

仮想空間提示に適した タンジブルインタフェースに関する研究

鷲野 誠^{1,a)} 牧野 光則^{1,b)}

概要: 近年登場している VR 向けハードウェアやコンテンツでは、視覚から没入感を高める傾向が強い。しかし、今後の市場成長を大きくするためには、ユーザの操作に焦点を当てたシステムの普及が必要である。そこで本研究では利用者の没入感を向上するために、入出力画面を分離した仮想現実システムにおける UI を設計し、その有用性を検証した。提案 UI は入力デバイスであるディスプレイ上での利用者の操作を取得し、かつ、利用者が操作する有形オブジェクトを認識する。それにより、ユーザの動作と仮想空間におけるオブジェクトの動きの整合性を高める。提案 UI を備えたアプリケーションを構築し、それに対するユーザテストで有用性を検証した。

キーワード: コンピュータグラフィックス, 仮想現実感, ユーザインタフェース

A Study on Tangible Interface Suitable for Presenting a Virtual Space

WASHINO MAKOTO^{1,a)} MAKINO MITSUNORI^{1,b)}

1. はじめに

仮想現実感 (Virtual Reality, VR) 技術の注目度は年々高まり、多くの VR 向けハードウェアや VR システム、コンテンツが登場している。VR の特徴の 1 つに没入感の利用者への付与があるため [1], VR システムやコンテンツにおいて没入感を高めることは、それらの質の向上につながる。近年ではこの没入感を、視覚の観点から高める動きが盛んであり、Oculus Rift [2] や PlayStation VR [3] などのヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display, HMD) を用いた VR システムが数多く発表されているだけでなく、それらで動作するコンテンツも続々と登場している。これらは視界を覆うディスプレイに描画する映像をユーザの視線や頭の動きに合わせて変化させることで、仮想空間に対

する没入感を向上させる。現在の VR 市場はほとんどが視覚に焦点を当てている [4]。

一方で、VR 市場の成長予測は、拡張現実感 (Augmented Reality, AR) と比べると低い [4]。これは、現在普及している VR システムは視覚以外の感覚における没入感に焦点を当てたものが少なく、AR と比べてコンテンツの幅が狭いためである。視覚以外に焦点を当てた VR システムがあれば、これまでとは異なる領域にも VR の利用機会を生み、更なる市場成長を見込める。

VR はユーザが見るだけでなく、何らかの操作を仮想空間に対して行う。そこで、VR システムにおけるユーザが行う操作に焦点を当てることが考えられる。ユーザの操作と仮想空間におけるオブジェクトの動作の整合性が取れないとユーザの没入感は低下する。そのため、ユーザが円滑に VR システムを利用するためには、ユーザと仮想空間との間に高い整合性が必要になる。ユーザと仮想空間との整合性を考える際、入出力の手段を提供するユーザインタフェース (User Interface, UI) が重要になる。仮想空間にお

¹ 中央大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering, Chuo University

a) a10.6dg4@g.chuo-u.ac.jp

b) makino@m.ieice.org

ける物体の操作において、現在はマウスや、スティックや複数のボタンを備えた制御装置(コントローラ)を用いるのが主流である。これらは安価で汎用性が高いものが多いという利点がある一方、ユーザがものを掴む、回転させるといった操作をする場合、実際の人間が行う動きとは整合性が取れないことがしばしば起こり得る。ユーザと仮想空間の動きを一致させる UI を実現している VR システム [5] もあるが、特定の場面での利用のみを想定している。この問題を解決するために、ユーザと仮想空間の整合性を高く保ち、かつ広く利用し得る UI を備えた VR システムが望まれる。

人間にとって自然で直感的な操作を実現する UI として、タッチインタフェースや、現実にある有形オブジェクトを利用するタンジブルユーザインタフェース (Tangible User Interface, TUI) がある [6]。TUI の適用例には、ディスプレイ上の有形オブジェクトを操作することでディスプレイに情報を提示するシステムがあり [7]、タッチパネルとの組み合わせも可能である。しかし、タッチインタフェースや TUI は通常、ユーザがタッチあるいはオブジェクト操作をする画面と情報を表示する出力画面が同一である。そのため、ユーザが視線を大きく動かす必要がない一方、仮想空間が描画される範囲に余計な情報が入り込むことで、ユーザの没入感を低下させる。TUI においては有形オブジェクト自体が仮想空間を遮ることが起こり得る。タッチパネルデバイス単体や、これまでの TUI の形では視覚による没入感の低下が避けられない。これらの操作性を活かしつつ、出力画面における没入感の低下を防ぐ必要がある。そこで、没入感を高めるために、仮想空間の提示のみを行う出力画面を別に用意し、タッチパネルでは入力と補助的な出力のみに絞った VR システムが考えられる。

以上を踏まえ、本稿では高い没入感と人間にとって自然な動作による操作を実現する VR システムを構築し、VR システムの普及に貢献することを目的として、入出力画面を分離した VR システムにおける、仮想空間の提示に適した UI を提案する。提案 UI は入力デバイスであるディスプレイ上での利用者の操作を取得し、かつ、利用者が操作する有形オブジェクトを認識する。それにより、ユーザの動作と仮想空間におけるオブジェクトの動きの整合性を高める。

また、その有用性を検証するために、提案する UI を備えたアプリケーションを構築する。評価試験で上記に対するアンケートを行い、過半数の高評価を目標の達成とする。

2. 関連システムと課題

2.1 森らの研究 [8]

森らが開発したシステムは複数のコンピュータ間で VR 空間を共有するマルチユーザ仮想現実環境システムである。空間内のオブジェクトがもつ固有の ID をシステムが識別することで、どのユーザもオブジェクトを操作できる。ある参加者が仮想空間中で操作すると他の参加者はリアルタ

イムでその操作による変化を観察できる。また、共有する空間中で参加者が対応する位置にアバタが表示されるため、他者の存在を認識しやすい。しかし、システムをマウスで操作するため、人間の自然な動きと整合性が取れない場合がある。特に回転を含むオブジェクトの移動や落書きの際に、現実世界における人間がものを動かす、または書く動作と差が生まれやすい。

2.2 Wanda [9]

Wanda は CAVE を操作するコントローラである。Wanda はボタン、中央のボールと Wanda 自体の向きで操作を行う。VRscape [10] によって描画された空間上では、Wanda を用いることでオブジェクトを回転させながら移動できる。しかし、Wanda の向きを変えるための手首の動きと、ボタンやボールの同時操作はユーザにとって負担である。

2.3 Martine らの研究 [11]

Martine らの研究ではマルチタッチパネルに出力した物体の、3次元座標操作を実現している。ユーザは指を使い直感的に3次元空間に描画された物体を操作できる。入力画面と出力画面が同一であるため、ユーザは操作している物体を直感的に把握できる。一方で、ユーザがタッチしている場所を示すポインタが仮想物体と重なることで、仮想空間に対する没入感を損ないやすい。

2.4 課題

1章で述べた現在普及している UI を備えた、VR 空間内のオブジェクトを操作できる既存の研究、システムにおける人間にとって自然な動作で操作できるかという観点において、以下の問題点が挙げられる。

- マウスによる操作を行う場合、移動と回転を同時に行えず人間が普段行う動作と整合性が低い。
- 入出力画面が同一である場合、自然な操作性を有していても没入感を損ない得る。

また、個人用 PC を用いるシステムは VR 空間の大きさにおいて、実世界との差が大きく没入感を損なう。

3. 提案システム

3.1 概要

本研究では、入出力画面を分離した VR システムにおける、人間にとって自然な動作で仮想オブジェクトを操作できる UI を提案する。提案システムでは、ユーザが操作するデバイスとして、直接画面に触れることで操作を行うタッチパネルを用い、VR 空間の出力には没入感を高めるために大画面タイルディスプレイを用いる。なお、タッチパネルには Microsoft PixelSense [12] を、タイルディスプレイには Samsung UD [13] を用いる。

提案システムでは PixelSense で動作するアプリケーションと、Samsung UD に接続された PC で動作するアプリケー



図 1 操作画面の構成
Fig. 1 Configuration of operation screen



図 2 メニュー画面の構成
Fig. 2 Configuration of menu screen

ションの2つのアプリケーションを実装する。PixelSense上のアプリケーションは操作画面の表示、ボタン押下やタグの操作に伴う情報の取得及び送信を、Samsung UDに接続されたPCで動作するアプリケーションは情報の受信とそれをもとにしたVR空間の描画を行う。情報の送受信はPixelSenseとSamsung UDを繋ぐネットワークを介して行う。ネットワークのプロトコルはTCPである。

提案UIは入力デバイスであるディスプレイ上でのユーザが操作する有形オブジェクトを認識し、VR空間内のオブジェクトの移動と回転に対応させる。そのため、ユーザは自然な手首の動きで仮想オブジェクトの移動と回転を同時に行える。また、複数のタグを同時に認識できるため、両手を使って複数オブジェクトを操作できる。

3.2 提案システムの詳細

3.2.1 ユーザが操作する画面の構成

提案システムにおける、ユーザ操作画面の構成を図1に示す。操作画面は描画データとボタンを配置する領域に分かれている。また、タッチパネル上にタグが置かれた際にシステムが表示するメニュー画面の構成を図2に示す。タグの右側にメニュー領域を設ける。

3.2.2 システム起動後の流れ

システム起動後の流れを以下に示す。なお、PixelSense上のアプリケーションをA、Samsung UD上のアプリケーションをBとする。

(1) A: システムは描画データ配置領域に描画する2次元データの読み込みを行う。2次元データは実行フォルダ下にPNG形式で存在する。また、実行フォルダ下にあるip.txtを読み込む。ip.txtはBを実行するPCのIPアドレスがテキストで記述されている。

B: システムは描画する3次元空間と描画するモデルリストの初期化を行う。このとき、実行フォルダ下のmodelフォルダ内にMQO形式で用意されたオブジェクトの読み込みも行う。MQOはオブジェクトの形状、色、マッピング情報を持つ。マッピングに使用される画像データはmodelフォルダに存在する。また、実行フォルダ下にあるip.txtを読み込む。

(2) A: システムは読み込んだ2次元データを基にユーザが操作する画面を描画する。また、読み込んだIPアド

レスを基に送信待機状態に入る。

B: システムはモデルリストに格納されたオブジェクトをVR空間に描画する。また、読み込んだIPアドレスを基に受信待機状態に入る。

(3) Aはユーザの操作に応じた情報を取得し、送信文字列として記憶する。また、タグが置かれた際はタグの周囲へのメニュー画面の表示も行う。ユーザの操作とそれによって取得する情報は以下に大別される。

- タグをPixelSense上に配置する、または動かすタグのID、PixelSense上の座標、傾き(タグ情報)
- ボタンを押下する、またはメニュー画面を操作する押下されたボタンに応じた命令情報(ボタン情報)

(4) AがBに取得した送信文字列を送信する。

(5) Bが送信文字列を受信し、Step6を発生させる。

(6) 受信した情報に従い以下を行う。

- タグ情報
受信したIDが新しいIDであればモデルリストにオブジェクトを追加し、そうでなければ受信した座標、回転の値を基にIDに対応したオブジェクトの座標情報を書き換える。
- ボタン情報
命令を基にした動作を実行する。

(7) A, B共にStep2に戻る。

3.3 提案システムの特徴

提案システムの特徴を以下に示す。

- タグの移動と回転が仮想オブジェクトに反映されるため、ユーザは自然な動作でVR空間における複数オブジェクトの移動と回転を行える。
- タグのIDによって操作する仮想オブジェクトを決定するため、ユーザは任意のオブジェクトを迷わず操作できる。
- 入力に使用するのはPixelSenseのみで、VR空間上にGUIがないためユーザの没入感を損ねない。
- 大画面タイルディスプレイにVR空間を出力することでユーザの没入感を高める。
- 出力画面が大きいと、現実と仮想空間の間で大きさの違和感が少ない。

なお、入力画面と出力画面が異なるため、ユーザは視線を移す必要がある。

4. アプリケーションへの適用

4.1 家具配置シミュレーションシステム

4.1.1 概要

提案UIの特徴として、ユーザが複数のオブジェクトに対して移動と回転を連携させながら操作できる点、現実と仮

想空間の間で大きさの違和感が少ない点が挙げられる。日常生活において、複数の物体に対して移動と回転を伴い、サイズ感が重要な要因になりうる例として家具の配置が考えられる。実際に家具を動かして複数の配置を試すのは困難であるため、VRによるシミュレーションが有用である。そこで本研究では、提案した新たなUIの適用例として家具配置シミュレーションシステムを制作する。PixelSense上の描画データ配置領域には2次元の間取り図を描画し、タイルディスプレイには間取り図に対応したVRの部屋を描画する。タグのIDに対応するオブジェクトとして家具モデルを用意し、タグがタッチパネルに置かれるとシステムは間取り図上とVR空間上の整合性がとれた位置に家具のモデルを出力する。これにより、ユーザはタッチパネル上でタグの移動や回転を行うことで、仮想空間上の家具の位置と角度を操作できる。ボタン配置領域には「間取り変更ボタン」「データ書き込み/呼び出しボタン」「視点変更ボタン」を用意する。これによりユーザは間取りの変更、配置した家具の保存と呼び出し及び視点変更を行える。タグが置かれた際のメニュー画面にはスライダと削除ボタンを配置する。これにより、家具の高さの変更と描画している家具の削除を行える。また、カメラアイコンによる現在のカメラ位置の表示とタグの周囲への家具の大きさに対応した枠線の表示により、ユーザの操作性の向上を図る。

4.1.2 送信文字列

ユーザの操作は画面上のタグの操作、タグの横に表示されるメニューの操作、画面上のボタンを押下する操作に分類できる。

タグのIDを $tagID$ 、PixelSense上の平面座標をそれぞれ (x, y) 、回転角を θ 、メニュー画面におけるスライダの値を z として、各操作においてシステムがアプリケーション A から B に送る送信文字列について説明する。なお、送信文字列を str とする。

- 画面上のタグの操作

- 家具の表示

$str = "tagID, x, y, \theta"$

アプリケーション A はアプリケーション B に上記 str を送信する。B は $tagID$ に対応した家具モデルの現在の x, z 座標にそれぞれ x, y 、回転角に θ を代入して再描画する。このとき、対応する家具モデルがモデルリストになければ事前に追加する。

- タグの横に表示されるメニューの操作

- 家具の高さの変更

$str = "change, tagID, z"$

スライダの値が変更された際、A は送信文字列を上記 str として B に送信する。B は $tagID$ に対応した家具モデルの y 座標に z を代入する。

- 家具の消去

$str = "delete, tagID"$

アイコンが押下された際、A は送信文字列を上記 str として B に送信する。B は $tagID$ に対応した家具モデルをモデルリストから削除する。

- 画面上のボタンを押下する操作

- 間取りの変更

$str = "roomName"$

間取り変更ボタンが押下されると、A は送信文字列を上記 str として B に送信する。B はモデルリストに格納されている部屋モデルを削除し、 $roomName$ に対応する部屋モデルをモデルリストに追加する。なお、 $roomName$ は各間取り変更ボタンのボタン名である。

- 配置の保存

$str = "save, dataNum"$

SaveList 内のボタンが押下されると A は各ボタンに対応した $dataNum$ を取得する。その後 Save ボタンが押下されると、A は送信文字列を上記 str として B に送信する。B は現在モデルリストに格納されている各モデルのモデル名、 x, y, z 座標、回転角をテキスト形式で出力する。このとき、テキストのファイル名は $"modelList" + dataNum.txt$ である。

- 配置の呼び出し

$str = "load, dataNum"$

SaveList 内のボタンが押下されると A は各ボタンに対応した $dataNum$ を取得する。その後 Load ボタンが押下されると、A は送信文字列を上記 str として B に送信する。B は現在のモデルリストからすべての家具モデルを削除し、 $"modelList" + dataNum.txt$ 内に記述されたモデルをモデルリストに追加する。

- 視点の変更

$str = "camName"$

視点変更ボタンが押下されると、A は送信文字列を上記 str として B に送信する。B は VR 空間におけるカメラの位置を $camName$ に応じて変更する。 $camName$ は各視点変更ボタンのボタン名である。

4.1.3 ユーザに対する視覚効果

提案する家具配置シミュレーションシステムでは、上記の機能に加えて、ユーザの直感性と理解を向上させるための視覚効果を付与する。

- 操作画面における家具のサイズの表示

ユーザが操作するタグの周囲に、そのタグのIDに対応する家具の幅と奥行きを長方形の枠で表示する。

- VR空間における家具の衝突の表示

VR空間において家具同士が衝突した際、衝突している家具を囲うバウンディングボックスを表示する。また、家具と壁が衝突した際は、家具のバウンディングボックスに加えて、衝突している壁の色を変更する。

4.1.4 既存システムとの比較

既存の家具配置シミュレーションと提案システムの比較

を行う。比較対象は、Wanadev. が提供する Wanaplan 無料版 [14] とする。

以下に、両システムに共通する機能の比較を示す。

- 家具の選択
 - Wanaplan
メニュー画面に表示される種類ごとに分類されたリストの中から配置する家具を選択できる。選択した家具は視点の中心に配置される。
 - 提案システム
家具とタグの ID は 1 対 1 に対応しているため、配置したい家具に対応する ID のタグを置くことで任意の家具を配置できる。家具が配置される位置はタグの間取り図上の位置による。
- 家具の移動と回転
 - Wanaplan
移動したい家具をクリックして選び、ドラッグすることで移動する。また、選択した状態でオブジェクトの周りに表示されるリングをドラッグすることで回転を行う。移動と回転は同時に行えない。
 - 提案システム
タッチパネル上のタグを移動、回転させることで VR 空間に描画される家具の移動、回転を行う。移動と回転を同時に行える。
- 間取りの変更
 - Wanaplan
Draw 画面においてユーザが任意の間取りを描画できる。プルダウンメニューから Wall 等の素材を選び、ドラッグアンドドロップにより描画領域に配置する。配置した素材をクリックすると Thickness や Height 等のパラメータ画面が表示され、スライダを操作することでパラメータの変更を行える。
 - 提案システム
画面上にある間取り変更ボタンを押下することで間取りの変更を行う。間取りは事前に用意された中から選ぶ。
- 配置の保存と呼び出し
 - Wanaplan
保存ボタンを押下することで現在の配置を画像で保存する。なお、有料版では配置を保存し呼び出すことができる。
 - 提案システム
画面上にある SaveList 内のボタンを押下した後、Save ボタンを押下することで配置の保存を行う。同様に Load ボタンを押下することで配置の呼び出しを行う。
- 視点の変更
 - Wanaplan
オブジェクトのない部分をドラッグすることで視点の回転を行う。地面より上であれば任意の位置から見

られる。

- 提案システム
画面上にある視点変更ボタンにより視点変更を行う。変更可能な視点は 9 箇所である。
- シミュレーション結果の描画
 - Wanaplan
VR 空間と各種メニューが同一の画面内にあり、VR 空間を遮る形でメニューウィンドウが表示される場合がある。
 - 提案システム
入力デバイスは PixelSense のみであり、VR 空間上に GUI が存在しない。

4.2 無線 LAN 反射波の可視化システム

4.2.1 概要

本研究で提案する VR システムにおける UI の汎用性を示すため、現実には見えない情報の可視化に関するアプリケーションを構築する。本研究では家庭内での利用が増加傾向にある [15]、無線 LAN の反射波を可視化する。電波の到達範囲を直感的に理解することで、家庭における無線 LAN のアクセスポイントを適切に配置できるようになる。

4.2.2 送信文字列

ユーザの操作は画面上のタグの操作、タグの横に表示されるメニューの操作、画面上のボタンを押下する操作に分類できる。

タグの ID を $tagID$ 、PixelSense 上の平面座標をそれぞれ (x, y) 、回転角を θ 、メニュー画面におけるスライダの値を z として、各操作においてシステムがアプリケーション A から B へ送信する送信文字列について説明する。なお、送信文字列を str とする。

- 画面上のタグの操作
 - 電波基地局と電波の表示
 $str = "x, y"$
アプリケーション A はアプリケーション B に上記 str を送信する。B は仮想空間に描画する無線基地局の x, z 座標にそれぞれ x, y を代入する。無線基地局は球で示す。
 - タグの横に表示されるメニューの操作
 - 電波基地局の高さの変更
 $str = "change, z"$
スライダの値が変更された際、A は送信文字列を上記 str として B に送信する。B は無線基地局の y 座標に z を代入する。
 - 画面上のボタンを押下する操作
 - 視点の変更
 $str = "camName"$
視点変更ボタンが押下されると、A は送信文字列を上記 str として B に送信する。B は VR 空間における

カメラの位置を *camName* に応じて変更する。なお、*camName* は各視点変更ボタンのボタン名である。

4.2.3 既存システムとの比較

既存の無線 LAN 強度可視化システムと提案システムの比較を行う。比較対象は ekahau が提供する HeatMapper [16] とする。

以下に、両システムに共通する機能の比較を示す。

- 電波の可視化

- HeatMapper

電波の強度が 2 次元のヒートマップで表示される、また、受信した電波の基地局の位置も表示し、基地局をクリックすることで基地局ごとの電波強度を可視化できる。

- 提案システム

3 次元空間における、2 次元の図面上に置かれたタグの位置と整合性が取れた位置に基地局を描画し、そこから放射状に線を延ばし電波の進路を可視化する。また、線の透明度により電波の強度を示す。

- 描画面面

- HeatMapper

可視化画面以外に、利用可能なアクセスポイントを表示する画面と、操作説明画面がある。各画面の端にあるボタンを押下することで表示/非表示を切り替えられる、各画面は可視化画面に重なる形で表示される。

- 提案システム

ユーザが操作する入力画面と仮想空間を描画する出力画面が分離している。入力画面は 2 次元の図面を描画する領域とボタンを配置する領域に分かれている、出力画面は仮想空間のみを描画する。

また、基地局の設置場所を検討する際に用いる場合における、それぞれの長短所を示す。

- HeatMapper

複数の基地局からの電波を可視化できる。一方で、複数の設置場所での強度を測定する際、その都度実際に設置場所を変え測定する必要がある。

- 提案システム

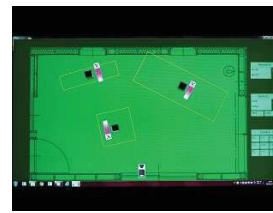
仮想空間における基地局を移動できるため、容易に複数の設置箇所を検討できる。一方で、可視化できる基地局は 1 つのみである。

5. 実装

5.1 実装結果

5.1.1 家具配置シミュレーションシステム

プログラムは WPF, SurfaceSDK2.0, GLSharp を用いて作成した。部屋のモデルは Metasequoia を用いて制作し、家具のモデルはライブラリとフリー素材を使用している。それぞれの動作画面を図 3 に示す。PixelSense に配置されたタグの位置に合わせて、仮想空間に家具が描画されてい



(a) Pixelsense



(b) Samsung UD

図 3 システムの動作画面

Fig. 3 Screen of the system



図 4 家具のサイズ表示

Fig. 4 Size indication of the furniture



図 5 家具同士の衝突

Fig. 5 Collision between the furniture



図 6 家具と壁の衝突

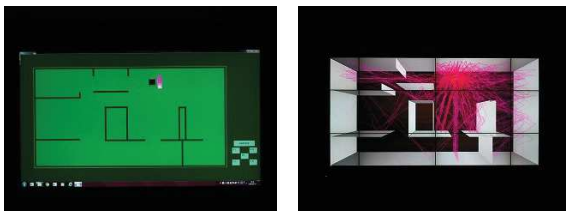
Fig. 6 Collision of furniture and the wall

る。また、それぞれのタグの回転も家具に反映されている。ユーザが使用できる家具は 10 種類である。ユーザがディスプレイ上にタグを置くとタグの横にメニューが表示され、タグの ID に対応した家具が VR 空間に描画される。表示されたメニューのスライダーを上下させることで家具の高さを変更する。また、バツアイコンをタッチすることで家具の削除ができる。ボタン配置領域における間取り変更ボタンを押下すると間取りが変更され、視点変更ボタンを押下すると視点を変更される。

また、ユーザの直感性と理解を向上させるための視覚効果を実装している。タグの周囲に、ID に対応した家具のサイズが表示されている様子を図 4 に示す。家具同士が衝突している様子を図 5 に、家具と壁が衝突している様子を図 6 に示す。衝突はバウンディングボックスの表示と壁の色変更で示す。

5.1.2 無線 LAN 反射波の可視化システム

プログラムは WPF, SurfaceSDK2.0, GLSharp を用いて作成した。部屋のモデルは Metasequoia を用いて制作した。それぞれの動作画面を図 7 に示す。PixelSense に配置されたタグの位置に合わせて、仮想空間に無線基地局が描画され、電波の進路が可視化されている。タグを移動させると基地局も合わせて動く。メニューのスライダーを上下させ



(a) Pixelsense (b) Samsung UD

図 7 システムの動作画面
 Fig. 7 Screen of the system

ることで基地局の高さを変更する。ボタン配置領域における視点変更ボタンを押下すると視点が変わられる。

5.2 評価

評価は体験に基づくアンケートによって行った。被験者は中央大学理工学部情報工学科の学生 4 名, 中央大学大学院理工学研究科情報工学専攻修士課程の学生 6 名, 合計 10 名である。被験者のうち, 日常的にタッチパネルを搭載した機器を利用している者は 10 名, 使用していない者は 0 名である。

5.2.1 家具配置シミュレーションシステム

被験者のうち, 店頭で家具を購入したことがある者は 6 名, ない者は 4 名であり, 購入経験がある者で自分の部屋に置く場面を想像しにくいと答えた者は 5 名である。

被験者はまず 4.1.4 項で述べた既存システムの Wanaplan を体験する。次に提案システムを体験する。提案システムの体験では操作説明の後, 用意したサンプルと同じ配置を製作する。PixelSense から Samsung UD の距離は 2m30cm である。被験者は PixelSense を挟んで Samsung UD に向かい操作する。

表 1 にアンケート結果を示す。アンケートは 4 段階評価とし, 値が小さいほど高評価で値が大きいほど低評価とする。評価欄の数字が回答した人数である。各項目において過半数から高評価を得た。

5.2.2 無線 LAN 反射波の可視化システム

被験者のうち, 公共で提供されているもの以外で無線 LAN アクセスポイントを設置し利用している者は 8 名, ない者は 2 名であり, 利用している者で設置場所で悩んだことがあると答えた者は 2 名である。

被験者はまず 4.2.3 項で述べた既存システムの HeatMapper を体験し, 中央大学理工学部情報工学科システム解析・可視化研究室の無線 LAN の強度を測定する。次に提案システムを体験する。提案システムの体験では操作説明の後, 電波の進路を確認しながら最適な無線基地局の配置を探す。PixelSense と Samsung UD の配置は 5.2.1 項と同様である。

表 2 にアンケート結果を示す。表記は表 1 同様である。

表 1 アンケート結果 (家具配置シミュレーション)

Table 1 Questionnaire results (Furniture layout simulation)

	評価			
	1	2	3	4
1. ボタンの配置	9	1	0	0
2. 視点変更	7	2	1	0
3. 保存と呼び出し	7	3	0	0
4. 間取りの変更	10	0	0	0
5. 複数操作の容易さ	8	2	0	0
6. 操作の直感性	10	0	0	0
7. システムの有用性	9	1	0	0
8. 空間の整合性	8	2	0	0
9. 家具のサイズを表示	9	1	0	0
10. 家具や壁の視覚効果	8	2	0	0

いずれも過半数から高評価を得た。

表 2 アンケート結果 (無線 LAN 反射波の可視化)

Table 2 Questionnaire results (Visualization of the reflection wave of the wireless LAN)

	評価			
	1	2	3	4
1. ボタンの配置	8	2	0	0
2. 電波進路の理解	10	0	0	0
3. 操作の直感性	10	0	0	0
4. システムの有用性	7	3	0	0
5. 空間の整合性	8	2	0	0
6. 視点変更	8	2	0	0
7. 基地局の移動	9	1	0	0

5.3 評価の考察

5.3.1 家具配置シミュレーションシステム

表 1 をもとに考察する。

項目 1. はすべての被験者から高い評価を得た。このことから画面の構成は適切だったといえる。項目 2. は 90% 以上の被験者から高い評価を得た。このことから視点変更は容易であったといえる。一方で低い評価を選択したユーザもおり, どの視点に移動するのかわかればよかったと記述した。これは, 説明の段階でカメラボタンと視点の位置関係の理解を確認することで改善すると考えられる。項目 3., 4. はすべての被験者から高評価を得た。リストボタンはユーザにとって利用しやすいといえる。一方で, セーブした際のリアクションがほしかったという意見があった。ボタン押下時に視覚効果を付与することで, 直感性が向上すると考えられる。項目 5. はすべての被験者から高い評価を得た。被験者は複数のオブジェクトに対し, 自然な動作で操作できたといえる。項目 6. はすべての被験者から高い評価を得た。現実のオブジェクトを利用する提案システムの UI は直感的かつ自然な操作性を持つといえる。項目 7. はすべての被験者から高い評価を得た。提案 UI を備えた家具配置シミュレーションシステムは家具や間取りの決定に有用

であるといえる。項目 8. はすべての被験者から高い評価を得た。入出力画面間の位置合わせが適切であり、被験者が直感的に家具の位置関係を把握できたといえる。項目 9., 10. はすべての被験者から高い評価を得た。視覚効果により、ユーザが直感的に位置関係を把握できたといえる。

今回の実験では、被験者の属性と評価結果に強い相関は得られなかった。店頭での家具購入時に自分の部屋に置く場面を想像しにくかった経験は、システムの評価に影響しなかったといえる。

5.3.2 無線 LAN 反射波の可視化システム

表 2 をもとに考察する。

項目 1. はすべての被験者から高い評価を得た。このことから画面の構成は適切だったといえる。項目 2. はすべての被験者から高い評価を得た。3次元空間での可視化は、直感的な電波進路の把握に有用だといえる。項目 3. はすべての被験者から高い評価を得た。システム全体を通して直感的であるといえる。項目 4. はすべての被験者から高い評価を得た。提案 UI を備えた電波進路可視化システムは電波進路の理解と無線基地局設置の検討に有用であるといえる。項目 5. はすべての被験者から高い評価を得た。入出力画面間の位置合わせが適切であり、被験者が直感的に無線基地局の位置を把握できたといえる。項目 6. はすべての被験者から高い評価を得た。図面上の位置とカメラボタンの位置に整合性を持たせたため、被験者はボタンと視点の位置関係を容易に把握できたといえる。項目 7. はすべての被験者から高い評価を得た。タグオブジェクトを利用した無線基地局操作はユーザにとって直感的であったといえる。

今回の実験では、被験者の属性と評価結果に強い相関は得られなかった。無線基地局の設置に悩んだ経験の有無は、システムの評価に影響しなかったといえる。

6. 結論

本研究では、人間にとって自然な動作でシステムを操作できる、仮想空間提示に適した UI を提案した。提案 UI は入力デバイスであるディスプレイ上での利用者の操作を取得し、かつ、利用者が操作する有形オブジェクトを認識することで、仮想空間の提示により適合させる。また、UI を備えたアプリケーションとして家具配置シミュレーションシステムと無線 LAN 電波の進路可視化システムを実装した。

アンケート結果から、家具配置シミュレーションは家具や間取りを決定する際に有用であり、無線 LAN 電波の進路可視化システムは電波進路の理解と無線基地局設置の検討に有用であると結論付けられる。また、全体を通して提案 UI は人間にとって自然な動作でシステムを操作できる直感性を持つと結論付けられる。

今後の課題として、より多くの被験者をとること、視覚からの没入感に関しても実験を行うこと、用途の異なるアプリケーションを実装し有用性を検証することが挙げられる。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 No.24500129, 中央大学理工学研究所共同研究, 中央大学基礎研究費の助成を受けた。

参考文献

- [1] Sherman, W. R. and Craig, A. B.: *Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design*, Morgan Kaufmann (2002).
- [2] Oculus, Oculus Rift Development Kit 2 (DK2), , available from (<https://www.oculus.com/en-us/dk2/>) (accessed 2016-2-10).
- [3] PlayStation VR, , available from (<http://www.jp.playstation.com/psvr/>) (accessed 2016-2-10).
- [4] Digi-Capital, Augmented/Virtual Reality to hit \$150 billion disrupting mobile by 2020, , available from (<http://www.digi-capital.com/reports/>) (accessed 2016-2-10).
- [5] IVRC2015, , available from (<http://ivrc.net/2015/>) (accessed 2016-2-10).
- [6] MIT Media Lab, Tangible Media Group, , available from (<http://tangible.media.mit.edu/vision/>) (accessed 2016-2-10).
- [7] Patten, J. and Ishii, H.: Mechanical Constraints As Computational Constraints in Tabletop Tangible Interfaces, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '07, New York, NY, USA, ACM, pp. 809–818 (online), DOI: 10.1145/1240624.1240746 (2007). <http://doi.acm.org/10.1145/1240624.1240746> (Accessed: 2014-11-19).
- [8] 聖史 森, 孝美安田, 茂樹横井: 異機種コンピュータ間の仮想現実環境共有作業システムの開発, 電子情報通信学会技術研究報告. MVE, マルチメディア・仮想環境基礎, Vol. 97, No. 597, pp. 53–60 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110003270552/>) (1998).
- [9] Ascension Technology Corporation, Wanda, , available from (<http://www.ascension-tech.com/realtime/WANDA.php>) (accessed 2016-2-10).
- [10] INITION London, 3D Software — VRCO Range, , available from (<https://www.inition.co.uk/product/vrco-range-3/>) (accessed 2016-2-10).
- [11] Martinet, A., Casiez, G. and Grisoni, L.: The design and evaluation of 3D positioning techniques for multi-touch displays, *3D User Interfaces (3DUI), 2010 IEEE Symposium on*, pp. 115–118 (online), DOI: 10.1109/3DUI.2010.5444709 (2010).
- [12] SAMSUNG, Samsung SUR40 with Microsoft®PixelSense™. サムスン業務用大型ディスプレイ, , 入手先 (<http://www.samsung.com/jp/consumer/computersperipherals/monitors/lfdlcl/LH40SFWTGC/XJ>) (参照 2016-2-10).
- [13] SAMSUNG, Digital Signage, , available from (<http://www.samsung.com/us/business/displays/digital-signage/>) (accessed 2016-2-10).
- [14] Wanadev. , Wanaplan, , available from (<http://www.wanaplan.com/en/>) (accessed 2016-2-10).
- [15] 総務省, 統計調査データ: 通信利用動向調査: 報道発表資料, , 入手先 (<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/statistics05a.html>) (参照 2016-2-10).
- [16] ekahau, HeatMapper — Free Wi-Fi coverage mapping software for homes and small offices., , available from (<http://www.ekahau.com/wifidesign/ekahau-heatmapper>) (accessed 2016-2-10).