生し続ける Hover イベントを基本として、Hover イベントの状態で指の本数が変化したときに発生する Change イベント、Hover イベントの状態で手が動いたときに発生する Move イベントなどを定義した。各イベントが発生したときに実行されるメソッドでは、前フレームと現フレームでの指先の座標や指の本数、交差点の座標などを使用することができる。

移動操作を例に操作の処理の流れを説明する。まず、Change イベントが発生した際に、前フレームで指が 0 本かつ現フレームで指の本数が 2 本の場合、仮想ディスプレイの State プロパティの値を変えて移動操作中であることが分かるようにする。これにより以降のイベントによって移動操作に関する処理が呼ばれる。移動操作中の状態では Move イベントが発生すると、前フレームと今フレームでの手の座標から移動量を求め、仮想ディスプレイの座標を変更する。移動操作中の状態では Change イベントが発生した際に指の本数が 0 本の場合に、プロパティの State プロパティをデフォルト値に戻すことで移動操作を終了する。以上により、指を二本出した状態で手を動かすことで移動を行う操作が実行されるようになる。今回のプロトタイプでは、他の操作も同様に Change イベントで操作の開始と終了の処理を行い、Move イベントで操作中の処理を行うようにした。このようにイベントで操作処理を制御することでシステムの拡張などが行いやすくなると考えられる。

3.3.3 仮想ディスプレイの描画

NyARToolKit により得られた変換行列と、ユーザ間で共有された仮想ディスプレイと書き込みの情報をを用いて描画を行う。仮想ディスプレイはマーカー座標系に定義されており、マーカー座標系とカメラ座標系の変換行列はマーカーとカメラの位置関係によって異なるため、ユーザによって仮想ディスプレイの描画が異なる。そのため、ユーザは仮想ディスプレイが本当に存在するように感じることができる。

また、ユーザの手が仮想ディスプレイより手前にある場合、仮想ディスプレイを描画した後、さらにその上に手の領域を描画することで、仮想ディスプレイと手の前後関係が分かるようにしている。

3.4 サーバ

サーバの開発では、開発言語に PHP、データベース管理に MySQL を使用した。

仮想ディスプレイや書き込みの情報はサーバ上のデータベースに保存し、管理を行う。クライアントでの描画や操作時に、サーバに用意した PHP ファイルにアクセスすることで、データベース上の情報の取得や更新を行い、ユーザ間で情報の共有を行う。

3.4.1 仮想ディスプレイの情報

各仮想ディスプレイには一意な ID を定義されており、Displays テーブルのレコードに情報が格納されている。表 1 に Displays テーブルの構造を示す。

表 1 Displays テーブル

カラム名	種別	説明
id	int unsigned primary key	仮想ディスプレイの ID. 一意に定まる
oX	int	マーカ座標系における仮想ディスプレイの中心の X 座標
oY	int	マーカ座標系における仮想ディスプレイの中心の Y 座標
oZ	int	マーカ座標系における仮想ディスプレイの中心の Z 座標
width	int unsigned	仮想ディスプレイの幅
height	int unsigned	仮想ディスプレイの高さ
angleX	int	X 軸を中心とした仮想ディスプレイの回転角
angleY	int	Y 軸を中心とした仮想ディスプレイの回転角
angleZ	int	Z 軸を中心とした仮想ディスプレイの回転角
imgURL	text	仮想ディスプレイに表示する画像の URL
zoom	float	仮想ディスプレイを表示する際の倍率
lastUpdateTime	datetime	仮想ディスプレイが最後に更新された日時

3.4.2 書き込みの情報

各仮想ディスプレイに対して 1 つずつ対応する Drawing_X(X:仮想ディスプレイの ID) テーブルが存在する。Drawing_X テーブルでは、ID が X の仮想ディスプレイに対する書き込みの情報を格納する表 2 に Drawing_X テーブルの構造を示す。

表 2 Drawing_X テーブル

カラム名	種別	説明
id	int unsigned primary key	書き込みの ID. 一意に定まる
x	int	対象の仮想ディスプレイにおける書き込みの X 座標
y	int	対象の仮想ディスプレイにおける書き込みの Y 座標
xArray	text	書き込みが通る X 座標の配列をシリアライズしたもの
yArray	text	書き込みが通る Y 座標の配列をシリアライズしたもの
strokeStyle	mediumint unsigned	書き込みの色
strokeWidth	tinyint unsigned	書き込みの太さ
drawTime	datetime	描きこまれた日時

3.4.3 情報の取得・更新

PHP を使い、データベースの情報を取得、更新するための REST API を作成した。クライアントはこの API を通して、データベースにアクセスする。

3.4.3.1 get.php による情報の取得

クライアントは定期的に get.php にアクセスすることで、各情報の取得を行う。クライアントでは、前回 get.php にアクセスした日時を保持し、get.php に送信する。get.php は受け取った前回のアクセス日時と、Displays テーブルの lastUpdateTime を比較し、前回アクセス時から仮想ディスプレイの情報が更新されたか確認する。更新された仮想ディスプレイがあった場合はさらに、対応する Drawing_X テーブルの drawTime と、前回のアクセス日時を比較し、前回アクセス時から新たに追加された書き込みの情報があるか確認する。更新されていた仮想ディスプレイの情報と、それに追加された書き込みの情報は、クライアントに返される。このように、更新された情報のみを返すことで、通信量を減らしている。

3.4.3.2 move.php による移動操作の情報の更新

クライアントは移動操作が行われた際に move.php にアクセスすることで、移動操作により変化した情報の更新を行う。クライアントは、移動操作の対象となった仮想ディスプレイの ID と、移動による XYZ 座標の変化量を送信する。move.php は Displays テーブルの受け取った ID の仮想ディスプレイの oX,oY,oZ を、受け取った変化量を加えた値に更新する。また、lastUpdateTime の値を現在の日時に更新することで、他のユーザからも更新したことが分かるようにする。

3.4.3.3 draw.php による書き込み操作の情報の更新

クライアントは書き込み操作が行われた際に draw.php にアクセスすることで、書き込み操作により変化した情報の更新を行う。クライアントは、書き込み操作の対象となった仮想ディスプレイの ID と、書き込みの通る点の座標や色、太さなどの書き込みの情報を送信する。draw.php は受け取った ID の仮想ディスプレイに対応する Drawing_X テーブルに、受け取った書き込みの情報を追加する。追加した書き込みの情報の drawTime と、Displays テーブル内の対象となった仮想ディスプレイの lastUpdateTime を現在の日時に更新することで、他のユーザからも更新したことが分かるようにする。

4. 考 察

本研究で作成したプロトタイプシステムの試用を行った。その中で得られた知見や問題点および問題を解決するための今後の発展について考察を行う。

4.1 拡張現実感

拡張現実感による仮想ディスプレイを用いた情報の提示は有効であると感じた。拡張現実感の性質は、実際には存在しないが、存在するかのように見えるというものである。実際に

は存在しないため、持ち運んだりする必要がなく、狭い空間でも用いることができ、本研究で設定した協調作業に不向きな環境での利用に適している。また、仮想ディスプレイがある場所に存在するかのような視覚を他のユーザと共有できるため、意識の共有が必要である協調作業の支援にも適している。

問題点もいくつかあった。まず、本研究では実空間上に設置されたマーカを使用して実空間の座標認識を行っているため、システムを使用できるのはカメラでマーカを認識できるような環境に限定されてしまった。これは、どこでも利用可能であるという本システムの前提に反する。今後の発展では、Newcombe らの KinectFusion¹⁴⁾ や DTAM¹⁵⁾ のような、実空間の認識を行う技術を使用したいと思っている。これにより、マーカを用いずに実空間の座標認識を行うことが可能になり、環境が限定されることがなくなる。また、実物体の認識や 3 次元復元も可能になるため、実物体の使用を取り入れた新たな作業支援を行えると考えられる。

次に、現実感が完全でないという点が挙げられる。本研究では、仮想ディスプレイの位置と実空間の対応付けは行っているが、照明の影響やそれによってできる影については考えておらず、現実感が欠けている。また、仮想ディスプレイ同士の前後関係については正しく描画しているが、仮想ディスプレイと実物体の前後関係は正しく描画されないため、これも現実感の薄さの原因になっている。今後の発展では、KinectFusion や DTAM によって実物体を認識することで、仮想ディスプレイにより現実感を持たせることが可能になると考えられる。

反対に、仮想物体であることを生かせていないという問題もある。本研究はディスプレイやプロジェクタがない環境で、それらを用いた場合と同等の視覚情報の提示を行うというところに単を発している。そのため、扱う仮想物体もディスプレイを模した平面状であり、設置後の性質も実際のディスプレイを再現しようとしたものである。例えば、情報を見る場合には斜めから見るより正面から見た方が分かりやすいが、本システムでは実際のディスプレイを再現しようとした結果、仮想ディスプレイを斜め方向から見ると、そのまま斜めからの見た目が提示される。単に情報を見やすくするならば、仮想ディスプレイの様子は常に正面から見た状態で提示される方が良い。しかし、これは現実感を薄めることになるため、認識の共有にどれだけの影響があるか確認する必要がある。また、一般的に仮想物体は 3 次元モデルであるが、仮想ディスプレイは平面状である。3 次元モデルを用いて情報提示を行えば、より効果的な協調作業を行うことができると考えられる。今後の発展では、ディスプレイなど従来のものにとらわれない、仮想物体の性質を生かした情報提示方法を考えること

で、より有益な支援を行うことが可能になると考えられる。

4.2 ハンドジェスチャによるインタラクション

ハンドジェスチャの認識は良好であった。本研究で用いたデプス情報によるハンドジェスチャの認識は、従来の色情報によるものと比べて精度が良く、照明の状態に左右されず暗所などでも使用でき、容易に奥行き方向への移動も認識することができた。

奥行き方向を使ったジェスチャや、両手を用いたジェスチャなど、より多様なインタラクションが考えられるが、本システムでは移動操作に奥行きを用いただけであった。また、それぞれの操作に割り当てるジェスチャの検討をほとんど行わなかったため、機能とジェスチャが自然に対応していなかったり、指の本数の遷移がうまくいかず、誤認識をすることが多かった。今後の発展では、多様なジェスチャを認識できることを生かし、それらのジェスチャと操作の対応付けをよく検討した上で適切な機能に割り当て、ユーザにとって使いやすいインタラクションを模索する。

5. 関連研究

5.1 ウェアラブルコンピューティング

蔵田らは、手を使ってマウスのような操作を可能にするウェアラブル入力インタフェースであるハンドマウスについて述べた¹⁰⁾¹¹⁾。身体に装着したカメラから得られる画像の色情報から手や指の形状や背景を認識し、ポインティングやクリックなどの手の状態に対応する操作を行う。本研究も同様に、ウェアラブルデバイスによる手を用いたインタフェースを用いている。しかしながら、色情報による手の認識は環境光の影響を受けやすく、状況によって認識精度に大きな差があるため、本研究では、Kinect センサから得られるデプス情報を用いることで、環境光に影響を受けずに手の認識を行えるようにしている。

塚田らは、モバイル環境における手や指のジェスチャを認識するウェアラブルデバイス Ubi-Finger を開発した¹²⁾。従来の多様性を重視した全ての指にセンサを取り付ける方法ではなく、人差し指にのみセンサを取り付ける方法を採用している。これにより装着時の負荷を軽減し、モバイル環境での使用に適したものにしている。本研究では、手にデバイスをつけてしまうと作業が行いにくくなるという懸念から、頭部の Kinect センサを用いてハンドジェスチャの認識を行う。

山本らは、ウェアラブルデバイスをを用いたジェスチャにより、

5.2 ハンドジェスチャ

平賀らは、ハンドジェスチャによりマウスの基本操作を実現する仮想タッチパッドシステ

ムを開発した¹³⁾。マウスの基本操作であるカーソル移動、クリック、ドラッグ、クラッチを可能としており、それを用いて離れた位置から大型モニタの操作を行う。手の認識は2台のカメラとブルーバックを使用して行い、指先の3次元軌道を解析した結果からジェスチャの判別を行う。対象から離れた位置での操作を扱っている点や、3次元座標の解析によりジェスチャを判別する点で本研究と類似している。一方、平賀らがジェスチャの認識に固定された装置を用いているのに対し、本研究は場所を選ばずに使えるようにウェアラブルデバイスを用いている。

6. まとめと今後の課題

本研究では、オンラインストレージサービスやWebアプリケーションの普及を背景として、モバイル端末により様々な作業を行えるようになったことと、大画面や複数画面を利用することができればより効率的に作業を行えることを述べた。

そのアプローチとして、拡張現実感を用いた仮想的なディスプレイによる作業支援を提案し、プロトタイプシステムを実装した。

システムは拡張現実感を用いた仮想的なディスプレイによりユーザに情報の提示を行う。また、仮想ディスプレイに対するハンドジェスチャによるインタラクションを可能にすることで、ユーザが自然な操作を行えるようにした。移動操作では、仮想ディスプレイを任意の場所へ再配置することを可能にし、情報の整理などを容易にした。サイズ変更操作では、仮想ディスプレイのサイズ変更を行えるようにし、大画面による情報共有などを行えるようにした。書き込み操作では、仮想ディスプレイに対してフリーハンドの線を引くことで、他のユーザに対して円滑に意思を伝えることを可能にした。ページ送り操作では、複数ページから構成される資料のどのページを表示するか変更可能にし、資料の操作を直感的にした。

今後は、試用を通して感じた利点を生かしつつ、問題点を解消して、より効果的な協調作業の支援を行うシステムを目指す。

参 考 文 献

- 1) 金子将大: 拡張現実感を用いた協調作業支援システム, 筑波大学情報学群情報科学類学士論文 (2012)
- 2) 金子将大, 田中二郎: 拡張現実感による協調作業環境の構築, 情報処理学会第73回全国大会講演論文集 (4), pp.271-272(2012)
- 3) Azuma,R.: Survey of Augmented Reality, *Teleoperators and Virtual Environments* 6, 4, pp.355-385(1997)

- 4) Bandyopadhyay,D., Raskar,R. and Fuchs,H.: Dynamic shader lamps: Painting on movable objects, *Proc. of International Symposium on Augmented Reality*, pp.207-216(2001)
- 5) 塚田 裕太, 牛田 啓太, 鶴見 智: AR 白板: 実空間情報のコピー&ペースト機能による拡張ホワイトボードの提案, *インタラクション 2011*, 2SCL-17, pp.443-446(2011)
- 6) 加藤 博一: 拡張現実感システム構築ツール ARToolKit の開発, 電子情報通信学会技術研究報告. PRMU, パターン認識・メディア理解 101(652), pp.79-86(2002)
- 7) Klein,G. and Murray,D.: Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces, *Proc. International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR'07, Nara)*, pp.225-234(2007)
- 8) 加茂 浩之, 田中 二郎: ウェアラブル拡張現実感による情報端末の仮想化, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2011) シンポジウム, pp.1223-1233(2011)
- 9) Harrison,C., Benko,H. and Wilson,A.: OmniTouch: Wearable Multitouch Interaction Everywhere, *UIST 2011*, pp.441-450(2011)
- 10) 蔵田 武志, 大隈 隆史, 興梠 正克, 坂上 勝彦: ハンドマウス: ビジュアルウェアラブルズが可能にする拡張現実環境に適したインターフェイス, 電子情報通信学会技術研究報告. PRMU, パターン認識・メディア理解 100(565), pp.69-76(2001)
- 11) 蔵田 武志, 興梠 正克, 加藤 丈和, 大隈 隆史, 坂上 勝彦: ハンドマウスとその応用: 色情報と輪郭情報に基づく手の検出と追跡, 映像情報メディア学会技術報告 25(85), pp.47-52(2001)
- 12) 塚田 浩二, 安村 通晃: Ubi-Finger: モバイル指向ジェスチャ入力デバイスの研究, 情報処理学会論文誌 43(12), pp.3675-3684(2002)
- 13) 平賀 高市, 若林 佳織, 松浦 宣彦: 仮想タッチパッド: タッチパッドの操作を模したジェスチャマウス, 映像情報メディア学会技術報告 34(25), pp.57-62(2010)
- 14) Newcombe,R., Izadi,S., Hilliges,O., Molyneaux,D., Kim,D., Davison,A., Kohli,P., Shotton,J., Hodges,S. and Fitzgibbon,A.: KinectFusion: Real-time dense surface mapping and tracking, *10th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, pp.127-136(2011)
- 15) Newcombe,R., Lovegrove,S. and Davison,A.: DTAM: Dense tracking and mapping in real-time, *Proc. IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, pp.2320-2327(2011)