

## VR空間における操作者の姿勢に基づく指示方向推定

井村 誠 孝<sup>†</sup> 武田 直 之<sup>†</sup>, 佐々木 博 史<sup>††</sup>  
 安室 喜 弘<sup>†</sup> 眞 鍋 佳 嗣<sup>†</sup> 千 原 國 宏<sup>†</sup>

本論文では、VR空間における作業対象物体と操作者間の円滑な相互作用を実現するために、操作者の姿勢に基づき指示方向を推定する手法について提案する。提案手法では、指示方向を、操作者の複数の身体部位と人差し指の先端を結ぶ方向の重み付け平均として表現する。この重みを収束計算で求めることにより、個人・方向・距離によって生じる差を吸収し、指差し方向を推定することを可能にする。実験から、提案手法が操作者の意図している指示方向を約3度の精度で推定でき、VR空間での対象物体の直接操作に有効であることが示された。

### Estimation of Pointing Direction Based on Operator's Posture in VR Space

MASATAKA IMURA,<sup>†</sup> TADAYUKI TAKEDA,<sup>†</sup> HIROSHI SASAKI,<sup>††</sup>  
 YOSHIHIRO YASUMURO,<sup>†</sup> YOSHITSUGU MANABE<sup>†</sup>  
 and KUNIHIRO CHIHARA<sup>†</sup>

We propose the estimation method for pointing direction from users' posture to establish smooth interaction between users and virtual objects in virtual reality space. We describe the pointing direction as weighted average of reference directions which connect between some parts of user's body and the fingertip of index finger. The weights, which depend on individuals, direction and distance, are estimated through repetitive calculation. The experiments reveal that the proposed method can estimate the direction which users intend to point accurately.

#### 1. はじめに

バーチャルリアリティ (Virtual Reality; VR) という言葉が 1980 年代後半に提唱されて以来、VR 技術は多くの分野へ応用され、その概念は一般にも認識されるようになった。VR 空間を現実空間を模した高精細な映像により提示することで、操作者は現実以上の広さを持つ VR 空間の中で現実空間でのメタファを利用した直観的な作業が可能となり、通常の 2 次元ディスプレイ上で作業を行うよりも作業効率が向上する。この利点を活かすために、VR 空間内に提示された視覚情報に対して操作者の動作によるはたらきかけを実現しようとする取り組みが数多くみられる<sup>1)~3)</sup>。

VR 空間内では、空間内の任意の物体に対して、操

作者の意志を反映させることができるため、実空間では不可能な直接手の届かない物体に対するインタラクションも可能である。すなわち、遠方の対象物体を指示するだけでなく、指し示した対象に対して、操作者の周囲にある物体に直接施す操作と同じような操作を行うことが可能である。このような作業を実現するためには、遠隔地に置かれた対象物体を正確に特定する技術が必要である。VR 空間内で遠隔地にある物体を指定する手法に関しては様々な研究がなされているが<sup>4)~6)</sup>、本研究では、現実空間における対象の指示動作として一般的な指差し動作の実現を目標とする。

現実空間における指差し姿勢において、実際に指の延長上に対象物が存在している場合は稀である。相手が人間である場合は、言語や身振りなどによる対象物の情報の補足によって、指差し方向のあいまい性を補うことにより、対象物を正しく推定できる。しかし VR 空間においては、操作者の意志を伝えるべき相手はシステムであるため、客観的に観測できる操作者の指示姿勢から、操作者の意図している指示方向を正しく推定しなければならない。

<sup>†</sup> 奈良先端科学技術大学院大学

Nara Institute of Science and Technology

<sup>††</sup> 神戸大学

Kobe University

現在、株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ

Presently with NTT DoCoMo, Inc.

本論文では、操作者の位置姿勢に基づいて、VR空間内で操作者が意図している指示方向を推定する手法を提案する。また試作システムを用いた評価実験を通して行った提案手法の有効性の検証について述べる。

## 2. 関連研究

人間の指示方向を示す直線は、身体内部のある点を基準点とし、その基準点と指示を行う指先とを結ぶ直線で近似できると報告されている<sup>7)</sup>。しかし、指示基準点には個人差があり、また指示者から見た対象への方位や距離によって指示基準点は変化することが報告されている<sup>8)</sup>。したがって、個人・方位・距離によって生じる差を解消する基準点を一意に決定することはできない。この事実に基づき新たに基準面を導入した研究<sup>9)</sup>もあるが、考慮している自由度は腕の角度のみであり、没入空間での操作者の自由な動作と相容れない。

操作者の身体動作から指示方向を認識し、遠隔対象とのインタラクションに用いられてきた研究として、佐藤らによるハンドポインタ<sup>10)</sup>や山口らによるドーム型ディスプレイへの実装例<sup>11)</sup>がある。しかし、これらの研究は、所定の身体部位を結ぶ直線上に表示されたカーソルを、操作者の身体動作によって操作することでインタラクションを実現している。提示されるカーソルの位置は、操作者の意図する指示方向とは必ずしも一致しないため、操作者は直感的な指示動作で目的の対象にはたらきかけることができない。

## 3. 提案手法

本研究では、指示を行う指先と、あらかじめ定めたいくつかの身体部位によって決まる複数の基準方向を統合的に用いて、操作者が意図している指示方向を推定する。指示方向の起点は指先であるとする。

### 3.1 指示基準点

人間は対象物を目で確認して指示を行っていることから、指示動作では頭部の位置情報が重要な役割を果たすと考えられる。また、指示動作を行う際に変化をともし腕および手の位置情報も重要である。

以上をふまえて、提案手法では、基準方向を定める身体部位として頭部中央(両眼の midpoint とする)・肘・手首を用いる。これら3カ所の基準点と指先を結ぶ直線から、3つの基準方向を算出する(図1)。

### 3.2 指示方向の推定モデル

操作者が意図している指示方向は、3つの基準方向がなす三角錐内に存在するものと想定し、基準方向ベクトルの重み付き平均で表す。

操作者の前方に正対し指示対象物を通る仮想的な平

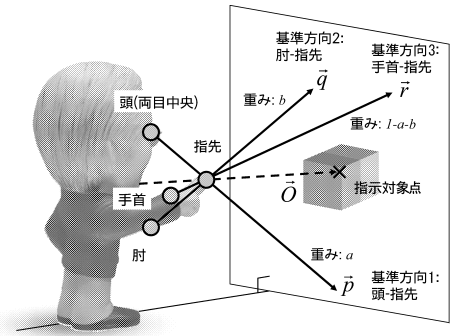


図1 基準方向と重み付けパラメータ

Fig.1 Reference directions and weight parameters.

面を考え、基準方向1(頭-指先)、基準方向2(肘-指先)、基準方向3(手首-指先)との交点を  $\vec{p}$ ,  $\vec{q}$ ,  $\vec{r}$  とする。このとき、指示方向  $\vec{O}$  を、

$$\vec{O} = a\vec{p} + b\vec{q} + (1 - a - b)\vec{r} \quad (1)$$

で表されるものとする(図1)。 $a$ ,  $b$  は各基準方向の重みを決定する重み付けパラメータである。重み付けパラメータ  $a$ ,  $b$  は、指示方向や個々の操作者の姿勢に依存して変化すると予想される。

提案する推定手法は、

- (1) 事前のキャリブレーション処理による指示方向に対する適切な重み付けパラメータの算出
  - (2) 操作者の指示姿勢に基づいた指示方向の算出
- の2つの部分から構成される。以下では、各部分の処理手順について述べる。

### 3.3 キャリブレーション

キャリブレーションは、重み付けパラメータのうち位置が既知の点に対するもの(基準パラメータと呼ぶ)の算出と、その補間の2つの処理によって構成される。

まず、格子状に配置された位置が既知の指示対象点を操作者に対して提示し、操作者は提示された点を順次指し示す。指示対象点ごとに、操作者の姿勢が計測され、基準方向  $\vec{p}$ ,  $\vec{q}$ ,  $\vec{r}$  と指示方向  $\vec{O}$  が求められる。これらを式(1)に代入し、 $a$ ,  $b$  について解くことで、各指示対象点における基準パラメータを求める。

次に、基準パラメータの値を線形補間することにより、提案システムによって指示が可能な領域(指示領域)内部の任意の点での重み付けパラメータを求める。

以上の手順により、指示領域内部の任意の指示方向  $\vec{O}$  に対する操作者固有の重み付けパラメータ  $a$ ,  $b$  を求めることができる。

### 3.4 姿勢からの指示位置の算出

前節の手順により、指示方向  $\vec{O}$  に対する重み付けパラメータが求められるが、操作者の姿勢計測だけで

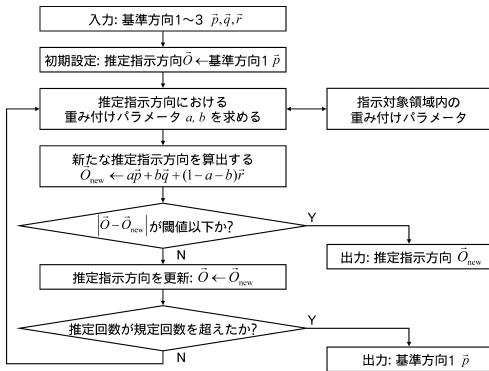


図 2 指示方向推定処理の流れ

Fig. 2 Processes of direction estimation.

は指示方向は未知であるため、重み付けパラメータを直接決めることはできない。本節では操作者の指示姿勢に対して、指示方向を算出する方法について述べる。

本手法では、繰返し計算により指示方向を推定する。推定の手順を図 2 に示す。詳細は次のとおりである。

- (1) 操作者の姿勢計測結果から、基準方向 1~3 ( $\vec{p}, \vec{q}, \vec{r}$ ) を求める。
- (2) 基準方向 1 を推定指示方向  $\vec{O}$  の初期値とする。
- (3) 推定指示方向  $\vec{O}$  における重み付けパラメータ  $a, b$  を求める。
- (4) 求めた重み付けパラメータと基準方向 1~3 を用いて、新たな推定指示方向  $\vec{O}_{new}$  を求める。
- (5)  $\vec{O}$  と  $\vec{O}_{new}$  の差が閾値以下の場合、計算が収束したものとし、 $\vec{O}_{new}$  を推定結果とする。
- (6) 推定指示方向  $\vec{O}$  を  $\vec{O}_{new}$  で更新する。
- (7) 計算が収束しない場合を想定し、繰返し計算の回数が規定回数を超えた場合は、基準方向 1 を指示方向の推定結果として出力する。
- (8) (3) に戻り、収束するまで計算を繰り返す。

以上の処理により、姿勢に対応した適切な重み付けパラメータが決定され、操作者の意図している指示方向を推定することができる。

#### 4. 実験システム

提案手法の有効性を検証する実験を行うにあたって構築したシステムの構成を図 3 に示す。

映像提示装置として、操作者の周囲 330 度を覆う直径 6m の円筒型スクリーンとグラフィクスワークステーション (SGI 製 Onyx 3800) を用いる。液晶シャッター眼鏡による時分割方式により、操作者に立体映像を提示する。映像の提示および指差し方向の推定は秒間 48 回である。

操作者の位置姿勢の計測には、操作者の自由な行動

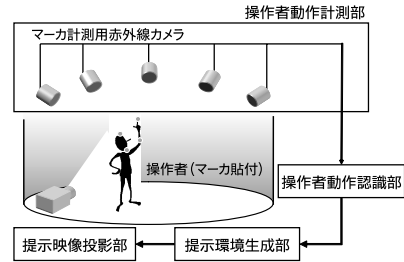


図 3 システム構成

Fig. 3 System configuration.



- ◇ : 基準方向の算出に用いるマーカー
- ◇ : その他の用途に用いるマーカー

図 4 マーカーの貼付位置

Fig. 4 Positions of markers.

を妨げず、身体動作を非接触な方法で計測可能な、赤外線カメラを用いた光学式モーションキャプチャシステム (Vicon Motion Capture 製 VICON512) を用いた。姿勢計測回数は秒間 120 回である。赤外線反射マーカー (直径 20mm) を身体の 8 カ所 (シャツタメガネ上部 2 カ所、両肩、右肘、右手首内側、右示指先端、右拇指先端) に貼付し (図 4)、位置を計測した。

#### 5. 基準パラメータ推定実験

本実験では、3.3 節で述べた手法を用いて、個人・方向・距離に応じて変化する指差し姿勢の、それぞれの場合において指示方向を算出する適切なパラメータを別個に推定可能であることを確認する。

##### 5.1 実験方法

被験者は、所定の位置にマーカーを装着し、円筒型スクリーンの中央に立つ。足の位置を固定し、指示動作は上半身のみで行うよう要請した。

VR 空間内に図 5 のような 9 つの立方体を提示し、立方体の中心を左上から右下へと番号順に指差してもらった。立方体の大きさは遠方に物体を置いた際の視認性を考慮して 0.4m とした。スクリーンにはシステムが認識している指示方向を示すカーソル類は提示しない。対象を順次指差す動作を各 3 回繰り返してもらい、計 27 回の指示姿勢を計測した。指示は被験者の自由な姿勢で行ってもらい、指示の確定条件は、対象物の指示後、約 1 秒間静止した場合とした。

被験者から指示対象までの距離は 1.5m, 2.0m, 2.5m, 3.0m, 4.5m, 6.0m の 6 段階で変化させた。

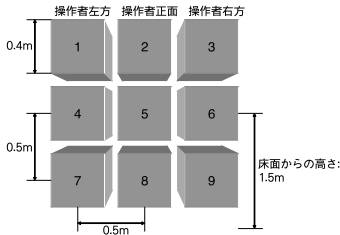
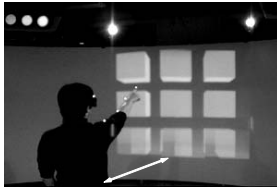


図 5 基準パラメータ推定実験の指示対象物

Fig. 5 Target objects for experiment of reference parameter estimation.



被験者と物体までの距離: 1.5~6.0m

図 6 基準パラメータ推定実験の様子

Fig. 6 Scene of experiment of reference parameter estimation.

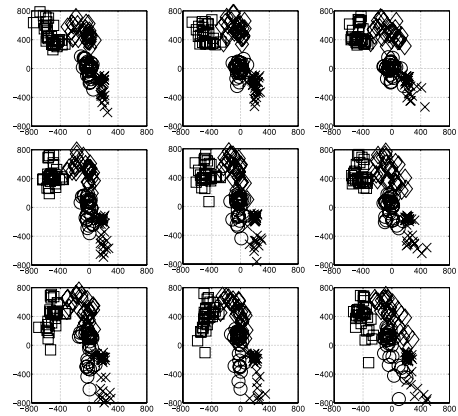
被験者を 2 グループに分け，一方は指示対象を近くから遠くへ，もう一方は指示対象を遠くから近くへと距離を変化させた．被験者は 20 代男女 15 名（右利き 13 名，左利き 2 名）である．実験の様子を図 6 に示す．

5.2 結 果

対象までの距離が 3.0m の場合に，被験者全員に対して試行ごとの基準パラメータを算出し，求められた基準パラメータの平均値を用いて各試行での指示方向を求めた結果を図 7 に示す．中央が指示対象の中心位置であり，基準方向 1 で得られた指示点を  $\times$ ，基準方向 2 で得られた指示点を  $\circ$ ，基準方向 3 で得られた指示点を  $\square$ ，提案手法で推定された指示点を  $\diamond$  で示している．各グラフの位置は提示した指示対象物の位置に対応している．対象の中心を原点とした直径 0.3m の円を誤差の目安として示す．

続いて，基準パラメータを被験者ごとに算出し，指示点を推定した結果を被験者のうち 2 名について示す（被験者 A：図 8，被験者 B：図 9）．被験者 A は指差し姿勢が安定していた例，被験者 B は多様な姿勢をとった例である．被験者 A に対するパラメータ  $a$ ， $b$  の値を表 1 に示す．

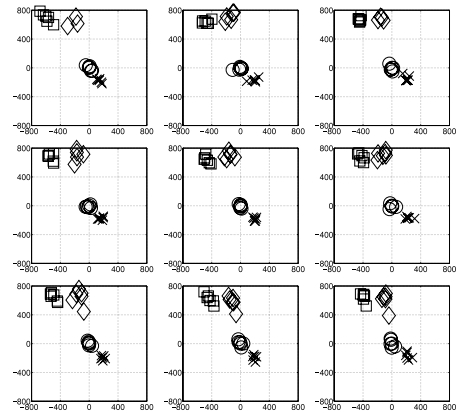
次に，前述の被験者 A について，被験者から対象までの距離を変化させた際の，各方位での基準パラメータの変化の様子を示す（図 10）．各グラフの位置は指示対象物の位置に対応しており，実線がパラメータ  $a$ ，破線がパラメータ  $b$  の値である．



: 提案手法  $\diamond$  ; 基準 1  $\times$  ; 基準 2  $\circ$  ; 基準 3  $\square$  (単位: mm)

図 7 全被験者データを用いた指示点推定結果

Fig. 7 Result of estimation from all examinees.



: 提案手法  $\diamond$  ; 基準 1  $\times$  ; 基準 2  $\circ$  ; 基準 3  $\square$  (単位: mm)

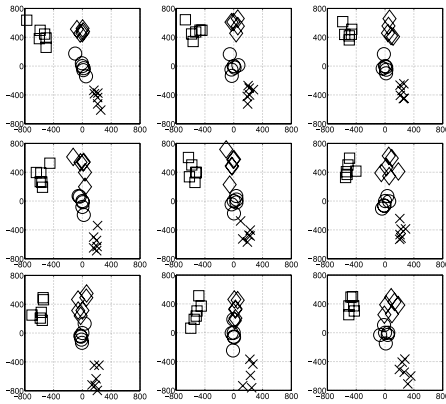
図 8 被験者ごとの指示点推定結果 (被験者 A)

Fig. 8 Result of estimation from individual examinee (Examinee A).

5.3 考 察

図 7 の結果から，全被験者に共通の重み付けパラメータを求め指示方向を推定した場合は，大きな誤差が発生しており，隣接する物体を指し示していると誤って推定する可能性があることが分かる．一方，図 8 および図 9 で示した，被験者ごとにパラメータを求めて指示方向を推定した結果は，対象点周辺に有効な指示推定点が得られている．これより，個人ごとに重み付けパラメータを求め，指示点を推定することで，個人による指示姿勢の差が解消できることが分かる．

また，表 1 で示した，各方位での指示動作にともなう基準パラメータは，パラメータ  $a$ ， $b$  とともに方位によって差が生じている．頭と指先を結ぶ方向を基準とするパラメータ  $a$  が比較的大きな値となったことから，指示動作が視線に強く依存していることが推測さ



：提案手法 x：基準 1 o：基準 2 +：基準 3 (単位：mm)

図 9 被験者ごとの指示点推定結果 (被験者 B)

Fig. 9 Result of estimation from individual examinee (Examinee B).

表 1 方向別の基準パラメータ (被験者 A)

Table 1 Reference parameters of Examinee A.

1		2		3	
a: 0.759	b: 0.099	a: 0.779	b: 0.148	a: 0.805	b: 0.128
4		5		6	
a: 0.807	b: 0.093	a: 0.817	b: 0.138	a: 0.805	b: 0.183
7		8		9	
a: 0.793	b: 0.134	a: 0.827	b: 0.174	a: 0.830	b: 0.141

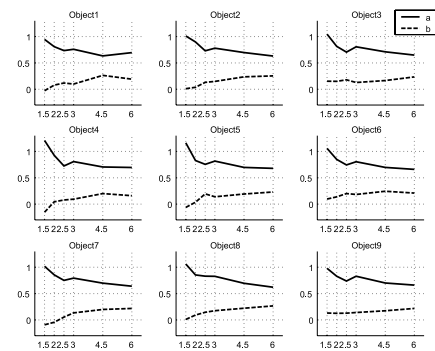


図 10 距離にともなう基準パラメータの変化 (被験者 A)

Fig. 10 Reference parameters' dependence on distance (Examinee A).

れる．一方、肘の位置に関するパラメータ  $b$  は、パラメータ  $a$  と比べると値そのものは大きくはないが、方位による変動の割合が大きい．右手を用いて指示動作を行う際は、パラメータ  $b$  は正面よりも右方向では大きく、正面よりも左側では小さくなる傾向が見られる．これより、人間の指示動作は、正面よりも指示腕の方向では、肘と指先を結ぶ方向が意図した指示方向に近くなるのが分かる．

次に、操作者から対象までの距離を変化させたときの重み付けパラメータの変化の様子を見てみると、

2.5 m までの比較的近距离では、視線に係する重み付けパラメータ  $a$  が 1.0 に近い値を示している．操作者と対象までの距離が近い場合は、指し示すというよりも、むしろ直接接触して選択するという感覚に近いので、視点と指先とを結ぶ直線で指示直線が近似できるものと考えられる．一方で、3.0 m 以上の遠距離では、重み付けパラメータは比較的变化せず一定の値を示した．

これより、比較的近距离での指示方向は、ほぼ視点と指先とを結ぶ直線で近似できると考えられ、遠隔の対象に対しては、距離に依存しないほぼ同一の重み付けにより指示方向を推定できると考えられる．

複数の基準方向を用いる提案手法の優位性を調べるため、提案手法による指示方向と、基準方向 1 (頭指先) の指示方向のそれぞれに対して、被験者ごとに平均点からのずれの平均および分散を求め、T 検定を行った．被験者 A に関しては有意性が確認できなかったが、被験者 B に関しては  $\alpha = 0.11$  で有意となり、複数の基準方向を用いることで指示方向のばらつきを抑えることが可能となっていること、および、被験者ごとにばらつき方に差があることが示された．

## 6. 指示操作の認識精度評価実験

連続的な動作である操作者の指示動作を逐次正しく認識するためには、重み付けパラメータを操作者の姿勢に対して連続的に割り当て、操作者の意図する指示方向を推定する必要がある．本実験の目的は、3.4 節で提案した指示方向推定手法が重み付けパラメータを適切に推定できることを確認することである．

### 6.1 実験方法

被験者を円筒型スクリーンの中心位置に立たせ、前後左右への場所の移動は前実験と同様に制限した．

被験者前方 (3.0 m) の指示領域 (左右  $\pm 0.5$  m, 上端・下端の高さがそれぞれ 2.0 m, 1.0 m) の端点として、左上, 右上, 左下, 右下に 4 つの対象を提示し、順に指示させて基準パラメータを得た．求められた基準パラメータから重み付けパラメータを補間により算出した．

次に、VR 空間内で前方 3.0 m の位置に 1 辺 0.4 m の立方体を指示対象として表示し、その指示対象を、領域内をおしなべて滑らかに移動するように、リサージュ図形 (図 11) に沿って移動させた．被験者には移動する対象の中心を連続的に指示するように要請し、指示中の身体動作を計測した．スクリーンにはシステムが認識している指示方向を示すカーソル類は提示しない．身体動作から計算された基準方向 1~3 と提案

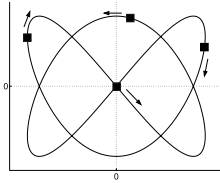


図 11 対象物体の移動軌跡

Fig. 11 Moving path of target object.

表 2 提案手法および基準方向 1~3 による指示方向の誤差  
Table 2 Errors of estimation.

	提案手法	頭-指先	肘-指先	手首-指先
誤差	118 mm	287 mm	853 mm	762 mm
標準偏差	49 mm	70 mm	107 mm	110 mm

手法により推定された指示方向について、対象の位置との誤差を計算した。被験者は 20 代男女 5 名（右利き 5 名）である。

## 6.2 結 果

計測した指示動作より計算した指標 1~3 および提案手法により推定された指示方向と対象物体の中心との誤差を計算し平均値を求めた結果を表 2 に示す。

## 6.3 考 察

各手法の分散について等分散性の検定を F 検定により行った結果、提案手法の分散は有意水準  $\alpha = 0.001$  で他の手法に比べて小さいことが分かった。また誤差の平均について Welch の T 検定を行ったところ有意水準  $\alpha = 0.01$  で提案手法の誤差の平均が他の手法に比べて小さいことが確認でき、提案手法が適切な指示方向を推定できていることが分かる。

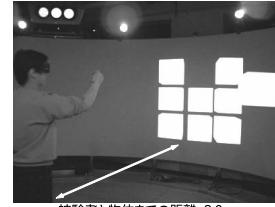
本実験の結果から、提案手法が指示可能領域内において、指示方向の推定を誤差 15 cm 内で行えていることが確認できた。提案手法により指示可能な物体の大きさ（3 m 先の 1 辺 0.3 m の物体）は、角度に直すと対象の中心から各方位約 3 度の大きさに相当する。したがって、方位によって各指標の重みを適切に変化させ、指示方向の推定を行う提案手法は、安定した指示操作の実現に有効である。

## 7. 試作システムによるユーザビリティ評価

本実験では、3 次元的な作業タスクにおいて試作システムとその他の操作システムを用いたユーザビリティ評価実験を行い、提案手法を用いた指差しによる対象物指示の有効性について検討する。

### 7.1 実験方法

試作システムの VR 空間提示環境において、被験者に仮想物体を指示・選択・移動する作業を与え、作業を終えるまでの時間を計測した。



被験者と物体までの距離: 3.0m

図 12 試作システムの評価実験の様子

Fig. 12 Scene of experiment of prototype system.



図 13 アナログコントローラの操作方法

Fig. 13 Instruction of analog controller.

被験者の前方 3.0 m の位置に、作業対象として 1 辺が 0.4 m の立方体を図 5 と同様に 9 つ配置した。物体を移動させる目標地点（直径 0.4 m）を被験者の右方向 3.0 m、高さ 1.5 m の位置に配置し、作業対象物体の中心が球体内部に入ったときに移動完了とした。9 つの対象物体を移動させる順番はランダムに設定した。

作業対象物体・指示物体・選択物体をそれぞれ青色・黄色・赤色に変化させることで視覚的フィードバックを与えた。実験の様子を図 12 に示す。

以下の 3 つの入力方法を用意し、被験者ごとにランダムな順序で各 1 回ずつ試行した。

- (1) アナログコントローラ
- (2) 身体動作 1（視線方向を指示方向とする）
- (3) 身体動作 2（提案手法により指示方向を推定する）

アナログコントローラを用いた入力方法では、被験者にはフィールドに表示されるカーソル（直径 0.2 m の球）をスティックにより動かし指示および移動の操作を行った。操作者の位置をフィールド中央の高さ 1.5 m の位置とし、操作者の位置とカーソルとを結ぶ直線を指示方向とした。カーソルの移動は、円筒型スクリーンの中央から作業対象群を向いた方向を正面とし、左スティックを上下左右の移動に対応させた。選択動作はボタンの押下とした（図 13）。

身体動作 1 および 2 を用いた入力方法では、人差し指で対象を指差す動作で指示を行った。身体動作 1 では、両眼の中心と人差し指を結ぶ直線を指示方向とし、身体動作 2 では、提案手法を用いて、視点位置、腕の位置、手の位置、人差し指先端の位置から指示方向を推定した。選択動作は共通とし、手を閉じる動作を選

択動作とした。身体動作 1 および 2 においては、カーソルを表示した場合と表示しない場合との 2 つの条件で実験を行った。カーソルは指示推定点と人差し指先端の中間地点に表示した。身体動作 1 および 2 においては、カーソルを表示させたタスクの直後に、カーソルを表示させないタスクを行った。

すべての入力方法において、選択された対象は選択が解除される（ボタンが離される、もしくは手が開く）までの間、カーソルまたは人差し指先端の変化量に応じて移動させた。被験者は 20 代男女 6 名（右利き 5 名、左利き 1 名）である。

## 7.2 結 果

各操作方法において、カーソルを表示させた際の各物体の移動にかかった平均時間と、作業対象が提示されてから最初に作業対象の選択が行われるまでの平均時間を、表 3 に示す。

身体動作 1 および 2 の、カーソルを表示した場合と表示しない場合それぞれに対して、各物体の移動にかかった平均時間と、作業対象が提示されてから作業対象の選択が行われるまでの平均時間を、表 4 に示す。

## 7.3 考 察

表 3 より、実験で設定した作業タスクにおいては、アナログコントローラを用いた操作よりも身体動作を用いた操作の方が、より短い時間で作業ができたことが分かる。また作業対象が提示されてから最初の作業対象の選択が行われるまでの時間についても同様の傾向が見られた。

作業時間に関して T 検定を行った結果、提案手法とアナログコントローラを用いた手法の間には  $\alpha = 0.01$  で有意な差がみられ、提案手法の優位性が示された。

被験者からの意見として、アナログコントローラを用いたカーソルの移動は、移動の方向とレバーの操作の方向を対応付けるのが困難であったという意見を得た。一方、身体動作を用いた操作に関しては、自分の思う方向にカーソルを動かすことができ、ストレスなく操作ができたという意見が多かった。

表 4 より、カーソルの有無にかかわらず、提案手法を用いた身体動作 2 が短い時間でタスクを完了していることが分かる。提案手法の適用による身体動作 1 からの所要時間の向上を、身体動作 1 と身体動作 2 の時間差を身体動作 1 の所要時間で割った値で評価すると、カーソルがない場合の方が大きく向上している。これは、提案手法による推定指示方向が、被験者が意図する指示方向と最初からほぼ一致している一方で、身体動作 1 では認識された指示方向と被験者の意図する指示方向にずれが生じているため、操作者が補正量

表 3 操作方法による所要時間の比較

Table 3 Comparison of amount of time required.

期間	タスク完了	最初の選択まで
アナログコントローラ	17.7 秒	7.6 秒
身体動作 1	11.1 秒	5.4 秒
身体動作 2	9.5 秒	4.4 秒

表 4 カーソルの有無による所要時間の比較

Table 4 Comparison of amount of time required.

期間	タスク完了		最初の選択	
	有	無	有	無
身体動作 1	11.1 秒	9.4 秒	5.4 秒	5.1 秒
身体動作 2	9.5 秒	7.9 秒	4.4 秒	3.1 秒
差	1.6 秒	1.5 秒	1.0 秒	2.0 秒
向上率	14%	16%	18%	35%

を把握するために時間がかかるためと考えられる。

また、カーソルを表示しない方が操作に要する時間が短くなる点については、カーソルが表示されない場合は、指差し方向と対象物との関係のみを考えて身体動作を行うのに対し、カーソルが表示されることで指差し方向とカーソル、カーソルと対象物というカーソルを介した間接的な関係が生じるため、ユーザが考えるべき要因が増大したことが原因と考えられる。

## 8. おわりに

本論文では、VR 空間における直観的な対象物体の指示を実現するために、VR 空間内で操作者の姿勢から意図している指示方向を推定する手法を提案した。

推定手法では、操作者の意図する指示方向を、指示を行う指先と、頭部中央・肘・手首とを結ぶ基準方向の重み付け平均として表現し、事前のキャリブレーションと姿勢に基づいた繰返し計算によって、個人・方向・距離に依存した重み付けパラメータを算出した。

実験により、提案手法を用いることで操作者の意図する指示方向を精度良く推定できることが示された。また、個人や方向による指し示し方の違いを重み付けパラメータで吸収することにより、方向に依存しない指示精度を実現した。試作システムを用いたユーザビリティ評価からは、VR 空間内にカーソルを表示することなく対象物を指示できるだけの推定精度があることが示された。

本提案手法を取り入れることで、VR 技術を応用したアプリケーションにおいて、操作者と VR 空間とのインタラクションをより円滑に行うことが可能になることが期待される。

## 参 考 文 献

- 1) Cutler, L.D., Frolich, B. and Hanrahan, P.: Two-Handed Direct Manipulation on the Responsive Workbench, *Symposium on Interactive 3D Graphics*, pp.107–114 (1997).
- 2) O'Hagan, R.G., Zelinsky, A. and Rougeaux, S.: Visual gesture interfaces for virtual environments, *User Interface Conference*, pp.73–80 (2002).
- 3) 浅井紀久夫, 大澤範高, 杉本裕二, 田中儀明: 没入型ディスプレイにおける身体動作を利用したインタフェースの検討, 電子情報通信学会技術研究報告. MVE., Vol.2001, No.1-17, pp.79–84 (2001).
- 4) Bowman, D.A., Johnson, D.B. and Hodges, L.F.: Testbed Evaluation fo Virtual Environment Interaction Techniques, *Presence*, Vol.10, No.1, pp.75–95 (2001).
- 5) Forsberg, A., Herndon, K. and Zeleznik, R.: Aperture Based Selection for Immersive Virtual Environments, *Proc. ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp.95–96 (1996).
- 6) Wesche, G.: The ToolFinger: supporting complex direct manipulation in virtual environments, *Proc. Int. Workshop on Immersive Projection Technology*, pp.39–45 (2003).
- 7) Fukumoto, M., Suenaga, Y. and Mase, K.: Finger-pointer: Pointing Interface by Image Processing, *Computer & Graphics*, Vol.18, No.5, pp.633–642 (1994).
- 8) 田中宏一, 和田俊和, 松山隆司: 3次元人体形状計測に基づく指差し動作の解析, 情報処理学会 CVIM 研究会, Vol.2002, No.34, pp.125–132 (2002).
- 9) 間下以大, 岩井儀雄, 谷内田正彦: 人物の指示動作による指示方向のモデル化と推定, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.6, No.1, pp.41–48 (2004).
- 10) 佐藤 信, 坂根茂幸: 実空間にマークを投影するインタラクティブ・ハンドポイントの構成, 電気学会論文誌, Vol.121-C, No.9, pp.1464–1470 (2001).
- 11) 山口 健, 波部 斉, 松山隆司: ドーム型ディスプレイによる全方位ビデオのインタラクティブ表示, 情報処理学会 CVIM 研究会, Vol.2003, No.41, pp.67–72 (2003).

(平成 18 年 6 月 21 日受付)

(平成 18 年 12 月 7 日採録)



井村 誠孝

2001 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。同年同研究科助手, 現在に至る。人工現実感に関する研究に従事。日本 VR 学会等各会員。博士(工学)。



武田 直之

2005 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了。同年株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ入社。在学中, VR 空間におけるヒューマンコンピュータインタラクションの研究に従事。修士(工学)。



佐々木博史

2003 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。同年同研究科 21 世紀 COE プログラム博士研究員。2004 年神戸大学学術情報基盤センター助手, 現在に至る。ウェアラブルコンピュータ, 入力インタフェースに関する研究に従事。日本 VR 学会等各会員。博士(工学)。



安室 喜弘(正会員)

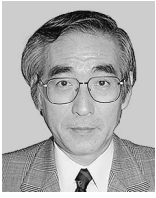
2000 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。同年大阪大学大学院リサーチアソシエイト, 2001 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助手, 現在に至る。コンピュータグラフィクス, 人工現実感に関する研究に従事。IEEE 等各会員。博士(工学)。



眞鍋 佳嗣(正会員)

1995 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程修了。同年同大学基礎工学部助手。1999 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教授, 現在に至る。2001 年ヨエンスー大学客員研究員。質感計測・表現の研究に従事。電子情報通信学会, IEEE 等各会員。博士(工学)。





千原 國宏

1973 年大阪大学大学院基礎工学  
研究科博士後期課程修了．同年同大  
学基礎工学部助手．1983 年同助教  
授．1992 年奈良先端科学技術大学  
院大学情報科学研究科教授，現在に

至る．バーチャルリアリティの応用研究に従事．シス  
テム制御情報学会，日本生体医工学会，IEEE 等各会  
員．工学博士．

---