

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

神原 誠之[†] 大隈 隆史^{††} 竹村 治雄[†] 横矢 直和[†]

Real-time Composition of Stereo Images for Video See-through Augmented Reality

Masayuki KANBARA[†], Takashi OKUMA^{††}, Haruo TAKEMURA[†], and Naokazu YOKOYA[†]

あらまし 現実環境と仮想環境を融合する技術は拡張現実感と呼ばれ、現実環境に情報を付加することが可能であることから新たな情報提示手法の一つとして注目されている。拡張現実環境をユーザに提示するには、現実環境と仮想環境の正確な位置合せ、画像合成、及びユーザへの提示を実時間で行う必要がある。本論文では、現実環境と仮想環境の時間的な同期がとれることから、両者の位置ずれが生じないという特徴をもつ、ビジョンセンサとビデオシースルーの組合せを用いる拡張現実感のための画像合成手法を提案する。本手法では、現実環境中に配置されたマーカをHMDに取り付けた2眼のステレオカメラで撮影し、この画像から位置合せに必要なカメラパラメータを推定する。同時に、現実物体と仮想物体の正確な前後関係を表現するために、現実環境の奥行情報を実時間で取得する。その際、奥行推定を拡張現実感に特化することで計算量を削減し、実時間処理を可能にした。

キーワード 拡張現実感, ステレオ, 実時間処理, ビデオシースルー

1. ま え が き

計算機によって管理されコンピュータグラフィックス(CG)を用いて提示される仮想物体を現実環境に合成し、HMD(head mounted display)などの表示デバイスを用いてユーザに提示する技術は拡張現実感と呼ばれる。拡張現実感とは、現実環境に情報を付加することが可能であることから、新たな情報提示手法として注目され、現実環境における作業補助などに応用されている[1]~[4]。拡張現実感によりユーザに提示される環境を拡張現実環境と呼ぶ。

拡張現実環境を構築するためには、現実環境と仮想環境との間におけるいくつかの整合性問題を解決する必要がある[4]。特に、現実世界と仮想世界の幾何学的整合性の欠如は、ユーザに違和感を与える最も大きな要因であると考えられている。

幾何学的整合性の問題には、現実環境と仮想環境の座標系を一致させる問題と仮想物体と現実物体の奥行

前後関係を判定する問題がある。前者は、現実環境に対するユーザ視点の位置姿勢を求める問題ととらえることができ、この問題を解決する手法としては、例えば、磁気式、超音波式などの3次元位置センサを用いて視点(頭部)の位置姿勢を求める手法が挙げられる。後者は、現実環境が静的な環境であれば、あらかじめ現実環境の3次元情報を厳密に測定し、記憶しておくことで解決できる。しかし、拡張現実環境で一般に扱われる動的な環境に対応するには、現実環境の奥行情報を実時間で取得する必要がある。

更に、幾何学的整合性問題を解決しても、重畳表示手法により現実物体と仮想物体の前後関係を正確に表現できない場合がある。そのため、幾何学的整合性問題を解決する手法と現実環境と仮想物体を重畳表示する手法の組合せについて検討する必要がある。以下、それぞれについて主な手法を概観する。

幾何学的整合性問題のうち、現実環境におけるユーザの視点情報を獲得する問題を解決する手法として、以下の二つが挙げられる。

- 磁気式、超音波式、多関節アーム型など、特殊な装置を用いて視点情報を獲得する手法[3]。
- カメラによって撮影された画像から視点情報を推定するビジョンセンサを用いる手法[5]~[7]。

[†] 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科, 生駒市
Graduate School of Information Science, Nara Institute of
Science and Technology, Ikoma-shi, 630-0101 Japan

^{††} 電子技術総合研究所 知能情報部, つくば市
Machine Understanding Division, Electrotechnical Laboratory,
Tsukuba-shi, 305-8568 Japan

前者は、3次元の位置姿勢を比較的容易に獲得することができるが、特殊な装置が必要、計測範囲が限られるなどの欠点がある。一方、後者は撮影された画像から視点情報を推定するため測定範囲は必ずしも限定されない。カメラと視点の位置関係が既知であれば、撮影された画像からカメラパラメータを求めることで視点情報を獲得できる[8]。

一方、現実環境と仮想物体を重畳表示する方式には以下の二つがある。

- ハーフミラーなどを用いて、映り込む仮想環境と透過して見える現実環境を同時にユーザに提示する光学式シースルー方式。

- ユーザの視線方向とカメラの光軸を一致させて撮影した現実環境の映像上に仮想環境を合成して提示するビデオシースルー方式。

光学式シースルーの場合、現実環境が時間遅れなく提示される反面、ハーフミラーを用いているため仮想物体が半透明に描画される。そのため、仮想物体による現実物体の隠れいを表現するのは一般的に困難である。また、現実環境が時間遅れなく提示されるため、仮想環境を提示する際の計算時間などは現実環境と仮想環境の同期ずれの原因となり、これが位置ずれとしてユーザに知覚される。

これに対して、ビデオシースルーでは現実環境と仮想環境の同期をとって提示できるため、同期ずれによる両者の位置ずれは原理的に生じない。しかし、提示される環境全体が、仮想環境を合成する際の計算時間などによって遅れて提示され、見直し遅延としてユーザに知覚される。

本論文では、前述の背景をもとに、ビジョンセンサとビデオシースルーを組み合わせた拡張現実感を採用し、現実環境と仮想環境の画像合成手法を提案する。この組合せは、ユーザに提示するために現実環境を撮影した画像を幾何学的整合性問題の解決に使用することで、現実環境と仮想物体の提示の同期をとり両者の位置ずれをなくすことが可能である。

以降、2.では関連研究と本研究の方針、3.では現実環境と仮想環境のステレオ画像合成手法について説明する。4.では、提案手法を用いたプロトタイプシステムの構築と画像合成実験について述べ、試作システムの特徴と現状での問題点について考察する。

2. 関連研究と本研究の方針

本章では、ビジョンセンサを用いて幾何学的整合性

問題を解決する従来手法と問題点を挙げ、本研究の方針について述べる。

仮想環境と現実環境の位置合せ問題は、ユーザの視点を推定する問題と等価である。ビジョンセンサを用いた場合、HMDに取り付けられたカメラのレンズ中心とユーザの視点が一致していると仮定することで、カメラパラメータを視点情報として利用することが可能である。従来、現実環境中の特徴点を単眼のカメラで撮影した画像からカメラパラメータを推定する手法がいくつか提案されている[6],[7],[9]。筆者らはこれまでに、現実環境中に特徴点として同一平面上に3次元位置が既知の四つのマーカを配置し、これをカメラにより撮影した画像から実時間でカメラパラメータを求めることで拡張現実環境を提示するシステムを作成した[10]。しかし、単眼のカメラを用いているためユーザの両眼に同じ画像を提示することになり、現実環境の奥行き感を提示することができない、現実物体と仮想物体の前後関係に矛盾のある合成画像が生成される、などの問題点が存在する。

本論文では、現実環境を撮影するカメラに2眼のステレオカメラを用いることで、これらの問題の解決を試みる。従来、他のセンサとステレオカメラを組み合わせた手法[11],[12]が提案されているが上記の問題を解決したものはない。2眼のステレオカメラを用いることで、現実環境中に配置された位置関係が未知のマーカ3点を撮影した画像からマーカとカメラの位置関係を表すカメラパラメータを推定可能である。また、仮想物体と現実物体の正確な前後関係を表現するためには、現実環境の視点位置からの奥行きを実時間で獲得する必要がある。奥行きの推定は、コンピュータービジョンの分野において多くの研究がなされている[13],[14]。近年、実時間奥行き推定がいくつか報告されているが、その多くは、3眼以上の多眼ステレオや特殊なハードウェアを用いており[15],[16]、ユーザに提示される視点位置からの撮影画像に適用するのは困難である。本研究では、2眼ステレオと汎用計算機の組合せで、奥行き推定問題を拡張現実感に特化し、奥行き推定領域を限定することで計算量を削減し、現実環境の視点からの実時間奥行き推定を実現する。

本論文では、ビジョンセンサとして2眼のステレオカメラを用い、仮想環境と現実環境との位置合せ、現実環境の奥行き推定を行うことで、幾何学的整合性問題を解決する画像合成法を提案する。

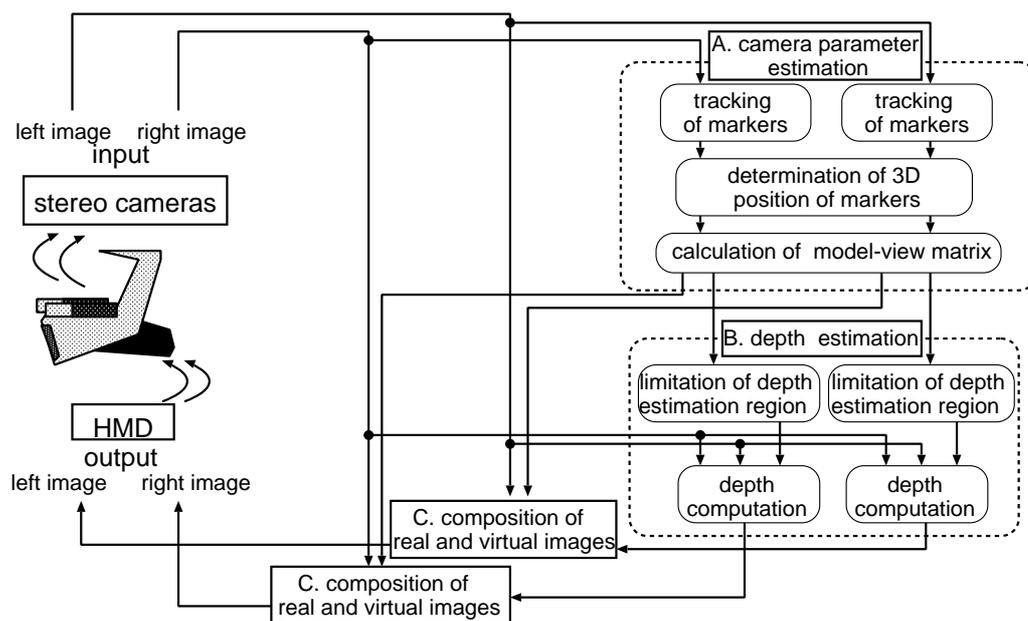


図1 ステレオ画像合成によるビデオシースルー拡張現実の処理手順
Fig.1 Flow diagram of stereoscopic video see-through augmented reality.

3. 現実環境と仮想環境のステレオ画像合成

本章では、現実環境と仮想環境のステレオ画像合成手法について述べる。ステレオ画像合成によるビデオシースルー拡張現実の処理手順を図1に示す。まず、入力されたステレオ画像対からカメラパラメータを推定し(図1A)、次に、現実物体と仮想物体の前後関係を正確に表現するために現実環境の奥行情報を獲得する(図1B)。最後に、それらの結果を用いて画像合成を行う(図1C)。

以降3.1ではカメラパラメータの推定、3.2では現実環境の奥行推定、3.3で実画像とCGの合成について述べる。

3.1 カメラパラメータ推定による現実環境と仮想環境の位置合せ

カメラパラメータを推定するために以下の3段階の処理を行う。ここでは、簡単化のために特徴点として青色のマーカを用いる。

(1) 入力された2枚の画像のそれぞれから青色領域を抽出しマーカの画像上の座標と左右画像間の対応関係を求める。

(2) マーカの画像上の座標からステレオ視によりマーカの3次元座標を計算する。

(3) マーカの3次元座標から、現実環境と仮想環境の座標系の位置関係を表すモデルビュー行列を計算する。

以降では、それぞれの段階について詳細を述べる。

3.1.1 マーカの追跡

毎フレームで入力画像の全領域に青色領域抽出処理を適用すると時間がかかる。そこで、第1フレームにおいてのみ全領域に対して青色領域抽出を行い、第2フレーム以降は前フレームの情報をもとに青色領域を追跡する。抽出された領域を用いてマーカの画像上での座標を得る。

第1フレームでは以下の手順でマーカを抽出する。

(1) 入力された2枚の画像に対して画像全体を走査して青色の領域を抽出する。

(2) ノイズを除去し、それぞれの領域の重心の位置をマーカの画像上の座標とする。

(3) 左右の画像にそれぞれ三つのマーカの座標が求めれば、エピソード拘束により左右画像のマーカの対応をとり、画像座標系における y 座標の値が大きいマーカからラベル付け(ラベル1,2,3)を行う。

フレームの更新レートがビデオレートに近い場合、フレーム間でのマーカの画像上の座標の変化は小さいと仮定できる。したがって、第2フレーム以降では以

下の手順でマーカを抽出する．

(1) 前フレームにおけるマーカの画像上の座標をもとに探索窓を決定する．

(2) それぞれの探索窓に対して青色領域の重心を求めそれをマーカの画像上の座標とする．左右画像のマーカの対応は第1フレームで求められたものを使用する．

3組のマーカの対応がとれないときや青色領域が探索窓内から抽出できないときは、再度第1フレームと同様の処理からやり直す．

3.1.2 マーカの3次元位置の推定

前項で求めたマーカの左右の画像上の座標から各マーカの3次元位置を推定する．本研究で想定するステレオカメラ系とマーカの位置関係を図2に示す．ステレオカメラ系には、二つの同じカメラを光軸方向を一致させ各画像面が同一平面にのるように配置したものを使用する．原点を左右のレンズ中心の中点、 X, Z 軸をそれぞれ基線、カメラの光軸方向で定義する座標系をカメラ座標系とする．3次元位置 $P(X, Y, Z)$ のマーカが、各画像の中心を原点とした左右画像座標系の $P_l(x_l, y_l), P_r(x_r, y_r)$ に投影されたとすると、以下の関係式が成立する [13]．

$$X = \frac{B(x_l + x_r)}{2(x_l - x_r)}$$

$$Y = \frac{B(y_l + y_r)}{2(x_l - x_r)}$$

$$Z = \frac{fB}{x_l - x_r}$$

ただし、 f はカメラの焦点距離、 B は基線長である．

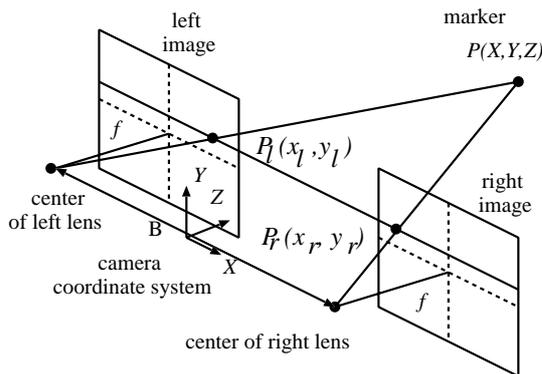


図2 2眼ステレオの構成

Fig. 2 Geometry of stereoscopic projection of a marker.

したがって、 f, B が既知のもとでは、マーカの左右の画像上の座標から、3次元位置 (X, Y, Z) が計算される．

3.1.3 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 $c = (c_x, c_y, c_z, 1)$ とするときに、

$$c = Mw$$

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

$$M = \left[\begin{array}{ccc|c} & & & \\ & \mathbf{R} & & \mathbf{T} \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$

と表せる．

ここで計算を簡略化するために、図3で示すように世界座標系を以下で定義する．

- 原点はラベル1のマーカの3次元位置．
- x 軸はラベル1とラベル2を結ぶ直線．
- $x - y$ 平面は三つのマーカの存在する平面．

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系での座標値として求められる．

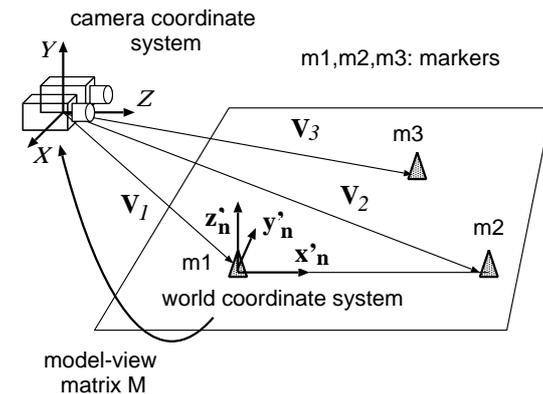


図3 世界座標系とカメラ座標系の関係

Fig. 3 Relationship between world and camera coordinates.

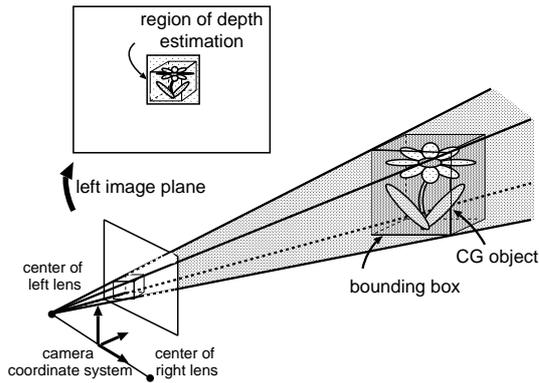


図4 奥行推定領域の決定

Fig. 4 Determination of depth estimation region.

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、

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

が成り立つ。

(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、

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

となる。

(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を得ることができる。

3.2 画像合成領域における実物体の奥行推定

本節では、仮想物体と現実環境の正確な前後関係を表現するために、ステレオ画像対から現実環境の奥行を推定する手法について述べる。図4に示すように仮想物体のカメラ座標系における位置が既知であれば、仮想物体と前後関係を考慮する必要のある実物体が

投影される領域を限定できる。したがって、前節で求めたモデルビュー行列を用いてカメラ座標系に変換した仮想物体のバウンディングボックスを画像上に投影することで、奥行推定を行う必要のある領域を決定する。以下に現実環境の奥行を求める手順を示す。

(1) 世界座標系で定義されている仮想物体を、モデルビュー行列を用いてカメラ座標系に変換する。

(2) 図4に示すように、仮想物体のバウンディングボックスを左画像上に投影し、投影された領域の外接長方形を奥行推定を行う領域とする。右画像に対しても同様に処理を行う。

(3) 左右画像の奥行推定領域に対して sobel フィルターを用いてエッジを検出する。

(4) 左画像を基準画像とし右画像とのマッチングを行う。この際、マッチングは基準画像のエッジの検出された画素に対して行い、探索窓は 5×5 画素、マッチングの評価基準として SAD(sum of absolute differences) [17] を用いる。

(5) (4) と同様に、右画像を基準画像とし左画像とのマッチングを行う。

(6) 両方向マッチングの対応をもとに誤対応を取り除く。

(7) 同一スキャンライン上の2点のエッジ間を小さい方の視差で補間する [16]。

以上より、仮想物体との奥行判定が必要な画像上の領域の奥行が求まる。

3.3 実画像とCG画像のステレオ合成

前節で求めたモデルビュー行列と現実環境の奥行情報を用いて、現実環境を撮影した画像にCGを合成する。現実物体が仮想物体より手前にある領域には、透明な物体をあらかじめ描画しCGが描画されないようにすることで、現実物体によってCGが隠蔽されているかのように表現する。具体例とともに処理の手順を図5に示す。最初に、カメラによって撮影された現実環境の画像(図5(a))上に、現実環境の奥行情報(図5(b))をもとに透明な物体を描画する(図5(c))。そして、投影パラメータとしてCCDカメラの撮像面の大きさや焦点距離を設定し、3.1.3で求めたモデルビュー行列を用いてCGをレンダリングする(図5(d),(e))。この処理を、左右それぞれの入力画像に対して行うことによって、ステレオ画像合成を実現する。

4. ビデオスルー型拡張現実感システム

3.で述べたステレオ画像合成手法の有効性を確認す

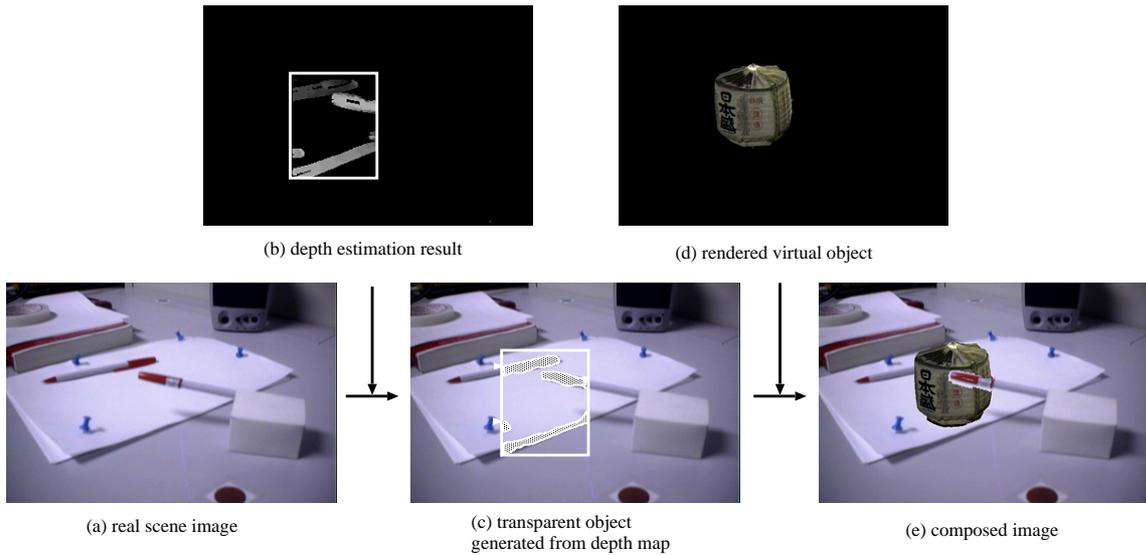


図5 画像合成処理の手順
Fig. 5 Process of image composition.

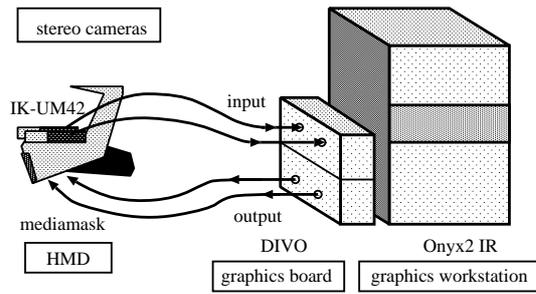


図6 プロトタイプシステムの構成
Fig. 6 Hardware configuration of prototype system.



図7 ビデオシースルー型 HMD
Fig. 7 Appearance of stereoscopic video see-through HMD.

るため、ビデオシースルー型拡張現実感システムを試作し、実験を行った。以降、4.1 ではプロトタイプシステムの構成、4.2 では実験結果について述べ、4.3 では本手法について考察する。

4.1 プロトタイプシステムの構築

プロトタイプシステムの構成を図6に示す。本システムでは、HMD(mediamask :オリンパス)に2個のCCDカメラ(IK-UM42:東芝)を取り付けたビデオシースルー型HMDを用いた。試作したビデオシースルー型HMDの外観を図7に示す。カメラ間距離(基線長 B)は6.5cmとし、光軸はユーザの視線方向と一致させ、カメラの焦点距離 f は5.5mmに固定した。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ワークステーション(Onyx2 IR MIPS R10000 195MHz 16 CPU : SGI)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を通してHMDに出力される。

4.2 実験結果

実験に用いる現実環境は作業補助などへの応用を想定し、卓上にマーカを配置した。提案手法により、実画像にCGを合成したステレオ画像を図8に示す。同図(a),(b)は、机の上の3点のマーカから求めたカメラパラメータを用いて実画像と仮想物体を合成した画

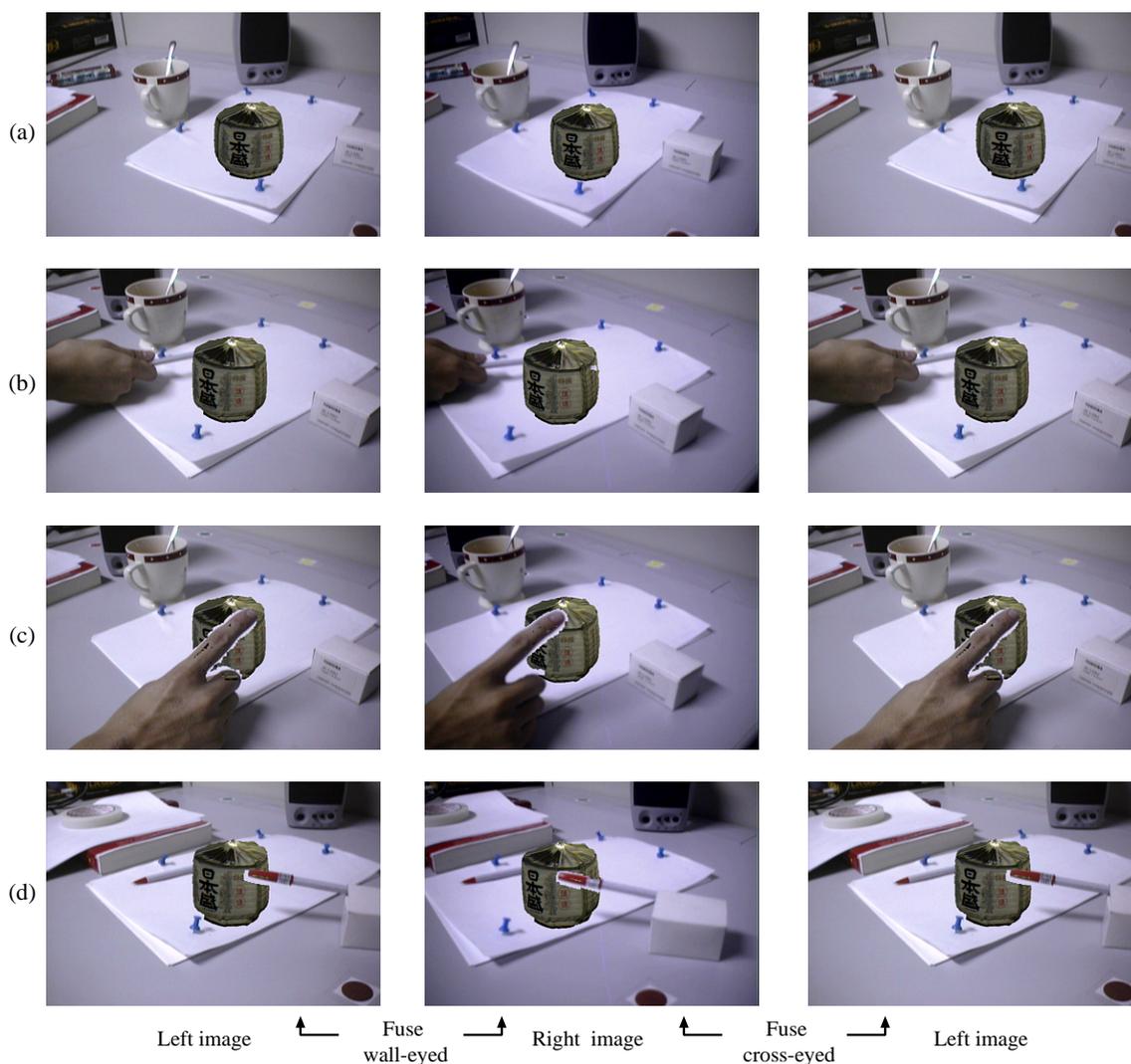


図 8 合成ステレオ画像の例
Fig. 8 Examples of composed stereo images.

像である。3 点のマーカからカメラとマーカの位置関係を求め、合成画像を提示できていることが確認できる。(c)、(d) は、仮想物体より手前に現実物体が存在する場合に、現実物体によって仮想物体の一部が隠れいされており、仮想物体と現実物体の前後関係が矛盾なく表現されていることが確認できる。また、HMD に左右のそれぞれの画像を提示することで、背景と仮想物体の両方に立体感を与え、合成画像を提示できている。

入力画像と提示画像の大きさは 720×486 画素で

ある。実際の処理はフィールド単位で行うため、 360×243 画素の画像で行われる。図 8 に示した合成画像の場合、現実環境の奥行推定の計算量は、奥行推定領域を限定することで約 10 ~ 20 % に削減が行えた。画像更新レートは、実験で用いた仮想物体 (約 3700 ポリゴン) を合成し、奥行推定領域が 360 画素 \times 243 画素 \times 32 段階^{注1)} から約 100 画素 \times 100 画素 \times 32 段階 (約 11%) に限定された場合で平均 10 フレーム/秒 (更新間隔約 100 ミリ秒) である。カメラパラメー

(注 1): 画像幅 \times 画像高 \times 奥行.

タの推定に約 20 ミリ秒, 現実環境の奥行推定に約 40 ミリ秒, CG の合成に約 20 ミリ秒, 残りは画像の入力に費やされている。ビデオシースルー HMD を用いているため, 現実環境と仮想環境との時間的なずれはない。その反面, 画像合成に費やされる時間に加え, 合成画像が出力されてから HMD に提示されるまでに遅延が生じるため, 合成画像全体が 4 ~ 5 フレーム時間(約 133 ~ 166 ミリ秒)の遅延を伴って提示される。

4.3 考 察

HMD に取り付けられたステレオカメラを用いて, 1) カメラパラメータ推定による現実環境と仮想環境の位置合せ, 2) 現実環境の奥行推定による現実物体と仮想物体の前後関係の判定を行うことで, 現実物体と仮想物体の前後関係の表現が可能なビデオシースルー型拡張現実感を構築した。プロトタイプシステムでは, ビデオレートに近い実時間処理を実現することによって, 提示環境の両眼立体視と運動立体視が可能である。

ただし, 作成したプロトタイプはカメラの基線長が眼間距離であるため, 奥行分解能の点から奥行情報の得られる範囲が制限される。具体的には, 画像上の視差 1 画素が 3 m 先であれば約 30 cm, 1 m 先であれば約 3 cm の奥行の幅をもつため, ユーザに比較的近いところにマーカが存在する必要がある。

本システムの現在の問題点を以下に挙げる。

(1) マーカ 3 点のうち一つでも実物体に隠されると, モデルビュー行列が計算できない。

(2) 仮想物体の位置や大きさによって計算時間が異なる。

(1) は, 複数のマーカを配置し, そのうちカメラに撮影されたものだけを用いてカメラパラメータを推定することで改善できる。(2) は, 仮想物体の位置や大きさに応じて, 奥行を推定する領域の解像度を変化させるなどの検討が必要である。

本手法は 3 次元位置が未知のマーカ 3 点を用いて, ある世界座標系を定義し, この世界座標系に対するカメラの位置と姿勢を取得する。そのため, システムの初期状態では仮想物体が存在せず, ユーザが対話的に仮想物体を操作して情報を付加していくタイプのシステムに応用可能である。このタイプの応用システムとしては, 現実物体と仮想物体を組み合わせることが可能な卓上でのモデリングシステムなどが考えられる。これに対して従来手法のように既知のマーカを用いる手法では, 現実環境にあらかじめ基準となる座標系を設定しておき, この座標系におけるマーカの座標値を

既知としてシステムに与えることで, 世界座標系におけるカメラの位置と姿勢を取得する。本手法を従来手法の応用例, 例えば, 作業支援システム, 美術館・博物館における案内システム等に適用する場合, あらかじめ現実環境に設定された世界座標系での座標値を用いて表示すべき仮想物体を定義しておく必要があるため, 絶対座標系でのマーカの 3 次元位置が必要となる。すなわち, マーカによって定義される世界座標系を一意に定める必要があるが, 色や形状の異なるマーカの利用や個々のマーカを識別可能な配置とすることで, この問題は容易に解決できる。また, 複数のマーカを利用可能に拡張した場合, 初期フレームにおいて最低三つの個々を識別可能なマーカが存在すれば, 一意に世界座標系を定義できるため, それ以外のマーカは個々の識別は不要で, 3 次元位置が既知である必要はない。

5. む す び

本論文では, 拡張現実感における現実世界と仮想世界の幾何学的整合問題を解決するステレオ画像合成手法を提案した。HMD に取り付けられたステレオカメラによって撮影された画像から, 1) カメラパラメータ推定による現実環境と仮想環境の位置合せ, 2) 現実環境の奥行推定による現実物体と仮想物体の前後関係の判定を実時間で行うことで現実物体と仮想物体の前後関係の表現を可能にするビデオシースルー拡張現実感システムを構築した。本システムでは, 現実環境の奥行推定問題を拡張現実感に特化することによる計算量削減により, ビデオレートに近い実時間処理を実現することで提示環境の両眼立体視と運動立体視を可能にした点が大きな特徴である。

今後の課題として, 幾何学的位置合せの精度評価, 多数のマーカを用いることによるロバストなマーカ追跡, カメラパラメータ推定と奥行推定の高精度化などが挙げられる。

謝辞 本研究の一部は文部省・科研費補助金(課題番号 09480068)による。

文 献

- [1] R. T. Azuma, "A survey of augmented reality," *Presence*, vol. 6, no. 4, pp. 355-385, 1997.
- [2] M. Bajura, H. Fuchs, and R. Ohbuchi, "Merging virtual objects with the real world: Seeing ultrasound imagery within the patient," *Proc. SIGGRAPH'92*, vol. 26, no. 2, pp. 203-210, 1992.
- [3] S. Feiner, B. MacIntyre, and D. Seligmann,

- “Knowledge-based augmented reality,” Commun. of the ACM, vol. 36, no. 7, pp. 52–62, 1993.
- [4] T. Ohshima, K. Satoh, H. Yamamoto, and H. Tamura, “AR² hockey: A case study of collaborative augmented reality,” Proc. VRAIS’98, pp. 14–18, 1998.
- [5] T. Okuma, K. Kiyokawa, H. Takemura, and N. Yokoya, “An augmented reality system using a real-time vision based registration,” Proc. ICPR’98, vol. 2, pp. 1226–1229, 1998.
- [6] M. Uenohara and T. Kanade, “Vision-based object registration for real-time image overlay,” Proc. CVRMed’95, pp. 13–22, 1995.
- [7] 中沢 裕二, 中野 誠巳, 小松 隆, 斎藤 隆弘, “画像中の特徴点に基づく実写画像とCG画像との動画合成システム,” 映情学誌, vol. 51, no. 7, pp. 1086–1095, 1997.
- [8] G. J. Klinker, K. H. Ahlers, D. E. Breen, P-Y. Chevalier, C. Crampton, D. S. Greer, D. Koller, A. Kramer, E. Rose, M. Tuceryan, and R. T. Whitaker, “Confluence of computer vision and interactive graphics for augmented reality,” Precense, vol. 6, no. 4, pp. 433–451, 1997.
- [9] 井上 剛毅, 小林 俊広, L. Quan, 大田 友一, “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.
- [10] 大隈 隆史, 清川 清, 竹村 治雄, 横矢 直和, “ビデオスルー型拡張現実感のための実画像からのカメラパラメータの実時間推定,” 信学技報, PRMU97-113, 1997.
- [11] 佐藤 清秀, 山本 裕之, 田村 秀行, “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次元センサの組合せ,” 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU’98) 講演論文集, vol. I, pp. 7–12, 1998.
- [12] A. State, G. Hirota, D. T. Chen, W. F. Garrett, and A. Livingston, “Superior augmented reality registration by integrating landmark tracking and magnetic tracking,” Proc. SIGGRAPH’96, pp. 429–438, 1996.
- [13] 奥富 正敏, “CVCV-WG 特別報告: コンピュータビジョンにおける技術評論と将来展望 (X) - ステレオ視 (Stereo Vision),” 情処研報, 96-CVIM-102, 1996.
- [14] N. Yokoya, T. Shakunaga, and M. Kanbara, “Passive range sensing techniques: Depth from images,” IEICE Trans. Inf. & Syst., vol. E82-D, no. 3, pp. 523–533, 1999.
- [15] T. Kanade, A. Yoshida, K. Oda, H. Kano, and M. Tanaka, “Stereo machine for video-rate dense depth mapping and its new application,” Proc. CVPR’96, pp. 196–202, 1996.
- [16] 松原 重徳, 岩佐 英彦, 竹村 治雄, 横矢 直和, “ステレオ視による奥行き推定に基づく実画像と仮想物体の合成,” 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU’96) 講演論文集, vol. I, pp. 43–48, 1996.
- [17] 尾上 守夫, 画像処理ハンドブック, 昭晃堂, 1987.

(平成11年3月1日受付, 年6月24日再受付)

神原 誠之 (学生員)

平9 岡山大・工・情報卒。平11 奈良先端科学技術大学院大学博士前期課程了。現在, 同大博士後期課程在学中。コンピュータビジョン, 拡張現実感の研究に従事。平10 電子情報通信学会学術奨励賞受賞。日本VR学会会員。

大隈 隆史 (正員)

平6 阪大・基礎工・情報中退。平11 奈良先端科学技術大学院大学博士後期課程了。同年電子技術総合研究所入所, 現在に至る。情報視覚化, 3次元ユーザインタフェース, 拡張現実感の研究に従事。博(工)。情報処理学会, 日本VR学会各会員。

竹村 治雄 (正員)

昭57 阪大・基礎工・情報卒。昭62 同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。平6 奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科助教授。工博。情報処理学会, IEEE, ACM, HFES, 日本VR学会, 映像情報メディア学会, ヒューマンインターフェース学会各会員。

横矢 直和 (正員)

昭49 阪大・基礎工・情報卒。昭54 同大学院博士後期課程了。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。昭61~62 マツギル大・知能機械研究センター客員教授。平4 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。平1 情報処理学会論文賞受賞。工博。情報処理学会, 人工知能学会, 日本認知科学学会, 映像情報メディア学会, IEEE 各会員。