

# 複合現実感のためのハイブリッド位置合わせ手法 — 6自由度センサとビジョン手法の併用 —

内山 晋二<sup>\*1</sup> 山本 裕之<sup>\*1</sup> 田村 秀行<sup>\*1</sup>

## A Robust Registration Method for Merging Real and Virtual Worlds — Combining 6 DOF Sensor and Vision Algorithm

Shinji Uchiyama<sup>\*1</sup>, Hiroyuki Yamamoto<sup>\*1</sup>, and Hideyuki Tamura<sup>\*1</sup>

**Abstract** — This paper describes a robust registration method for merging real and virtual worlds. This method is a hybrid approach utilizing a 6DOF sensor and a computer vision technique. Error of the 6DOF sensor is corrected by an iterative algorithm that minimizes the sum of distances between landmark positions estimated with the sensory data and their corresponding landmark positions in the captured image. The sensor measurement values are used for identifying markers and as the initial value of the iterative algorithm. By applying this method to practical mixed reality systems, we found that this method achieved robust, accurate and fast registration.

**Keywords** : mixed reality, augmented reality, hybrid registration, iterative algorithm, 6DOF sensor

### 1. はじめに

コンピュータにより生成された仮想空間を現実空間と融合してユーザに提示することにより、空間の情報を相互に補完・増強する複合現実感 (Mixed Reality: MR)[1]技術の発展が目覚ましい。MR 技術のうち、現実空間に仮想空間の情報を付加する技術は、拡張現実感 (Augmented Reality: AR) と呼ばれており、主にシースルーHMD (Head Mounted Display) を用いて融合空間をユーザに提示することで実現される。この技術は、産業応用、エンターテインメント等、様々な分野への応用が期待され注目されている[2]。

MR において、現実空間と仮想空間との位置合わせ問題、すなわち幾何学的整合性問題[3]は、最も重要な研究課題であり、様々な手法が検討されている[4]-[15]。利用者の移動に応じて現実空間と仮想空間の映像をリアルタイムに融合するための様々な工夫がなされている。また、現実環境の照明などの変化や利用者の高速な移動にも対応できるロバストなアルゴリズムが求められている。すなわち、実時間処理の制限のもとで、如何にロバストで高精度な位置合わせを実現するかが課題となっている。

本報告では、この位置合わせ問題に対して、従来コンピュータビジョンの分野で研究されてきた3次元モデルの位置姿勢の繰り返し演算による推定手法[16]を、物

理センサ情報と併用することで上記の条件を満たす新たな手法を実現する。その手法とセンサ情報とを併用することで、ロバストかつ高精度な位置合わせを実時間で処理可能となる。

### 2. 位置合わせ方法

#### 2.1 位置合わせ問題

MR における現実と仮想の位置合わせ問題は、一般に利用者の視点、もしくは利用者が装着した HMD に設置されたカメラの位置と姿勢を如何に正確に計測するかに帰着する。これまで MR の分野で検討されてきた手法は、

- (1) 物理的センサを用いる方法、
- (2) ビジョンベースの方法[5]-[9]、
- (3) 物理センサとビジョンのハイブリッドな方法 [10]-[15]、

に大別できる。

物理センサを用いる手法は、仮想現実感システムにおいて利用されている磁気等を用いた6自由度センサを利用し、頭部の位置姿勢を計測する手法である。磁気センサは、磁気の届く範囲内であれば、非常にロバストに位置姿勢を計測することができ、計測更新レートも十分に高い。しかし、建物等による磁場の影響を受けやすく、一般に MR で用いる十分な計測精度が得られない。

一方、カメラの位置・姿勢を決定する手法は、外部パ

\*1:キヤノン株式会社 MR システム開発センター

\*1: MR Systems Laboratory, Canon Inc.

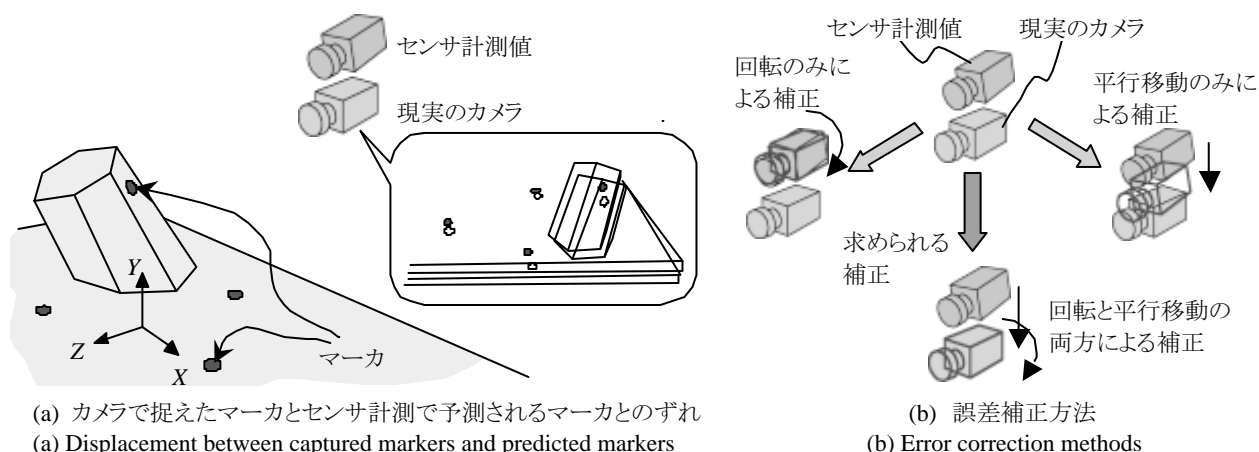


図1 6自由度センサの誤差と補正方法  
 Figure 1 Error correction methods of 6DOF sensor

ラメータのキャリブレーションとして長年コンピュータビジョン分野で研究されてきた。ビジョンベースの手法は、このカメラキャリブレーションをMRに適用する手法である。シーンからの特徴点を高速に抽出するため、人為的なマーカを配置するケースが多い。画像上での情報を基に位置合わせを行うため、見た目上のずれが小さいという特徴がある。一方で、画像特徴のみを用いるため、

- ・個別に識別できるマーカを用いる必要がある[5]、
- ・位置合わせできる領域がマーカの存在する領域に限定され、マーカ抽出に失敗すれば位置合わせ不能になる、
- ・特徴点が平面上にあるなどの幾何拘束が必要な場合がある[8][20]、

など、環境に対する制限要件が多い。近年、3次元位置が未知な自然特徴を用いる試みがなされているが、予め撮影した動画シーケンスに対して後処理を行うものであったり[8]、精度が十分ではない[9]といった段階にある。

## 2.2 物理センサとビジョンのハイブリッドな方法

物理センサの情報とビジョン処理を併用することで、物理センサの情報を画像情報から補正したり、画像処理負荷を軽減する手法などが検討されている。

文献[10]-[13]では、6自由度センサの計測結果を基に画像を用いて補正する方法が提案されている。精度は悪いもののロバストである磁気センサと、画像ベースによる高精度な位置合わせを併用する試みである。3次元位置が既知のマーカをカメラで観察した際、仮にセンサ計測値が正確であれば、センサの計測値から推定されるマーカの画像上での位置と実際カメラに映った位置とは一致する。センサ計測値の誤差により、これらの

位置が一致しない場合に、これらを一致させるようにセンサ情報を補正する方法である(図1)。

しかし、文献[10],[11]の方法は、センサの誤差を回転成分もしくは平行移動成分の何れかのみによって補正している。マーカが1点しかないような場合には、このような方法を探らざるを得ないが、マーカが3点以上あるような場合であっても、それらの情報を有効に利用する手法とはなっていない。

また、文献[12]の方法では、センサ計測値を基に得られるカメラからマーカまでの奥行きとマーカの画面上での位置とを利用して、複数のマーカからカメラの位置姿勢に相当する変換行列を推定する。この方法は、利用するマーカ位置において、誤差が非常に小さくなる方法であるが、得られる変換行列は、回転と平行移動成分のみから成る正規直交変換行列とならないため、歪んだ表示画像を生成してしまう問題がある。

文献[13]は、我々の方法に最も近い方法である。ただし、この方法では、複数色を同心円状に配置しカラーコード化された大きなマーカを用いる必要がある。これは、センサ計測情報をマーカ検出領域の予測のためだけに用いているため、個々のマーカを識別する必要があるためである。すなわち、この方法はビジョンベースの手法と同様な問題を抱えている。

物理センサとビジョンのハイブリッドな方法には、他にも加速度センサと画像を組み合わせる方法[14]や、ジャイロセンサをマーカ検出領域の予測に用いる方法[15]などがある。計測遅延がない、ロバスト性の向上、等を実現しているが、マーカを見失うと復帰できないなどの画像ベースの手法と同様な特徴を持っている。

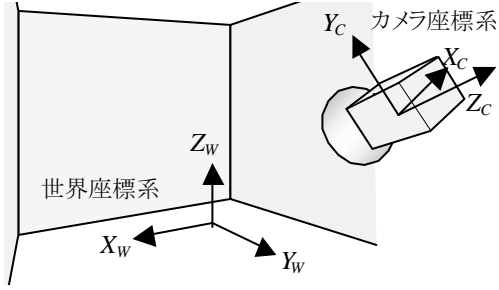


図 2 世界座標系とカメラ座標系

Figure 2 World coordinate system and camera coordinate system

### 2.3 アプローチ

本論文では、6自由度センサの情報を文献[16]の手法を用いて補正する方法を報告する。

この方法は、画面上での注目物体上の点のずれ(画像から検出された点と、仮定した位置姿勢を基に画像面に投影した点の位置のずれ)を繰り返し最小化することで、3次元モデルの位置姿勢を推定する方法である。3次元モデルを固定された3次元空間であると捉えることにより、カメラの位置姿勢を推定する方法として利用可能である。推定される位置姿勢は、画面上での誤差が最小になるように求められるため、現実空間と仮想空間の見た目上の位置を合わせるMRの目的と合致する方法である。

本論文で提案する方法では、センサ情報を利用することで、ロバスト性を向上させるために以下の処理を行う。

- (1)6自由度センサの情報から3次元位置が既知のマーカの画像上での位置を推定する、
- (2)画像から抽出されたマーカを推定された位置と比較することでマーカの個別識別を行う、
- (3)対応がとれたマーカのずれを繰り返しアルゴリズムを用いて最小化する。その際、初期値にセンサ計測値を用いる。

(1)と(2)の処理により、同様な特徴をもつマーカが多く設置された環境下でも位置姿勢推定処理が可能となる。さらに(3)のようにセンサ情報を初期値として利用することにより、誤った解へ収束することを防ぐことができる。

## 3. 6自由度センサと繰り返し演算の併用

### 3.1 繰り返し演算

世界座標系(図2)上でのマーカの3次元位置を $\mathbf{x}_w$ 、カメラ座標系上での3次元位置を $\mathbf{x}_c$ とすると、 $\mathbf{x}_w$ と $\mathbf{x}_c$ は、 $3 \times 3$ 回転変換行列 $\mathbf{R}$ と平行移動ベクトル $\mathbf{t} = [t_x \ t_y \ t_z]^T$

を用いて、

$$\mathbf{x}_c = \mathbf{R} \mathbf{x}_w + \mathbf{t} \quad (1)$$

という関係で表される。これは、コンピュータグラフィクスにおいては、ビューイング変換と呼ばれる変換である。

ここで、回転変換 $\mathbf{R}$ は、回転変換の回転軸ベクトルを $[r_x \ r_y \ r_z]^T$  ( $r_x^2 + r_y^2 + r_z^2 = 1$ )、回転角を $r_a$ とすると、

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} r_x^2(1 - \cos r_a) + \cos r_a & r_x r_y(1 - \cos r_a) - r_z \sin r_a & r_x r_z(1 - \cos r_a) + r_y \sin r_a \\ r_x r_y(1 - \cos r_a) + r_z \sin r_a & r_y^2(1 - \cos r_a) + \cos r_a & r_y r_z(1 - \cos r_a) - r_x \sin r_a \\ r_x r_z(1 - \cos r_a) - r_y \sin r_a & r_y r_z(1 - \cos r_a) + r_x \sin r_a & r_z^2(1 - \cos r_a) + \cos r_a \end{bmatrix} \quad (2)$$

と表すことができる。

次に、カメラの透視投影変換は、カメラ座標系上の3次元点を画像面上の2次元座標 $\mathbf{u} = [u_x \ u_y]^T$ に投影する変換であるので、

$$u_x = f_x \frac{x_c}{z_c}, \quad u_y = f_y \frac{y_c}{z_c} \quad (3)$$

と表される。この透視投影変換式(3)を、

$$(u_x, u_y) = \mathbf{P}(x_c, y_c, z_c) \quad (4)$$

$$\mathbf{u} = \mathbf{P}(\mathbf{x}_c)$$

と表現すると、世界座標系上にある点が画面上に変換される式は、式(1)と式(4)から、以下のように表すことができる。

$$\mathbf{u} = \mathbf{P}(\mathbf{R}\mathbf{x}_w + \mathbf{t}) \quad (5)$$

ここで、行列で表した9パラメータの回転変換は、本来3自由度しかないため、回転角を回転軸の長さとする表現、

$$(\omega_x, \omega_y, \omega_z) = (r_a r_x, r_a r_y, r_a r_z) \quad (6)$$

により3値にて表現しておく。これにより、回転成分と平行移動成分を合わせた6自由度のパラメータは、ベクトル $\mathbf{s} = [\omega_x \ \omega_y \ \omega_z \ t_x \ t_y \ t_z]^T$ として表すことができる。式(1)のビューイング変換式は、 $\mathbf{x}_c$ を $\mathbf{x}_w$ と $\mathbf{s}$ の関数として $\mathbf{x}_c = \mathbf{T}(\mathbf{s}, \mathbf{x}_w)$ と表現することができるので、投影変換まで含めた変換式(5)は、以下のように表現できる。

$$\mathbf{u} = \mathbf{P}(\mathbf{T}(\mathbf{s}, \mathbf{x}_w)) = \mathbf{F}(\mathbf{s}, \mathbf{x}_w) \quad (7)$$

本手法では、繰り返し演算の方法として最急降下法を用いて $\mathbf{s}$ を収束させる。そこで、 $\mathbf{u}$ を $\mathbf{s}$ で偏微分するヤコビ行列、

$$\mathbf{J}_{\text{us}} = \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial \mathbf{s}} = \begin{bmatrix} \frac{\partial u_x}{\partial \omega_x} & \frac{\partial u_x}{\partial \omega_y} & \frac{\partial u_x}{\partial \omega_z} & \frac{\partial u_x}{\partial t_x} & \frac{\partial u_x}{\partial t_y} & \frac{\partial u_x}{\partial t_z} \\ \frac{\partial u_y}{\partial \omega_x} & \frac{\partial u_y}{\partial \omega_y} & \frac{\partial u_y}{\partial \omega_z} & \frac{\partial u_y}{\partial t_x} & \frac{\partial u_y}{\partial t_y} & \frac{\partial u_y}{\partial t_z} \end{bmatrix} \quad (8)$$

を求める。このヤコビ行列の各要素は、式(1)、(2)、(3)、(6)から、詳細は述べないが世界座標系上での位置 $(x_w, y_w, z_w)$ と $\omega_x, \omega_y, \omega_z, t_x, t_y, t_z$ のみを残して解くことが可能である。

このヤコビ行列が求められるということは、

$$\hat{\Delta \mathbf{u}} = \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial \mathbf{s}} \Delta \mathbf{s} \quad (9)$$

$$\Delta \mathbf{u} = \mathbf{J}_{\mathbf{us}} \Delta \mathbf{s}$$

であるので、 $\mathbf{s}$ の微小な変化量に対して、そのときの $\mathbf{s}$ の値と $\mathbf{x}_w$ から得られる $\mathbf{J}_{\mathbf{us}}$ を基に、 $\mathbf{u}$ の微小な変化量を計算することができることを意味する。

一方、画像からマーカを抽出した結果得られる画像面上でのマーカの位置を $\mathbf{v}$ とする。 $\mathbf{s}$ が真のビューイング変換を表している場合には、 $\mathbf{v}$ と $\mathbf{u}$ は一致する。真値に近い適当な $\mathbf{s}_0$ があるとき、 $\mathbf{v}$ と $\mathbf{u}$ との誤差を、

$$\Delta \mathbf{u} = \mathbf{u} - \mathbf{v} \quad (10)$$

とし、 $\mathbf{s}_0$ と真の $\mathbf{s}$ との誤差を、

$$\Delta \mathbf{s} = \mathbf{s} - \mathbf{s}_0 \quad (11)$$

とすると、式(10)から、

$$\Delta \mathbf{u} \approx \mathbf{J}_{\mathbf{us}} \Delta \mathbf{s} \quad (12)$$

という関係が成り立つ。ここで、

$$\Delta \mathbf{u} = \mathbf{J}_{\mathbf{us}} \Delta \mathbf{s}_0 \quad (13)$$

となる $\Delta \mathbf{s}_0$ を考え、

$$\mathbf{s}_1 = \mathbf{s}_0 + \Delta \mathbf{s}_0 \quad (14)$$

とする。

この計算に利用できる点が $n$ 点あるとき、式(13)は、それぞれの点にてすべて成り立つことから、

$$\begin{bmatrix} \Delta \mathbf{u}_1 \\ \Delta \mathbf{u}_2 \\ \vdots \\ \Delta \mathbf{u}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{J}_{\mathbf{us}_1} \\ \mathbf{J}_{\mathbf{us}_2} \\ \vdots \\ \mathbf{J}_{\mathbf{us}_n} \end{bmatrix} \Delta \mathbf{s}_0 \quad (15)$$

という式が成り立つ。式(15)中の $[\Delta \mathbf{u}_1 \ \Delta \mathbf{u}_2 \ \dots \ \Delta \mathbf{u}_n]^T$ と $[\mathbf{J}_{\mathbf{us}_1} \ \mathbf{J}_{\mathbf{us}_2} \ \dots \ \mathbf{J}_{\mathbf{us}_n}]^T$ をそれぞれ

$$\Psi = \begin{bmatrix} \Delta \mathbf{u}_1 \\ \Delta \mathbf{u}_2 \\ \vdots \\ \Delta \mathbf{u}_n \end{bmatrix}, \quad \Phi = \begin{bmatrix} \mathbf{J}_{\mathbf{us}_1} \\ \mathbf{J}_{\mathbf{us}_2} \\ \vdots \\ \mathbf{J}_{\mathbf{us}_n} \end{bmatrix} \quad (16)$$

とおくと、 $n \geq 3$ のとき $\Delta \mathbf{s}_0$ は、 $\Phi$ の一般化逆行列を用いて、

$$\Delta \mathbf{s}_0 = (\Phi \Phi^T)^{-1} \Phi \Psi \quad (17)$$

として、 $n$ 点の最小二乗として求めることができる。なお、 $n=3$ の場合、式(17)は一意に求まる。

この結果得られる $\Delta \mathbf{s}_0$ から、式(14)により $\mathbf{s}_1$ を求めることができる。 $\mathbf{s}_1$ が得られたならば、その値を反映させたビューイング変換によりマーカを画像に投影し直すことにより $\Delta \mathbf{u}$ を更新し、同様に $\Delta \mathbf{s}_1$ を求めることができる。この計算は、繰り返し行うことが可能である。すなわち、 $[\Delta \mathbf{u}_1 \ \Delta \mathbf{u}_2 \ \dots \ \Delta \mathbf{u}_n]^T$ が $\mathbf{0}$ に近づくまで、あるいは、 $\Delta \mathbf{s}_k$ が $\mathbf{0}$ に近づくまで、以上の計算を繰り返すことにより、カメラのビューイング変換の6自由度パラメータを $\mathbf{s}_k$ として

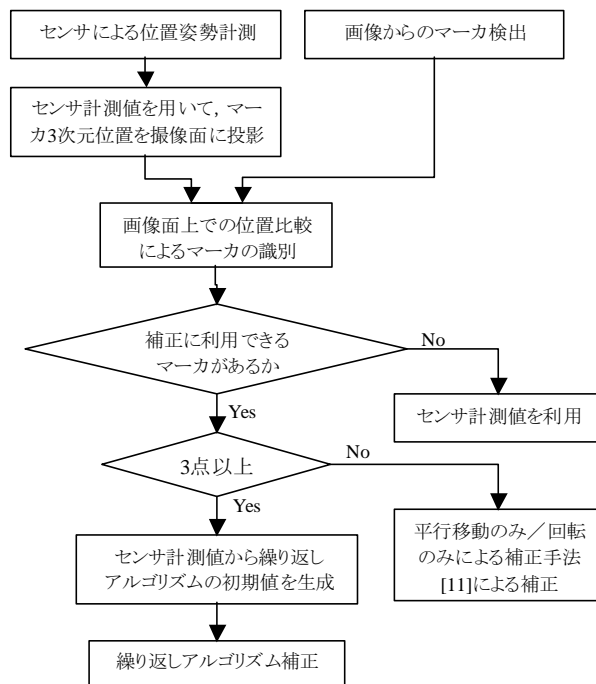


図 3 位置合わせ処理の流れ

Figure 3 Registration processing flow

求めることができる。

ここで、利用する点はすべての点がひとつの直線上になければよいだけであり、平面上にあっても3次元空間中に点在していてもよく、マーカの配置の自由度は高い。

### 3.2 センサ計測値の繰り返し演算への適用

3.1節で述べたアルゴリズムを6自由度センサと併用する、すなわち、6自由度センサの計測値を本繰り返しアルゴリズムに適用する処理の流れを図3に示す。以下に要点を述べる。

#### (1) マーカ識別

本繰り返しアルゴリズムを適用するためには、世界座標系上でのマーカ位置と画像から検出されたマーカ位置との対応が取れている必要がある。そこで、文献[11]と同様に6自由度センサの計測値を用いて、識別・対応付けを行う。これは、センサの計測値を基にしてマーカの世界座標値を撮像面に投影し、得られる画像面上での2次元位置と、画像から検出したマーカの2次元位置との画像面上での距離を基にして、識別・対応付けを行う手法である。

#### (2) 補正切り替え

本繰り返しアルゴリズムは、注目点が3点以上必要である。補正に利用可能となったマーカの数に応じて、センサ計測値をそのまま用いるか、従来の方法により補正

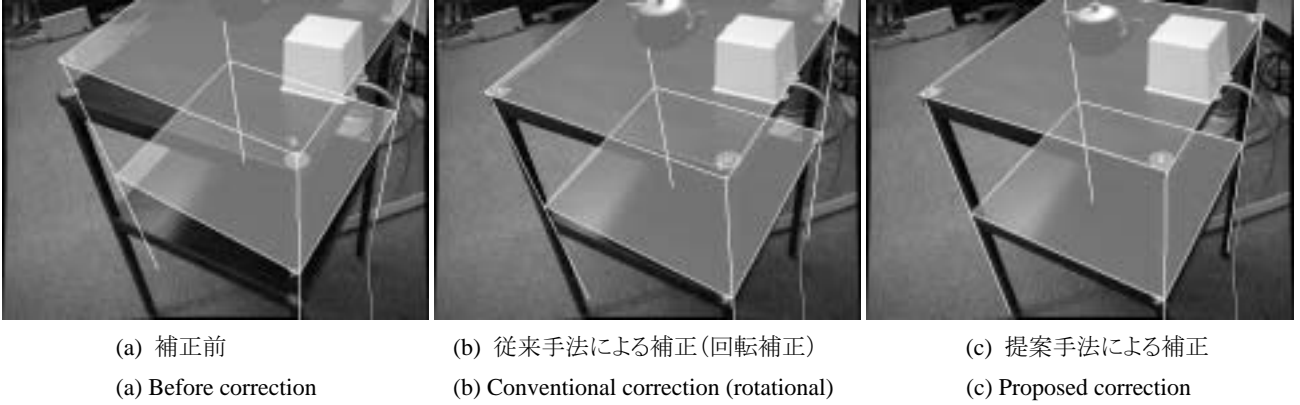


図 4 位置合わせ結果

Figure 4 Results of registration

するか、繰り返しアルゴリズムを適用するかを切り替える。

### (3) センサ計測値の初期値としての利用

本繰り返しアルゴリズムの初期値にセンサ計測値を用いる。6自由度センサにより得られるカメラの位置姿勢は、世界座標系上でのカメラの位置  $(p_x, p_y, p_z)$  と、姿勢を表すロール、ピッチ、ヨーなどのパラメータにより得られる。姿勢を表すパラメータを回転変換  $\mathbf{R}_{ConW}$  により表すと、

$$\begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{M}_{ConW} \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{ConW} & p_x \\ 0 & p_y \\ 0 & p_z \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \\ 1 \end{bmatrix} \quad (18)$$

という関係となる。この式(18)と式(2)から、本繰り返しアルゴリズムを適用するための初期値  $\mathbf{s}_0$  は、

$$\begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{t} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \mathbf{M}_{WonC} = \mathbf{M}_{ConW}^{-1} \quad (19)$$

により得られる  $\mathbf{R}$  と  $\mathbf{t}$  から求めることができる。

逆に、得られる  $\mathbf{s}_k$  は、ビューイング変換を表すため、カメラの位置姿勢を求めるためには、ビューイング変換の逆行列をとり、回転成分と平行移動成分を導出すればよい。

### 3.3 本手法の特徴

本手法は、MR 応用に適した下記の特徴を有する。

- 必ずしも、観察する可能性のある現実シーンを覆い尽くすほどのマーカを配置する必要はない。すなわち、位置合わせの精度を高めたい領域にマーカの配置を多くし、それほど精度を要求しない領域には少なく配置するといった工夫ができる。
- 個々のマーカは画像のみから個別識別が行えるものである必要がなく配置も自由であるため、現実シーンに対して比較的小さく目立ちにくいマーカを配置する

ことが可能である。

- 4点以上のマーカが捉えられている場合には、画面上での誤差を最小二乗する補正が行われる。そのため、マーカが見えていない状況から多数のマーカが見えている状況まで、その場で得られる情報を有効に用いて、連続的に頭部位置姿勢を推定できる。常に頭部の位置姿勢は破綻なく取得することが可能である。
- ある一時刻に得られる情報のみを用いてカメラの位置姿勢を推定する方法である。時間の連続性に基づく情報は利用していない。すなわち、仮想空間の描画を一定時間内に終わらせる必要があるなどの拘束がなく、仮想空間の設計を自由に行うことができる。

## 4. 実装と実験

我々が提供する MR システムを開発するためのソフトウェア開発キット「MR プラットフォーム SDK」[17][18]に本手法を実装し実験を行った。図 4 に位置合わせを行った結果を示す。

図4(a)は、6自由度センサのみにより得られたカメラの位置姿勢を用いて、現実の小テーブルの天板と同じ形状をもつ仮想物体を重畳表示した結果である。このシーンにおいては、周囲の金属製の什器等の影響で、計測精度にかなりの悪化が見られる。図4(b)は、この計測結果を基にして、従来の補正方法であるカメラの回転によるセンサ誤差補正を施した結果である。テーブルの天板と脚の中間位置の計4ヶ所に配置した赤色のマーカを補正に利用している。全体的には大まかに位置が当たっているものの、特に小テーブルの脚部分でずれが見られる。図4(c)は、本手法により補正を行った結果である。このように、画像上でのずれはほとんどない位置合わせが実現できる。この実験における繰り返しアルゴリズムの収束条件は、

$$\frac{|\Delta s_k|}{|s_k|} < \varepsilon \quad (20)$$

を満たす場合とした。本実験では  $\varepsilon = 10^{-7}$  として判定している。この条件での実際の繰り返し回数は、3～5回であり、急速に収束している。

実験に使用した PC は、以下のスペックである。

- ・Pentium III 866MHz デュアル CPU 搭載
- ・GeForce2 MX グラフィクスカード(2系統 VGA 出力, AGP 接続)
- ・Bt878 チップ搭載 PCI キャプチャカード 2枚

この1台の PC にて、左右眼のキャプチャと画像表示、マーカー検出(単眼のみ利用)、本手法によるカメラの位置姿勢推定、左右眼分の仮想空間の描画、等のすべての処理を合わせても、約 65fps で動作可能である(なお、ビデオキャプチャされる画像は 30fps でしか更新されていない)。

また、その他の AR システム構築例を図 5 と図 6 に示す。図 5 は、描画負荷の重い仮想シーンを示したものであり、約 10000 ポリゴンを有する仮想物体の表示を行っている例である。図 6 は、より実際的な例として、我々の構築した複合現実型エンターテインメント[19]を MR プラットフォーム SDK に移植し本手法を適用した例である。この2例に関しても、同じ PC にて 30fps 以上での描画更新にて高精度な位置合わせが実現できている。なお、マーカーが利用されている様子がわかりやすいように、マーカー位置に矩形および×マークを表示しているが、実際の AR 体験時にはこのようなマークは表示されない。

## 5. まとめと今後の課題

複合現実感における現実世界と仮想世界の位置合わせのためのロバストかつ高精度な位置合わせ手法を提案した。本手法は、磁気センサなどの画像に依らない 6自由度センサのロバストさと、ビジョン手法の精度の良さを両立する方法である。すなわち、実践的な AR システムを構築する上での有効性が高い。

最近になって、3次元位置が既知である特徴点として、抽出しやすいマーカーではなく、より自然なパターンを用いる検討[20]がなされている。このような方法と本手法を組み合わせることにより、不自然なマーカーを排除しより現実シーンに手を加えることのない体験型システムの構築が望めると考えられる。

また、実験例で示したように、実際のシステムでは両眼の画像をキャプチャしているにもかかわらず、位置合わせに利用している画像は単眼のみである。今後、本手法のアルゴリズムを両眼の画像に対して施す方法を検討することにより、ロバスト性のさらなる向上や高精

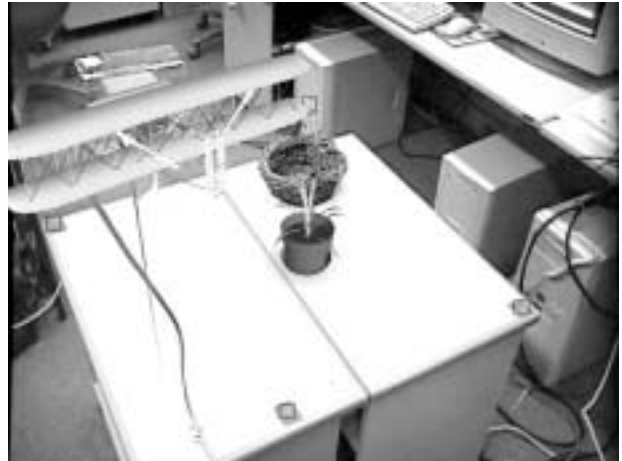


図 5 描画負荷の重いシーン

Figure 5 Example of heavy rendering



図 6 複合現実型エンターテインメント「AquaGauntlet」

Figure 6 MR entertainment "AquaGauntlet"

度化を行う予定である。

**謝辞** 本手法を組み込んだ MR プラットフォーム SDK は、キャノン株式会社 MR システム開発センター MR 技術第一研究室の武本氏、佐藤氏を始めとする各室員に協力を得て作成した。また、複合現実型エンターテインメント「AquaGauntlet」の MR プラットフォーム SDK への移植は、同センター MR システム第一開発室の藤木氏、小林氏により行われた。ここに謝意を表す。

## 参考文献

- [1] H. Tamura et al.: "Mixed reality: Future dreams seen at the border between real and virtual worlds", *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol.21, No.6, pp.64-70, 2001.
- [2] R. Azuma et al.: "Recent advances in augmented reality", *ibid*, pp. 34-47, 2001.

- [3] 田村, 大田: “複合現実感”, 映像情報メディア学会誌, Vol.52, No.3, pp.266-272, 1998.
- [4] R. Azuma: “A survey of augmented reality”, *Presence*, Vol.6, No.4, pp.355-385, 1997.
- [5] 加藤: “拡張現実感システム構築ツール ARToolKit の開発”, 信学技報, PRMU2001-232, 2002.
- [6] D. Killer et al.: “Real-time vision-based camera tracking for augmented reality applications”, *Proc. VRST'97*, pp. 87-94, 1997.
- [7] C.-S. Chen et al.: “Integrating virtual objects into real images for augmented reality”, *Proc. VRST98*, 1998.
- [8] G. Simon et al.: “Markerless tracking using planar structures in the scene”, *Proc. ISAR2000*, pp.120-128, 2000.
- [9] 神原, 横矢, 竹村: “マーカと自然特徴点を利用した広範囲見回し可能なステレオビデオシーヌルー拡張現実感”, 信学技報, PRMU2001-228, 2002.
- [10] M. Bajura and U. Neumann: “Dynamic registration correction in video-based augmented reality systems”, *Computer Graphics and Applications*, Vol.15, No.5, pp.52-60, 1995.
- [11] 佐藤, 山本, 田村: “複合現実感における現実空間と仮想空間の融合に関する検討”, 日本VR学会第2回大会論文集, pp.161-164, 1997.
- [12] 佐藤, 山本, 田村: “現実空間と仮想空間の位置合わせ手法 - ステレオカメラと3次元センサの組み合わせ -”, 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU'98)論文集 I, IPSJ Symposium Series, vol.98, no.10, pp.I.7-I.12, 1998.
- [13] A. State et al.: “Superior augmented reality registration by integrating landmark tracking and magnetic tracking”, *Proc. SIGGRAPH '96*, pp.429-438, 1996.
- [14] 横小路, 菅原, 吉川: “画像と加速度計を用いた HMD 上での映像の正確な重ね合わせ”, 日本VR学会論文誌, Vol.4, No.4, pp.589-598, 1999.
- [15] 藤井, 神原, 岩佐, 竹村, 横矢: “拡張現実のためのジャイロセンサを併用したステレオカメラによる位置合わせ”, 信学技報, PRMU99-192, 2000.
- [16] D. G. Lowe, “Fitting parameterized three-demensional models to images”, *IEEE Trans. PAMI*, 13 (5), pp.441-450, 1991.
- [17] 内山, 武本, 山本, 田村: “MR システム構築基盤「MR プラットフォーム」の開発”, 日本VR学会第6回大会論文集, pp.457-460, 2001.
- [18] S. Uchiyama et al.: “MR Platform: A basic body on which mixed reality applications are built”, *Proc. ISMAR 2002*, pp.246-253, 2002.
- [19] 大島, 佐藤, 山本, 田村: “RV-Border Guards:複数人参加型複合現実感ゲーム”, 日本 VR 学会論文誌, vol.4, no.4, pp.699-705, 1999.
- [20] 汐崎, 加藤, 橋: “テンプレートマッチングによる拡張現実感のための位置合わせ手法”, 信学技報, PRMU2001-230, 2002.

(2002年10月4日受付)

[著者紹介]

内山晋二 (正会員)



1992年大阪大学大学院基礎工学研究科修士課程修了。同年キヤノン(株)入社。1997年4月より(株)MRシステム研究所出向。2001年4月キヤノン(株)復帰。現在, MR システム開発センター主任研究員。三次元画像計測とその応用, 複合現実感の研究・製品開発に従事。3次元画像コンファレンス'96 優秀論文賞受賞。電子情報通信学会会員。博士(工学)。

山本裕之 (正会員)



1986年大阪大学大学院基礎工学研究科修士課程修了。同年キヤノン(株)入社。1990年～1992年マクギル大学知能機械研究所客員研究員。1997年2月より(株)MRシステム研究所出向。2001年4月キヤノン(株)復帰。現在, MR システム開発センターMR 研究開発部副部長。本学会複合現実感研究委員会幹事。三次元画像計測・認識, アクティブビジョン, バーチャルリアリティ, 複合現実感, 画像メディアの研究に従事。工学博士。

田村秀行 (正会員)



1970年京都大学工学部電気工学科卒。工業技術院電子技術総合研究所主任研究官を経て, 1986年キヤノン(株)入社。現在同社MRシステム開発センター所長。工学博士。1997年1月より2001年3月までMRシステム研究所にて「複合現実感研究プロジェクト」を率いた。本学会前理事。現在, 複合現実感研究委員会委員長。ISMAR 03 実行委員長。人工知能学会監事。電子情報通信学会, 情報処理学会, IEEE, ACM 等会員。編著書「コンピュータ画像処理」(オーム社)など。