

# マーカと自然特徴点を併用した 広範囲見回し可能なステレオビデオシースルー拡張現実感

神原 誠之<sup>\*1</sup> 横矢 直和<sup>\*1</sup> 竹村 治雄<sup>\*2</sup>

Registration for Stereo Vision-based Augmented Reality  
Based on Extendible Tracking of Markers and Natural Features

Masayuki Kanbara <sup>\*1</sup> Naokazu Yokoya<sup>\*1</sup> Haruo Takemura <sup>\*2</sup>

**Abstract** – This paper describes a method to extend the registration range of a vision-based augmented reality (AR) system. We propose to use natural feature points contained in images captured by a pair of stereo cameras in conjunction with pre-defined fixed fiducial markers. The system also incorporates an inertial sensor to achieve a robust registration method which can handle user's fast head rotation and movement. The system first uses pre-defined fiducial markers to estimate a projection matrix between real and virtual world coordinate systems. At the same time, the system picks up and tracks a set of natural feature points from the initial image. As a user moves around in an AR environment, the initial markers fall out from the camera frame and natural features are then used to recover the projection matrix. Experiments for evaluating the feasibility of the proposed method are carried out and show the potential benefits of the method.

**Keywords** : Augmented Reality, Vision-based Registration, Natural Feature Tracking, Stereo Vision, Inertial Sensor

## 1 はじめに

近年, 現実環境に仮想物体を合成することで, 現実環境に情報を付加する拡張現実感が新たな情報提示・操作手法として注目されている [1, 2, 3]. 仮想物体があたかも現実環境の一部分であるかのような感覚を利用者に与える違和感のない拡張現実環境を構築するためには, 現実環境と仮想物体を正確に位置合わせする必要がある.

ユーザの視点との位置関係が既知のカメラによって撮影された画像から, カメラの位置姿勢, すなわちユーザの視点を推定するビジョンセンサを用いた手法 [4, 5, 6, 7, 8, 9] は, カメラによって撮影された画像からカメラの位置姿勢を推定するため, カメラ以外の装置が必要なく本質的には計測範囲は制限されないという特徴がある. しかし, 我々が従来提案した方法 [4] に代表されるように, ビジョンセンサを用いた手法のほとんどは, 現実環境に配置したマーカを撮影した画像からカメラの位置姿勢を推定するため, マーカが常にカメラに撮影されている必要があり, 実際には計測範囲が制限されるという問題点がある. また, 現実環

境に多数のマーカを配置し, それらを切替えて利用することで, 計測範囲を拡大する手法 [10, 11] があるが, 配置されたマーカの 3 次元位置が既知である必要があるため, 広範囲における位置合わせを行なうことは困難である.

本論文では, 文献 [4] の手法の拡張を行ない, 2 種類のマーカと自然特徴点を用いることで位置合わせ可能範囲の拡張を図る. まず, 仮想物体の位置を示す世界座標系を一意に定義するための 3 つのマーカ (基準マーカ) に加えて, 3 次元位置関係が未知の複数のマーカを利用する [12]. 初期フレームにおいて基準マーカを撮影した画像から世界座標系の決定と位置合わせを行い, 以降では, 撮影されたマーカから位置合わせを行うと同時に, ユーザの視点の移動によって新たに視野内に現れたマーカを検出し, マーカと世界座標系との位置関係を推定し, 以降これらのマーカを位置合わせに利用する. 基準マーカ以外のマーカの 3 次元位置をあらかじめ知る必要がないため, 広範囲における位置合わせを容易に行なうことができるという特徴を持つ. しかし, 広範囲における位置合わせを行なうには, 現実環境に多数のマーカを配置する作業が伴う. そのため, 本論文ではより容易に位置合わせ範囲を拡大するために, マーカに加えて自然特徴点の併用を試みる. 具体的にはユーザの視点の移動によって新たに視野内

<sup>\*1</sup>奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

<sup>\*2</sup>大阪大学 サイバーメディアセンター

<sup>\*1</sup>Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

<sup>\*2</sup>Cybermedia Center, Osaka University



図1 姿勢センサとステレオカメラを組合わせたビデオスルー HMD  
Fig.1 Video see-through HMD with stereo cameras and an inertial sensor.

に現れたマーカと自然特徴点を次々と検出し、以降これらのマーカと自然特徴点を切替えて追跡を行なうことで位置合わせに利用する。さらに、特徴点追跡のロバスト性を向上させるため、3軸角度センサを用いた特徴点の移動位置予測手法 [13] を適用する。

以下、2章ではマーカと自然特徴点を併用した位置合わせ手法について述べる。3章では、提案手法を用いた拡張現実感システムによる実験について述べ、最後に4章で本論文をまとめる。

## 2 マーカと自然特徴点を用いた位置合わせ

本研究では図1に示すような姿勢センサとステレオカメラを搭載したヘッドマウントディスプレイ (HMD) を想定する。図2に、マーカと自然特徴点を併用した位置合わせの処理手順を示す。まず、初期処理として画像中から世界座標系を決定するための基準マーカと追跡に適した自然特徴点を抽出する (図2 A)。マーカと自然特徴点の追跡は、文献 [13] の移動位置予測手法を用いて行なう (図2 B)。しかし、自然特徴点の追跡には誤追跡などの不確かさが含まれるため、追跡された自然特徴点の信頼性を評価し (図2 C)、信頼性の高い自然特徴点とマーカの三次元位置情報を用いて位置合わせを行なう (図2 D)。最後に、追跡されている特徴点が減少した場合、現在のステレオ画像から新たな特徴点の検出を試みる (図2 E)。ただし、提案手法は対象として静的環境を想定しており、自然特徴点の移動は考慮しておらず、カメラにより撮影される現実環境中に移動物体を含まないと仮定する。なお、3つの基準マーカ以外のマーカの配置は任意である。その検出と追跡方法は基準マーカと同じで利用方法は自然特徴点と同じである。このため、以下では区別した記述は行なわない。

以下、各処理について説明する。

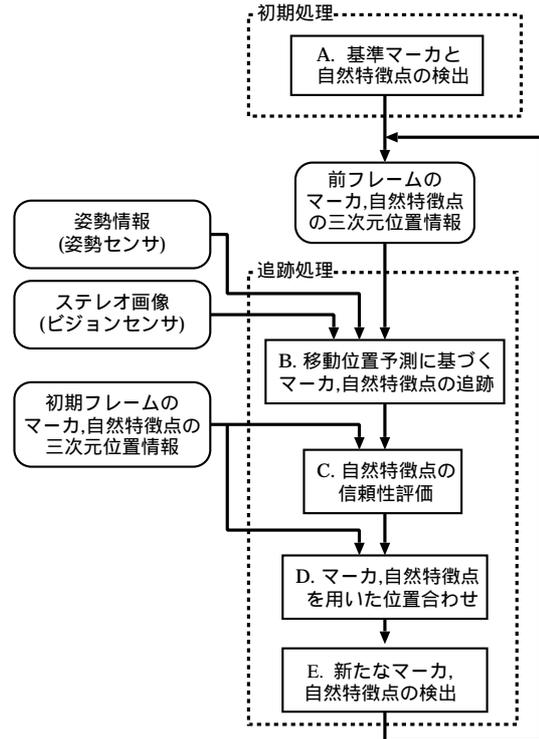


図2 マーカと自然特徴点を利用した位置合わせ手順  
Fig.2 Flow diagram of the registration method.

### 2.1 基準マーカを用いた位置合わせ

マーカが撮影されたステレオ画像対を用いて、世界座標系からカメラ座標系への変換行列 (モデルビュー行列) を求めることで、現実環境と仮想環境の位置合わせを行う。基準マーカの3次元位置は仮想物体の位置を示す世界座標系を一意に決定するために既知であるとし、それぞれの基準マーカ間の距離が異なるように配置することでマーカを識別する。なお、位置合わせを行うには、世界座標系が定義されている必要があるため、第1フレームにおいては同一直線上にない3つの基準マーカが同時に撮影される必要がある。

第1フレームでは、まず、入力されたステレオ画像に対して画像全体を走査して色・形状情報に基づきマーカ領域を抽出する。次に、それぞれのマーカの画像上の座標をもとに、エピポーラ拘束により左右画像のマーカの対応付けを行なう。最後に、既知であるマーカの3次元位置関係からラベル付け (ラベル 1, 2, 3) を行う。

#### 2.1.1 モデルビュー行列の計算

現実環境を撮影した画像にCGオブジェクトを合成するためには、CGオブジェクトの形状を定義している世界座標系からカメラ座標系への変換行列 (モデルビュー行列  $M$ ) が必要になる。すなわち、モデルビュー行列  $M$  はある点の世界座標系での座標値

を  $w = (w_x, w_y, w_z, 1)$  , カメラ座標系での座標値を  $c = (c_x, c_y, c_z, 1)$  とするとき、

$$c = Mw$$

と変換する行列である。なお、 $M$  は回転成分  $R$  と平行移動成分  $T$  を用いて

$$M = \begin{bmatrix} & \mathbf{R} & \mathbf{T} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

と表せる。

ここで計算を簡略化するために、世界座標系を以下のように定義する。

- 原点はラベル 1 のマーカ ( $m_1$ ) の 3 次元位置。
- $x$  軸はラベル 1 ( $m_1$ ) とラベル 2 ( $m_2$ ) のマーカを結ぶ直線。
- $x - y$  平面は 3 つのマーカ ( $m_1, m_2, m_3$ ) の存在する平面。

平行移動成分  $T$  は世界座標系の原点としたラベル 1 のマーカのカメラ座標値として求められる。また、回転成分  $R$  は以下の手順で求めることができる。

1. 世界座標系の各軸の方向成分をカメラ座標系で表現し、これを  $x_n, y_n, z_n$  とする。ラベル 1, 2, 3 のマーカのカメラ座標系での位置を  $V_1, V_2, V_3$  とすると、

$$\begin{aligned} x_n &= V_2 - V_1, \\ y_n &= (V_3 - V_1) - \frac{x_n^T (V_3 - V_1)}{x_n^T x_n} x_n, \\ z_n &= x_n \times y_n. \end{aligned}$$

2.  $x_n, y_n, z_n$  を正規化する。正規化した各軸の方向成分を  $x'_n, y'_n, z'_n$  とすると、

$$x'_n = \frac{x_n}{\|x_n\|}, \quad y'_n = \frac{y_n}{\|y_n\|}, \quad z'_n = \frac{z_n}{\|z_n\|}$$

3. 以上で求めた  $x'_n, y'_n, z'_n$  を用いて以下の式で  $R$  を得る。

$$R = [x'_n \ y'_n \ z'_n]$$

以上より、世界座標系とカメラ座標系の位置関係を表すモデルビュー行列  $M$  を得ることができる。

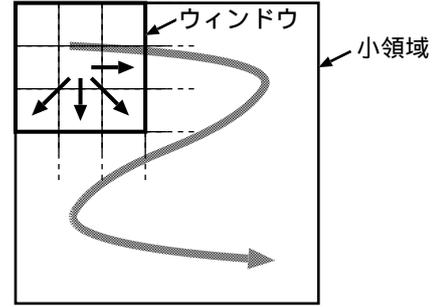


図 3 自然特徴点の抽出

Fig. 3 Detection of natural feature points.

## 2.2 自然特徴点を併用した計測範囲の拡大

### 2.2.1 自然特徴点の初期位置決定

自然特徴点の初期位置は、Moravec のインタレスト・オペレータ [14] を用いて決定する。まず、初期フレームにおいて左画像上でインタレスト・オペレータにより自然特徴点を抽出し、右画像においてエッジポラ線上でステレオマッチングにより対応点を探索することにより自然特徴点の初期位置を決定する。

Moravec のインタレスト・オペレータは、画像上の小領域における方向分散の最小値が極大になる点を選択する手法で、これはステレオカメラの左右画像において対応づけが容易なコーナーや孤立点を抽出することを意味する。Moravec のインタレスト・オペレータの定義を式 (1) に示す。

$$\min(\text{dirval1}, \text{dirval2}, \text{dirval3}, \text{dirval4}) \quad (1)$$

ただし、

$$\begin{aligned} \text{dirval1} &= \sum_x \sum_y (I_{x,y} - I_{x+1,y})^2 / n \\ \text{dirval2} &= \sum_x \sum_y (I_{x,y} - I_{x+1,y+1})^2 / n \\ \text{dirval3} &= \sum_x \sum_y (I_{x,y} - I_{x,y+1})^2 / n \\ \text{dirval4} &= \sum_x \sum_y (I_{x,y} - I_{x-1,y+1})^2 / n \end{aligned}$$

ここで、 $\text{dirval}$  は方向分散値を表し、ウィンドウ内の画素  $I_{x,y}$  において 4 方向の隣接画素との二乗誤差を求め、ウィンドウ内の全画素について方向毎に二乗誤差の平均を求める。ただし、 $n$  はウィンドウ内の画素数とする。この 4 方向の方向分散値の最小値  $\min$  が、Moravec のインタレスト・オペレータの出力値となる。図 3 に示すように、画像上の小領域内の各画素についてインタレスト・オペレータを適用し、インタレスト・オペレータの値が極大となる画素を自然特徴点として抽出する。

提案手法では、自然特徴点を画像全体に様に分布させるために、左画像を  $M \times N$  個の小領域に分割し、

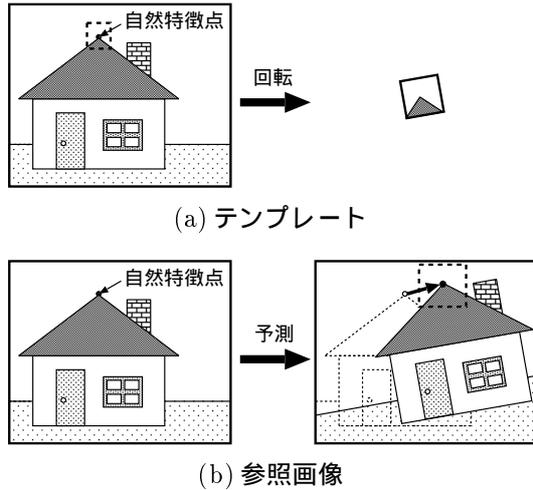


図4 テンプレートと参照画像

Fig. 4 Template image and reference image.

各領域において Moravec のインタレスト・オペレータにより自然特徴点を抽出する。左画像の左端部分は、右画像においてフレーム外となり対応点が求められないため、小領域は右側に偏った位置に配置する。

### 2.2.2 マーカと自然特徴点の追跡

姿勢センサを利用した移動位置予測手法 [13] を用いて自然特徴点の移動位置を予測し、予測移動位置近傍でのみ自然特徴点の探索を行なう。

自然特徴点の探索は、2 フレーム間の対応をテンプレートマッチングによって求めることにより行なう。テンプレートマッチングには、図 4(a) に示すように、前フレームの自然特徴点近傍をテンプレートに、また、図 4(b) に示すように現フレームの自然特徴点の予測移動位置近傍を参照画像として用いる。まず、二乗誤差を評価尺度とした残差逐次検定法 (SSDA) [15] により粗な探索を行なう。粗な探索には縮小画像を用い、探索範囲についてもテンプレートマッチングを行なう間隔を大きくする。次に、最も相関が高くなった位置の近傍で正規化相互相関 [15] を用いて密な探索を行なうことにより自然特徴点の追跡を行なう。

テンプレートマッチングにおけるテンプレートの回転角度は、姿勢センサから得られるカメラの姿勢情報から決定する。フレーム間でのロール方向の回転角度に基づきテンプレートを回転させ、テンプレートマッチングを行なう。離散画像においては、フレーム間での回転が小さいとき相関値への影響は小さいと考えられるため、フレーム間でロール方向に大きく回転したときのみ、回転を考慮する。

### 2.2.3 自然特徴点の信頼性評価

追跡された自然特徴点には誤追跡など不確かさが含まれるため、以下に述べる 3 種類の評価尺度により追跡された自然特徴点の信頼性を評価する。以下の尺度

を用いて、いずれかの尺度で信頼性が低いと判断された自然特徴点については、以降の追跡を中止する。

#### フレーム間での相関による信頼性評価

フレーム間での誤追跡・オクルージョンなどによる自然特徴点の消失などを検証するために、フレーム間での相関により信頼性を評価する。評価に用いる相関値は、2.2.2 節で述べた追跡時に求まっている正規化相互相関値を用い、一定のしきい値以下のとき信頼性が低いと判断する。

#### エピポラ拘束による左右画像での位置ずれによる信頼性評価

左右画像で対応する点は、両カメラのレンズ中心とその点とで構成される平面と画像面との交線 (エピポラ線) 上に存在する。このエピポラ拘束 [15] を用いて、左右画像で対応している自然特徴点の信頼性を検証する。左右画像で対応づけられた自然特徴点において、追跡された自然特徴点の座標値がエピポラ線上に存在するかを評価する。本研究では、ステレオカメラは標準ステレオ座標系を想定しているため、具体的には、追跡された各特徴点の画像上での縦方向の画素の差がしきい値以上のとき信頼性が低いと判断する。しきい値は、カメラから自然特徴点までの距離に応じて設定し、カメラから近いほど大きな値に設定する。三次元空間における位置ずれ距離による信頼性評価

自然特徴点の追跡における追跡誤差の蓄積を検証するために、追跡により得られている自然特徴点の三次元位置情報による位置ずれの評価を行なう。初期フレームにおいて記録した全ての自然特徴点とマーカの三次元位置情報と追跡により得られた自然特徴点の三次元位置関係とで各自然特徴点間のずれを求め、一定のしきい値以上のとき信頼性が低いと判断する。

### 2.3 マーカと自然特徴点を併用した位置合わせ

2.2.3 の信頼性評価において追跡が中止されなかった自然特徴点とマーカを用いて、位置合わせを行なう。図 5 に示すように、検出された時に記録した初期フレームにおけるマーカと自然特徴点の三次元位置情報と、追跡により得られた現フレームのマーカと自然特徴点の三次元位置情報を三次元的にマッチングさせることにより位置合わせを行なう。

特徴点の三次元的なマッチングは、初期フレームにおける特徴点の三次元位置情報  $P_{init,i}$  と現フレームの特徴点の三次元位置情報  $P_{now,i}$  において対応する特徴点間の距離の総和が最小となる位置を求めることにより行なう。特徴点間の距離の総和計算においては、式 (2) に示すように重み付けを行なう。

$$\sum_i w_i |MP_{now,i} - P_{init,i}| \quad (2)$$

ここで、 $w_i$  は重みを表し、自然特徴点に比べて信頼性

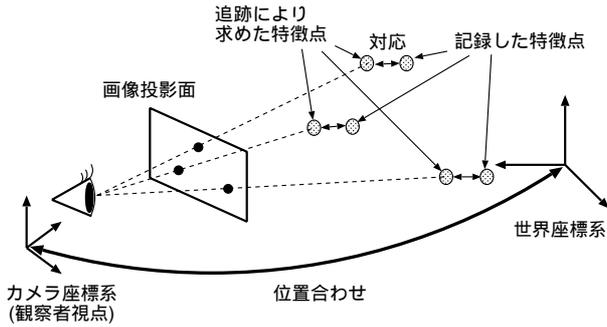


図5 マーカと自然特徴点を併用した位置合わせ  
Fig. 5 Registration using markers and natural features.

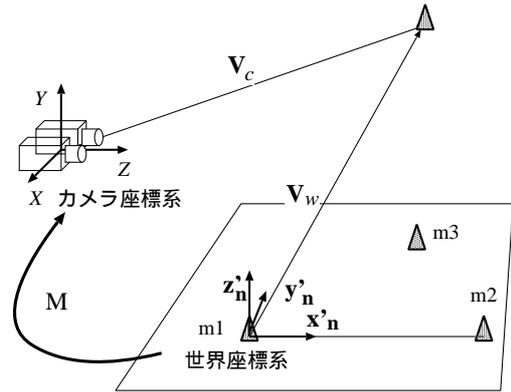


図6 マーカ座標系とカメラ座標系の関係  
Fig. 6 Relationship between marker and camera coordinate systems.

の高いマーカに対し大きな重み付けを行なっている。

#### 2.4 新たなマーカと自然特徴点の検出

本節では、ユーザの視点の変化によって新たに視野に現れたマーカと自然特徴点のそれぞれの検出方法について述べる。新たに現れるマーカは前フレームでの視野外に存在すると考えられるため、前フレームの視野を表すビューボリュームを現在のフレームに投影し、それが投影されない領域についてマーカの探索を行う。マーカの探索は、既知である色・形状情報を用い、毎フレーム検出を試みる。自然特徴点は、フレームアウトや信頼性の低下により、追跡している自然特徴点が減少した場合のみ、新たに視野に現れた領域から 2.2.1 と同様の方法で新たな特徴点を検出する。この際、新たな特徴点の検出のためにフレームレートが低下することを防ぐため、現フレームで、新たな特徴点が検出できない場合は、一定時間で探索を打ち切り、次フレームにおいて同様の処理を行なう。

左右の画像から新たなマーカまたは自然特徴点が検出できれば、ステレオ視によりカメラ座標系における 3 次元位置  $V_c$  (図 6) を求める。次に、求めたマーカの 3 次元位置  $V_c$  を以下の式を用いて世界座標系に変換することで、マーカの世界座標系における 3 次元位置  $V_w$  を求め、記録しておく。

$$V_w = M^{-1}V_c \quad (3)$$

ここで、 $M$  は、前節で求めたモデルビュー行列  $M$  を利用する。この時、マーカについては、求めた世界座標系における座標付近に既に検出されたマーカがある場合、座標間の距離が一定閾値以下であれば同一マーカと判定する。この時、検出されたマーカの世界座標系における座標は、更新せずに既に求まっている値を利用することで、マーカ追跡誤差の蓄積を抑える。

### 3 拡張現実感システムの構築と実験

ビデオシースルー拡張現実感システムを試作し、自然特徴点を併用した位置合わせ手法の有効性の確認

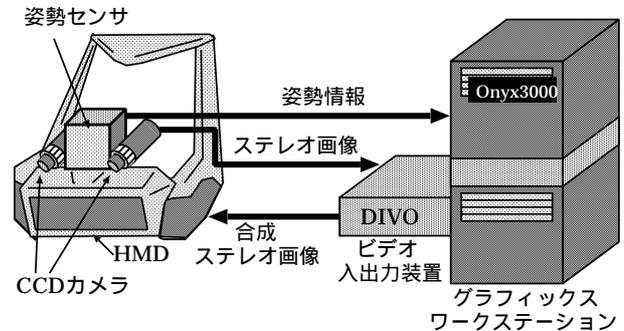


図7 拡張現実感システムの構成  
Fig. 7 Hardware configuration of the prototype system.

を行なった。試作システムでは、先の図 1 に示したように、ヘッドマウントディスプレイ (mediamask: オリンパス) 上にビジョンセンサとして CCD カメラ (IK-UM42:東芝) 2 個を光軸を平行に 6.5cm の間隔で取り付けて標準ステレオ撮像系を構成し、姿勢センサとして加速度センサとジャイロセンサが組み込まれた 3 軸角度センサ (IS-300:InterSense) を両カメラの光軸を含む平面上に配置した。システム全体のハードウェア構成を図 7 に示す。カメラによって撮影された画像は、ビデオ入出力装置 (DIVO) を用いてグラフィックスワークステーション (SGI: Onyx3000 MIPS R14000 500MHz 16 CPU) に入力され画像合成処理を行う。作成された左右のそれぞれの視点からの合成画像は、DIVO を通じて HMD へ出力される。世界座標系を定義する基準マーカとその他のマーカを机上とパネル面等に配置して実験を行なった。

図 8(a) は、マーカと自然特徴点の検出・追跡結果である。ここでは、ユーザに観測される左右画像の内、右眼画像を表示している。図中の 印がマーカ、+ 印が自然特徴点の位置を示している。ここでは、第 1 フレーム (図中最上段) で撮影されている 3 個のマーカ

が 3 次元位置が既知となっている基準マーカである。また、自然特徴点の信頼評価に関してのしきい値は、フレーム間での相関に関しては正規化相互相関値の値が 0.9, エピポーラ拘束の画素上のずれは距離に応じて 3~5 画素、三次元環境における位置ずれは距離に応じて 7~10cm とした。実験結果より、ユーザの視点の変化に伴って基準マーカが視野外になった場合には、新たに視野に現れた 3 次元位置が未知のマーカと自然特徴点を自動検出し、追跡が行われていることが確認できる。また、自然特徴点に関しては、フレームアウトや信頼性の低下により特徴点の数が減少しても新たに検出し、追跡されていることが確認できる。図 8(b) は同図 (a) に対応した CG 合成画像であり、仮想物体として壁に時計を、机の上に酒樽を配置した。視点の大きな変化に対しても位置合わせが正しく行なわれ、仮想物体が正しい位置に合成されていることが確認できる。しかし本手法では、基準マーカから視界が離れれば離れる程、位置合わせの誤差が蓄積する問題がある。この問題を解決するには、より多くの特徴点を位置合わせに利用することで、蓄積誤差の軽減を図る必要があると考えられる。

以上より、初期フレームにおいて 3 次元が既知の基準マーカ撮影されていれば、その後、それらのマーカがフレームアウトしてとしても、3 次元位置が未知のマーカと自然特徴点を検出・追跡することで、位置合わせが行なえることが確認できた。図 8 のように、マーカを約 3 個、自然特徴点を約 5 個の追跡を行った場合、更新レートは約 10 フレーム毎秒であった。また、画像合成に費される時間等により遅延が生じるため、ユーザには合成画像全体で 4~5 フレーム時間の遅延を伴って提示されることが確認できた。

#### 4 まとめ

本論文では、現実環境にマーカを配置し、ユーザの視点変化により新たに視野に現れたマーカと自然特徴点を自動的に抽出し、それを追跡することで、位置合わせ可能な範囲を拡大する手法を提案した。実際に、従来提案したビジョンベース拡張現実感システムを改良し、実験を行うことで、本手法の有効性を確認した。また、本手法の利点として、基準マーカ以外のマーカは自然特徴点と同様に 3 次元位置が既知である必要がない点が挙げられる。一方、基準マーカから視点が離れるにしたがってマーカの 3 次元位置の計測誤差が蓄積し、位置合わせの精度が低下する可能性がある。そのため、同一のマーカが、再度、視野内に表れた際、異なるマーカと認識される問題が生じる。今後の課題として、これらの問題を解決するための位置合わせ精度の向上が挙げられる。また、環境内に移動物体が存

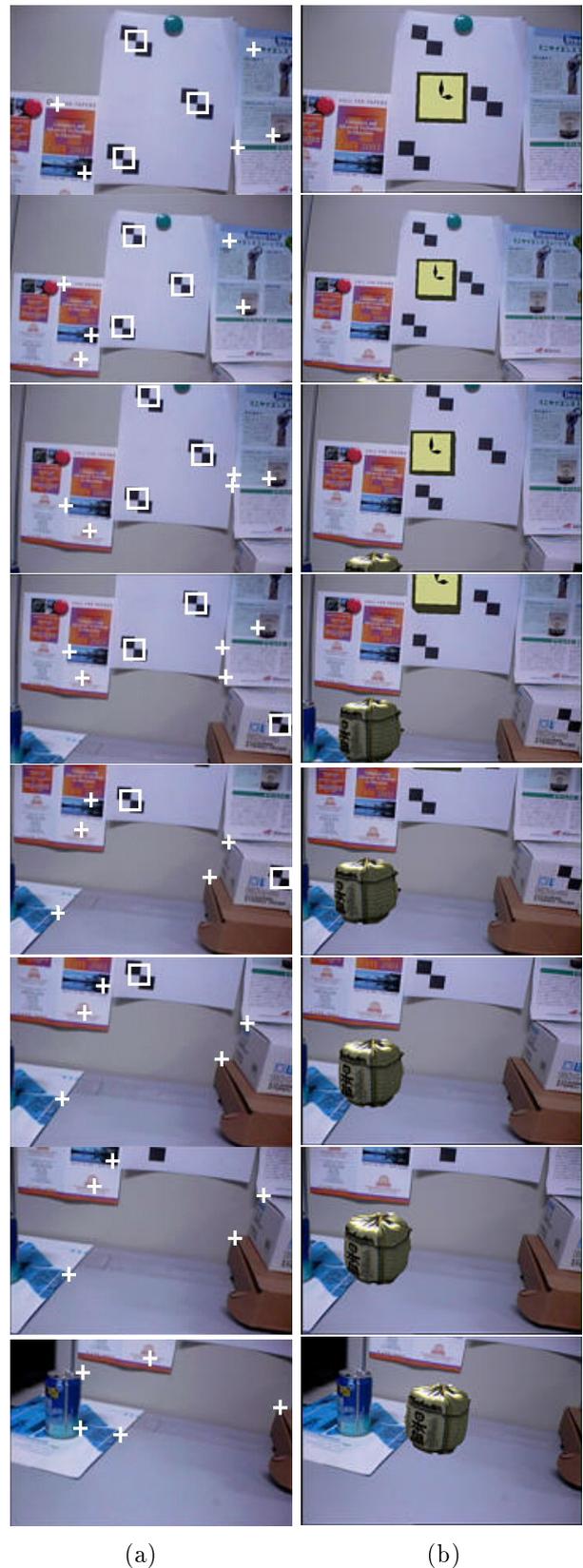


図 8 実験結果 (a) マーカ ( 印) と自然特徴点 (+ 印) の追跡結果 (b) マーカと自然特徴点を併用した位置合わせ  
Fig.8 Experimental results: (a) tracked markers (square) and natural features ('+'), (b) registration using both markers and natural features.

在する場合への対処も重要な課題である。

謝辞 本研究の一部は、文部科学省・科研費補助金(No. 13558035)および科学技術振興事業団(JST)の戦略的基礎研究推進事業(CREST)「高度メディア社会の生活情報技術」プログラムの支援によるものである。

#### 参考文献

- [1] R. T. Azuma: "A Survey of Augmented Reality," Presence, Vol. 6, No. 4, pp. 355-385, 1997.
- [2] R. T. Azuma, Y. Baillet, R. Behringer, S. Feiner, S. Julier and B. MacIntyre: "Recent Advances in Augmented Reality," IEEE Computer Graphics and Application, Vol. 21, No. 6, pp. 34-47, 2001.
- [3] H. Tamura, H. Yamamoto and A. Katayama: "Mixed Reality: Future Dreams Seen at the Border Between Real and Virtual Worlds," IEEE Computer Graphics and Application, Vol. 21, No. 6, pp. 64-70, 2001.
- [4] 神原, 大隈, 竹村, 横矢: "ビデオシースルー型拡張現実感のための実時間ステレオ画像合成", 信学論(D-II), Vol. 82, No. 10, pp. 1775-1783, 1999.
- [5] 井上, 小林, L. Quan, 大田: "3視点のアフィン画像からの線形的手法による形状と動きの推定を用いた仮想物体の融合", 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU'98)講演論文集, Vol. I, pp. 13-18, 1998.
- [6] 大隈, 竹村, 横矢: "拡張現実感システムのための画像からの実時間カメラ位置姿勢推定", 信学論(D-II), Vol. 82, No. 10, pp. 1784-1792, 1999.
- [7] M. Uenohara and T. Kanade: "Vision-based Object Registration for Real-time Image Overlay," Proc. CVRMed'95, pp. 13-22, 1995.
- [8] H. Kato, M. Billinghurst, I. Poupyrev, K. Imamoto and K. Tachibana: "Virtual Object Manipulation on a Table-top AR Environment," Proc. IEEE/ACM Int. Sympo. on Augmented Reality, pp. 111-119, 2000.
- [9] Y. Yokokohji, Y. Sugawara and T. Yoshikawa: "Accurate Image Overlay on See-through Head-mounted Displays Using Vision and Accelerometers," Proc. IEEE Virtual Reality 2000, pp. 247-254, 2000.
- [10] 佐藤, 山本, 田村: "カメラと3次元センサの組み合わせによる現実空間と仮想空間の位置合わせ手法", 日本バーチャルリアリティー学会論文誌, Vol. 4, No. 1, pp. 295-302, 1999.
- [11] M. Ward, R. T. Azuma, R. Bennett, S. Gottschalk and H. Fuchs: "A Demonstrated Optical Tracker with Scalable Work Area for Head-mounted Display Systems," Proc. Sympo. on Interactive 3D Graphics, pp. 43-53, 1992.
- [12] 神原, 岩佐, 竹村, 横矢: "マーカの切替え追跡による広範囲位置合わせ可能なビデオシースルー型拡張現実感", 信学技報, PRMU99-199, 2000.
- [13] 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.
- [14] H. P. Moravec: "Visual Mapping by a Robot Rover,," Proc. 6th IJCAI, pp. 598-600, 1979.
- [15] 高木, 下田: "画像解析ハンドブック", 東京大学出版会, pp. 485-491, 1993.

#### [ 著者紹介 ]

##### 神原 誠之 (正会員)



2002年奈良先端科学技術大学院大学博士後期課程修了。同年同大情報科学研究科助手、現在に至る。コンピュータビジョン、複合現実感の研究に従事。博士(工学)。1999年電子情報通信学会学術奨励賞受賞。電子情報通信学会、情報処理学会、IEEE各会員。

##### 横矢 直和 (正会員)



1979年大阪大学大学院博士後期課程修了。同年電子技術総合研究所入所。以来、画像処理ソフトウェア、画像データベース、コンピュータビジョンの研究に従事。工学博士。1986~87年マツギル大 知能機械研究センター客員教授。1992年奈良先端科学技術大学院大学 情報科学センター教授。現在、同大情報科学研究科教授。1990年情報処理学会論文賞受賞。電子情報通信学会、情報処理学会、人工知能学会、日本認知科学会、映像情報メディア学会、IEEE各会員。

##### 竹村 治雄 (正会員)



1987年大阪大学大学院博士後期課程単位取得退学。同年(株)ATR入社。3次元ユーザインタフェース、CSCW、仮想現実の研究に従事。工学博士。1994年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教授。1998年~1999年トロント大客員研究員。2001年大阪大学サイバーメディアセンター教授、現在に至る。電子情報通信学会、情報処理学会、IEEE、ACM、HFES、映像情報メディア学会、ヒューマンインタフェース学会各会員。