

全周パノラマステレオ画像とCGモデルの合成による複合現実環境の構築

島村 潤[†] 山澤 一 誠[†]
竹村 治 雄[†] 横 矢 直 和[†]

近年、仮想環境の写実性の向上を目指して、実写に基づく仮想環境構築の研究がさかに行われて
いる。仮想環境において現実環境と同様の臨場感を利用者を与えるためには、任意視点映像の実時間
生成、現実環境内での奥行き隠蔽関係の再現、および動的なイベントの再現が重要となるが、対象と
する環境が大規模になるとそれらすべての実現は難しい。本論文では、ステレオ撮像が可能な全方位
画像センサを用いることによって、これらの要件を満たす仮想環境の構築法を提案する。提案手法で
は、全周パノラマステレオ動画像から全周距離画像を生成し全周実環境モデルの構築を行う。さらに、
全周実環境モデルにCGモデルを合成することによって、仮想物体に対するインタラクションが可能
な複合現実空間を構築する。この複合現実環境を没入型全周景観提示システムに実装し、視点移動を
ともなう全周パノラマステレオ画像の実時間提示によって、利用者に高い臨場感を与えられることを
確認した。

Construction of a Mixed Environment Using Panoramic Stereo Images and Computer Graphics Models

JUN SHIMAMURA,[†] KAZUMASA YAMAZAWA,[†] HARUO TAKEMURA,[†]
and NAOKAZU YOKOYA[†]

Recently virtual reality systems have been incorporating rich information available in the
real world into virtual environments in order to improve their reality. This stream has
created the field of mixed reality which seamlessly integrates the real and virtual worlds. This
paper describes a novel approach to the construction of a mixed environment. The approach
is based on capturing the dynamic real world by using a video-rate omnidirectional stereo
image sensor. The mixed environment is constructed of two different types of models: (1)
texture-mapped cylindrical models with depth of dynamic real scenes and (2) 3D computer
graphics (CG) models. The cylindrical scene model is generated from full panoramic stereo
images obtained by the omnidirectional sensor. A prototype system has been successfully
developed to confirm the feasibility of the proposed method, in which view-dependent panoramic
binocular stereo images of the mixed environment are projected on an immersive cylindrical
display nearly at video-rate.

1. はじめに

近年、コンピュータビジョンと仮想現実の両分野に
かわる複合現実感研究^{1),2)}の一環として、現実環境
の情報を用いて写実性の高い仮想環境の構築がなされ

つつある^{3)~8)}。その中でも、都市や自然環境など広域
かつ複雑な現実環境の仮想化は、都市景観の評価や環
境設計など様々な応用が考えられる。このような目的
で構築される実写映像と仮想環境を融合した複合現実
環境では、(1) 任意視点からの情景を観察(ウォーク
スルー)可能であること、(2) 仮想物体の合成を正確
に行うため現実環境の奥行き隠蔽関係が再現されてい
ること、が重要となる。また、現実環境が忠実に再現
されるには、(3) 現実環境内で発生する動的なイベ
ント(移動物体などによる環境の見え方の変化)が仮想
環境内で再現されている必要がある。

実写画像に基づく仮想環境構築においては、イメー

[†] 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Nara Institute
of Science and Technology
現在、日本電信電話株式会社サイバースペース研究所
Presently with Cyber Space Laboratories, Nippon Tele-
graph and Telephone Corporation
現在、大阪大学サイバーメディアセンター
Presently with Cybermedia Center, Osaka University

ジベーストレンダリングによって利用者に任意視点映像を提供することが多い。しかし、都市や自然環境などを対象とすると膨大な画像枚数が必要となり、その実現は困難になる。そこで、複数の視点で撮像した実写画像を利用し、近似的に三次元空間を表現する様々な手法が提案されている。

実写画像に基づき利用者の全周方向を取り囲む仮想環境の構築を実現した例として、Chen による Quick-Time VR³⁾があげられる。この手法では、あらかじめ円筒パノラマ画像を作成しておき、利用者の視線方向の平面透視投影画像を生成することによって、上下・左右方向の見回しを可能にしている。しかし、円筒パノラマ画像はカメラを回転して撮影した複数のスチル写真のつなぎ合わせで構成されるため、現実環境の奥行き隠蔽関係の再現や動的な現実環境を表現することは困難である。

広域でかつ動的な現実環境を対象として仮想環境の構築を行った例としては、回転カメラを用いた Virtual Dome⁴⁾や全方位画像センサ HyperOmni Vision の利用による実時間テレプレゼンスシステム^{5),6)}があげられる。これらの手法では、利用者を取り囲む任意方向に関して現実環境内での動的なイベントの表現が可能であるが、Virtual Dome では画像の更新レートが遅いことが、全方位画像センサを利用する手法では、現実環境内の奥行き隠蔽関係の再現が困難であることと利用者への提示画像の解像度の低さが問題となる。

以上の問題に対して本論文では、広域でかつ動的な現実環境を対象として、ステレオ撮像が可能な高分解能全方位ステレオ画像センサ^{9)~11)}で取得した全周パノラマステレオ動画像から、任意視点映像の生成、現実環境と仮想物体の奥行き隠蔽関係の再現、および動的なイベントの再現が可能な複合現実環境の構築手法を提案する。提案手法では、全周パノラマステレオ動画像から、奥行き情報を保持した全周実環境モデルの構築を行うため、現実環境との奥行き隠蔽関係を考慮した仮想物体の合成が容易であり、複合現実環境内で利用者は視点移動にともなう運動立体視と両眼立体視による奥行き知覚が可能である。また、動画像系列からの静止環境画像の生成と動物体領域の抽出を行い、これらを別々に三次元モデル化することによって動的な現実環境の簡便な表現が可能になるといった特徴を持つ。

本研究と類似した目的を持つ研究としては、Kanade らの Virtualized Room⁷⁾や Hirose らの研究⁸⁾があげられるが、Virtualized Room では動的なイベントをカメラで取り囲むことによってその三次元モデル化を

図っているため、対象が屋内環境などに限られている。また、Hirose らの方法ではオプティカルフローによる奥行き推定を行うため動的な現実環境への対応が困難であった。

以下、まず 2 章では、高分解能全方位ステレオ画像センサの概要について述べる。3 章では全周パノラマステレオ動画像からの全周実環境三次元モデルの作成手法について述べ、実際に屋外環境で撮像した全周パノラマステレオ動画像を用いたモデル生成の例を示す。4 章では構築した複合現実環境とその提示のために試作したプロトタイプシステムについて述べる。最後に 5 章で本論文のまとめを行う。

2. 全周パノラマステレオ画像の取得

本研究では写実性の高い全周実環境モデルを生成するために、現実環境の画像を用いる。このために使用される画像センサには以下のような要求があげられる。

- (1) 同一視点からの全周画像が得られること。
全周実環境モデルは利用者の全周を取り囲むデータとして生成される必要がある。このため、入力用の画像センサも視点回りの全周の情報を獲得できる必要がある。
- (2) ステレオ撮像が可能であること。
全周実環境モデルの生成のためには、奥行き情報を獲得する必要がある。このため画像センサはステレオ撮像が可能であることが望ましい。
- (3) 高分解能な撮像が可能であること。
全周実環境モデルの写実性は画像の分解能に大きく依存する。このため入力用の画像センサは高解像度の画像を撮像できる必要がある。
- (4) ビデオレートでの撮像が可能であること。
全周実環境モデルでは動物体が存在する現実環境をも再現する必要がある。このため入力用の画像センサはビデオレートでの撮像が可能でなければならない。

全周画像を取得する方法は、複数の画像を張り合わせて全周画像を生成する方法と 1 台のカメラで全周の画像を一度に取り込む方法に分類される¹²⁾。前者の入力センサには回転カメラがあり、後者には魚眼レンズやミラーの反射像を用いて 1 つの CCD カメラから全周画像を取得する全方位センサがあげられる^{13),14)}。しかし、前者は動的環境への対応に問題があり、後者の多くはセンサの分解能が低いという問題があった。

本研究では、現実環境を撮像する画像センサとして上記の 4 つの要求を満たす高分解能全方位ステレオ画像センサ^{9)~11)}を使用する。センサの構成と外観を

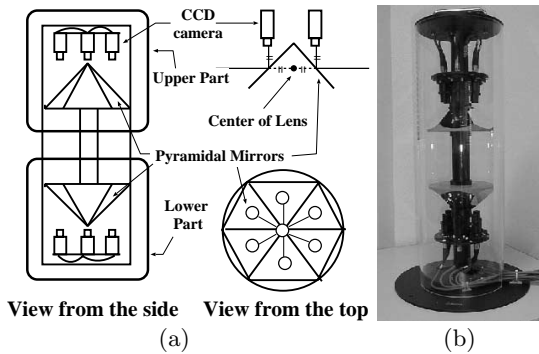


図1 全方位ステレオ画像センサ (a): 構成, (b): 外観)
Fig.1 Omnidirectional stereo image sensor: (a) geometry and (b) appearance.

図1に示す．本センサは上下対称に設置された2つの全周撮像部から成っており，上部構造は鉛直上向きの六角錐ミラーとその上に鉛直下向きに配置した6台のCCDビデオカメラで構成されている．六角錐ミラーは底面が正六角形，側面が合同な二等辺三角形である．また，底面と側面は角度が45度になるように設計されている．6台のカメラは六角錐ミラーの各側面での鏡像を撮像し，各カメラの位置は，同一視点での透視投影画像を得るためにカメラのレンズ中心の虚像が1点に重なるように調整されている．全周撮像部を上下対称に設置することによって，全周のステレオ撮像を可能にしている．上下撮像部間距離（基線長）は可変であるが，本論文では基線長を25.0cmに設定している．なお，全12台のカメラによる撮像画像は時間的な同期をとって12台のビデオデッキに並列的に記録される．

高分解能全方位ステレオ画像センサにより得られる各々のカメラからの映像是広角レンズに特有の樽型歪みが生じるため，Tsaiのキャリブレーション法¹⁵⁾を用い幾何学的歪み補正を行う．次に，カメラの個体差による隣接カメラ画像間での色の不連続を解消するために，境界部分での色の連続性を制約条件として各画像のRGB値の線形変換を行う¹⁶⁾．最後に，同時刻の上下各6枚の画像をつなぎ合わせ，円筒面に再投影することにより，縦方向の視差を持つ全周パノラマステレオ動画を生成する（詳細については文献9)~11)参照）．図2に，全方位ステレオ画像センサを用いて平城宮跡地に復元された朱雀門前で取得したカメラ画像に対して幾何学的歪み補正後に合成した全周パノラマステレオ動画のうち，ある時刻における上下の全周パノラマステレオ画像を示す．なお，生成された全周パノラマ画像は3006×330画素である．

3. 全周実環境三次元モデルの構築

本章では，全方位ステレオ画像センサにより得られる全周パノラマステレオ動画から，現実環境内での移動物体と奥行き隠蔽関係を表現可能な全周実環境モデルの作成法¹⁶⁾について述べる．

3.1 動的環境の表現

提案手法では，動的な現実環境を，静的なモデルと動的なモデルの2種類の三次元モデルのレイヤ構造として表現する¹⁷⁾．全周パノラマ動画からの静止環境画像の生成と動物体領域の抽出はそれぞれ以下の手法により実現する．

● 静止環境画像の生成

センサ固定で撮像された動画の各画素において，静止背景が映っている時間的割合が大きい場合には，すべての画素に対して時系列の画素値のヒストグラムを作成すると，そのピーク（あるいはモード）はそれぞれ現実環境での背景値を示すこととなる．この時間軸方向のモードフィルタを上下のパノラマステレオ動画にそれぞれ適用することによって静止環境画像のステレオペアを生成する．

図3に，センサ固定の状態で移動物体を含む現実環境を撮影した全周パノラマ動画系列（図2を含む）から作成した全周パノラマステレオ静止環境画像を示す．全周パノラマ静止環境画像上に図2で存在していた歩行者と移動車両の領域を白い枠で示している．図3から，生成された全周パノラマ静止環境画像では，現実環境内での移動物体が除去されていることが確認できる．

● 動物体領域の抽出

画像からの動物体領域の抽出には画像どうしの差分を行うことにより実現する．この際，屋外環境下での微小な照明条件の変化によるノイズの発生を抑えるため，背景差分ではなくフレーム間差分を採用する．

図2で示した上部のパノラマ画像から抽出した動物体領域を図4に示す．同図より動きのある人物や車両領域では領域の抽出が正確に行えていることが分かる．しかし遠方に存在する電車領域に関しては正確な抽出が行えていない．これは電車領域内での階調値が一定であることに起因する．

上述の手法により生成した静止環境画像と動物体領域から，それぞれ三次元モデルを作成し，レイヤ構造として重畳配置することにより，奥行き隠蔽関係の再現がなされ，かつ動的な現実環境の表現が可能な全周実環境モデルの構築が行える．静止環境画像からの全周実環境モデル構築の処理手順を図5に示す．まず，



図 2 全周パノラマステレオ画像

Fig. 2 A pair of computed panoramic stereo images.



図 3 全周パノラマステレオ静止環境画像

Fig. 3 A pair of panoramic stereo images of a static scene without moving objects.

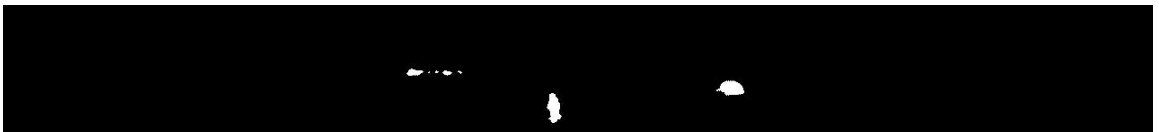


図 4 全周パノラマステレオ画像内での動物体の領域

Fig. 4 Extracted moving object regions in the upper panoramic image.

全周パノラマステレオ動画から静止環境画像と動物体領域の抽出を行っておき(図 5 A), 次に, 取得した上下のステレオ画像対から, 全周実環境モデルに奥行き情報を持たせるための全周パノラマ距離画像を作成する(図 5 B). 最後に, 作成した全周パノラマ距離画像から全周実環境モデルを生成し, これに全周画像をマッピングする(図 5 C). 動物体領域に関してもほぼ同様の処理手順である. 以下の各節では, 距離画像の生成, 全周実環境モデル構築の詳細について述べる.

3.2 全周パノラマステレオ画像からの距離画像生成

本節では, 前節で得た静止環境画像および動物体領域から三次元モデルを生成する際に利用する距離画像の生成法について述べる.

3.2.1 ステレオ投影系

全方位ステレオ画像センサから得られる上下の全周パノラマステレオ画像上の点を図 6 のような縦方向の基線を持ったステレオ座標系で表現する. また, 各々の全周画像上の点は円筒面画像座標系で, 実世界は

ワールド円筒座標系でそれぞれ表現する.

ここで, 仮想カメラの焦点距離を f , 基線長を b とし, ワールド円筒座標系の点 $P(\Theta, H, D)$ が上下の円筒面画像座標系の座標 $p_u(\theta_u, h_u)$, $p_d(\theta_d, h_d)$ にそれぞれ投影されたとすると, エピポーラ拘束により

$$\theta_u = \theta_d \quad (1)$$

が成立し, 点 $P(\Theta, H, D)$ の座標は画像座標を用いてそれぞれ次のように表すことができる.

$$\Theta = \theta_u = \theta_d \quad (2)$$

$$H = \frac{b \cdot (h_u + h_d)}{2(h_d - h_u)} \quad (3)$$

$$D = \frac{b \cdot f}{h_d - h_u} \quad (4)$$

式 (4) より, f, b が固定であれば奥行きは視差 $d \equiv h_d - h_u$ にのみ依存することが分かる. すなわち, 視差 d が推定されたならば実世界中の点 P の三次元位置 (Θ, H, D) が一意に決まる.

3.2.2 奥行き推定処理

現実環境の奥行き推定のための視差推定を行う際,

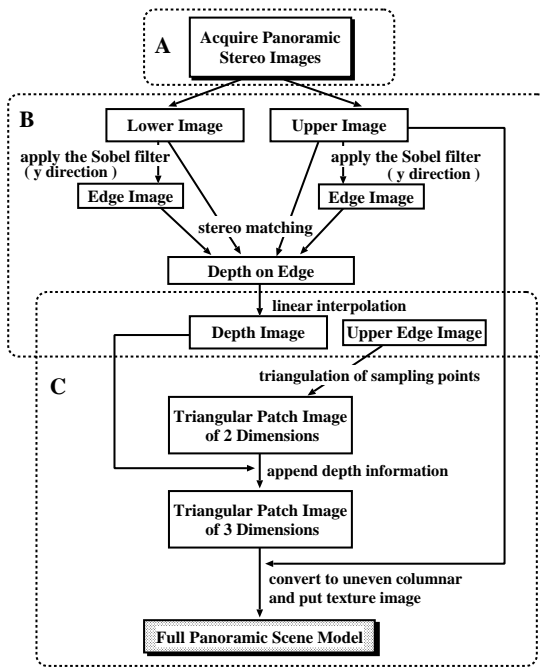


図5 全周実環境三次元モデル構築の処理手順

Fig. 5 Flow diagram of constructing a 3-D scene model.

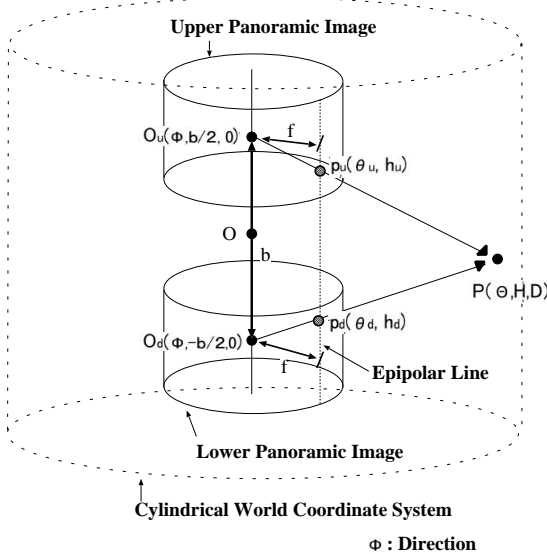


図6 全周パノラマステレオ画像の投影系

Fig. 6 Stereo geometry of cylindrical panoramic images.

パノラマ画像全体について視差を求めると、ノイズなどの影響のため誤対応が生じ、三次元モデルを構築した際にノイズが多く、利用者に違和感を与えてしまう。そこで本研究では、ノイズの少ない三次元モデル構築のため、対応点の決定が容易でかつ信頼性の高いエッジ部分についてのみ視差推定を行い、他の領域はエッ

ジ部分の視差情報から補間する方法をとる。

(1) 特徴点抽出

ステレオ視においては一般的に、エピポーラ線に直交するエッジ上では対応点の決定が容易であり、かつマッチングの信頼性が高いことが知られている。そこで、まず、上下両方の全周パノラマ画像に縦方向の Sobel フィルタを適用し、縦のエピポーラ線に交差するエッジ要素をステレオマッチングの特徴点として抽出する。

(2) ステレオマッチング

上下パノラマ画像の特徴点間の対応を相関法によって求める。その際、マッチングの評価尺度には、特徴点近傍の窓領域での画像の輝度値に関する正規化相互相関を用いる。ただし、正規化相互相関値にしきい値を設け、類似度評価の高い対応画素のみを採用する。なお、本手法では、上部パノラマ画像から下部パノラマ画像への対応と、逆に下部パノラマ画像から上部パノラマ画像への対応の2段階マッチングを行い、両者が一致しない場合には誤対応として棄却することによって、信頼性の高い対応のみを採用する。

(3) 奥行き情報の補間

エピポーラ線と交差するエッジ上では対応の信頼性が高いことを考慮し、本来エッジである部分に横長のメディアンフィルタをかけることにより視差情報の欠落している点を近傍の視差の中央値で埋める処理を施す。続いて、得られた上部エッジ画像上での視差画像を縦方向に線形補間することにより密な視差画像を作成する。線形補間の際、大半の屋外画像の上部領域には空が映っている性質を利用し、縦方向のスカンライン上で最初に出現した視差情報から線形補間を行う。最後に、得られた各々の画素の視差情報を式(4)に代入することにより距離画像を得る。

以上の処理により図3の全周パノラマステレオ静止環境画像から作成した上部全周パノラマ視差画像を図7に示す。図7は視差を輝度で表現しており、視差が大きいほど明るく、小さいほど暗く表示している。ただし、同図下部の黒画素はステレオマッチングにおいて対応点が検出されなかったことを表している。なお、ステレオマッチングの窓サイズは9×9画素、正規化相互相関のしきい値は0.9、メディアンフィルタの窓サイズは5×3画素にそれぞれ経験的に設定した。

3.3 現実環境の三次元モデル化

3.2節により得られる距離画像は、補間された視差から作成したものであるため精度の高い距離情報こそ持ちえないが、物体形状や視点からの奥行き関係を表現するには十分な情報を保持している。本手法では距

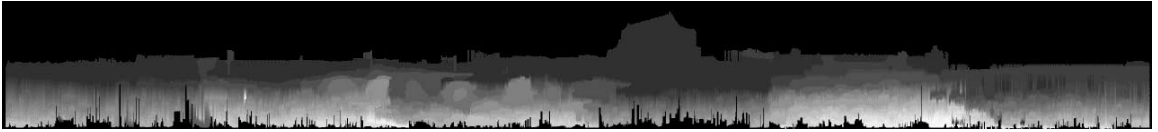


図 7 全周パノラマ視差画像

Fig. 7 Panoramic disparity map generated from panoramic stereo images.

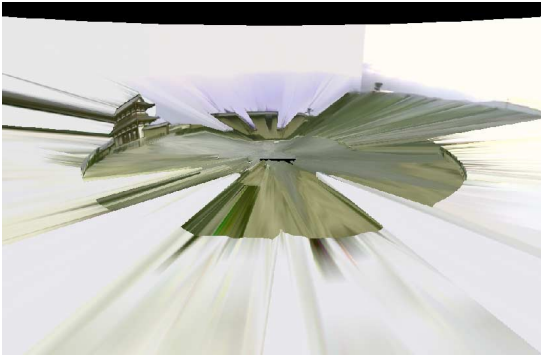


図 8 テクスチャ付き全周実環境モデルの鳥瞰図

Fig. 8 Bird's-eye view of texture-mapped full panoramic real scene model.

離画像を利用し、実環境モデルに奥行き情報を付加することにより利用者の視点移動による運動視差の効果や物体どうしの奥行き隠蔽関係を表現する。

以下に 3.2 節で得られた距離画像から静的なモデルと動的なモデルを含む全周実環境モデルを生成する際の各段階での処理を示す。

- (1) 上部パノラマ画像に Sobel フィルタを適用することにより得るエッジ画像を一定画素ごとにサンプリングする。
- (2) 構築される三次元モデルの歪みを軽減するため、距離画像を横、縦軸方向にそれぞれ一定画素ごとにサンプリングし、これらの点とステップ 1 で抽出した点を Delaunay の三角形分割法¹⁸⁾を用いて接続する。
- (3) ステップ 2 で生成された三角形の頂点の奥行き値を距離画像から読み込み、三次元三角形パッチモデルを作成する。
- (4) ステップ 3 で得られた三次元三角形パッチモデルをワールド円筒座標系へと変換する。
- (5) 最後に、三角形パッチモデルに、上部パノラマ画像をテクスチャマッピングする。

以上の処理を静止環境画像と、撮像した全フレームにおいて抽出された動物体領域に施すことにより三次元モデルをそれぞれ生成する。図 8 に、図 7 を利用して構築した静的な三次元モデルに図 3 の上部パノラマ画像をテクスチャマッピングした全周実環境モデル

の鳥瞰図を示す。実環境の三次元モデル化において、エッジ画像のサンプリング間隔を 2 画素、距離画像のサンプリング間隔を 31 画素とし、この例ではポリゴン数は 13,400 である。

4. 複合現実環境の構築と提示

本章では 3 章で構築した全周実環境三次元モデルを利用した複合現実環境の生成とその提示のために試作したプロトタイプシステムについて述べる。

4.1 全周実環境モデルへの CG モデルの合成による複合現実環境の構築

全周実環境モデルは奥行き情報を保持しているため、CG モデルで表現される仮想物体の合成は現実環境との奥行き隠蔽関係を考慮して行うことができる。

全周実環境モデルに対して、CG 作成ツール (Alias/WaveFront) を用いて生成した三次元形状を持つ樹木の CG モデルを合成した例を図 9 に示す。図 9 は複合現実環境内で視点を変更した様子 (視線方向は不変) を示しており、視点移動にともなって車両と建築物などの画像上での位置関係から運動視差の効果が表現されていることが確認できる。また、図 10 は、静的な全周実環境モデルに対して異なる時刻での移動物体領域をレイヤ構造として重畳配置した様子を、視点位置が撮像位置と一致している場合 (上図) と新しい視点位置の場合 (下図) の両方について示したものである。

4.2 複合現実環境提示システム

景観シミュレーションを目的として実際に試作した没入型複合現実環境提示システムについて述べる。構築したプロトタイプシステムの構成を図 11 に示す。全周実環境モデルの構築には SGI Onyx2 (InfiniteReality 2×2, 8 CPUs MIPS R10000, 250 MHz) を使用し、仮想物体の生成には CG 作成ツール (Alias/WaveFront) を用いた。没入型映像表示装置には、水平視野角 330 度の映像を 6 台のプロジェクタにより分割投影する直径 6 m、高さ 2.4 m の大型円筒面スクリーン CYLINDRA (Cylindrical Yard with Large, Immersive and Novel Display for Reality Applications の略) を使用した。本システム

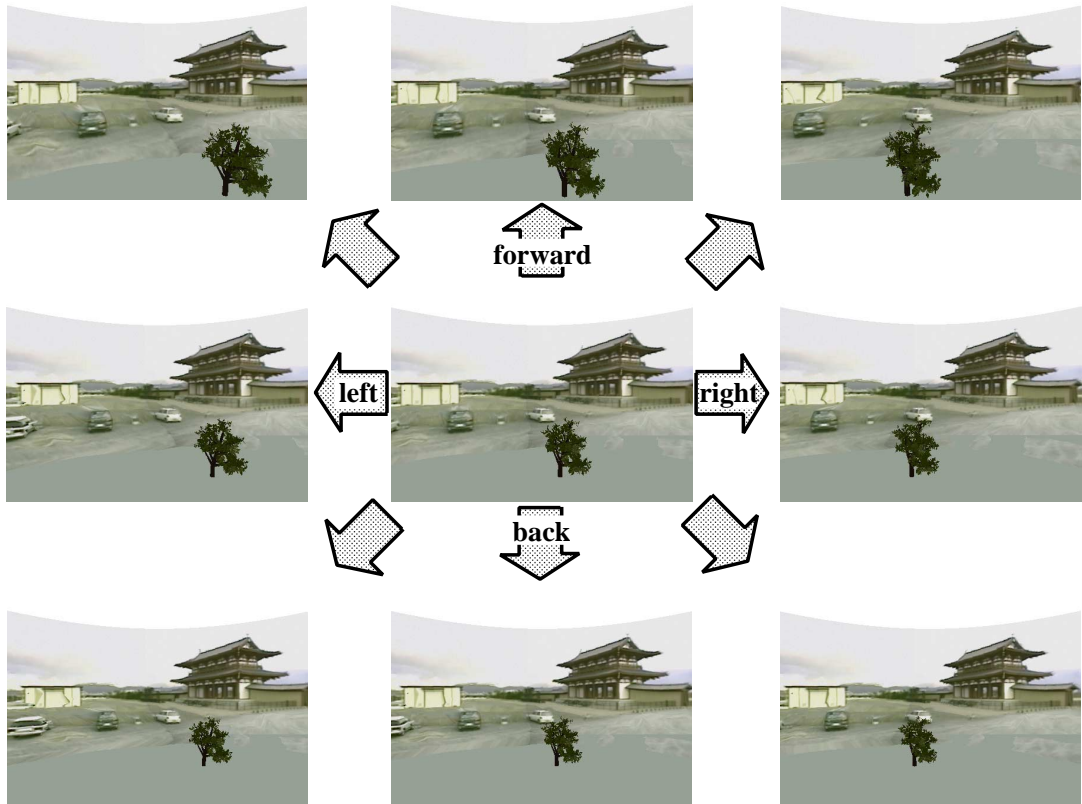


図 9 視点を変えた複合現実空間の描画 (中央: 撮影地点からの様子)
 Fig. 9 Mixed environment observed from different viewpoints (center: original viewpoint of sensor).

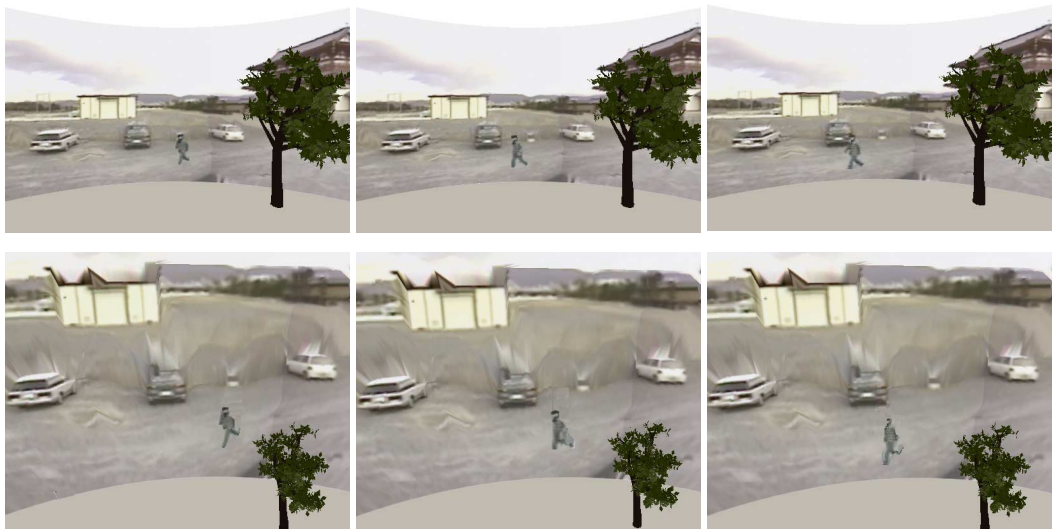


図 10 静的な全周環境モデルへ動物体領域を配置した様子 (上: 撮影地点からの様子, 下: 撮影地点とは異なる上方視点からの様子)
 Fig. 10 Superimposing dynamic event layers onto a static scene layer with virtual objects (top: original viewpoint; bottom: new higher viewpoint).

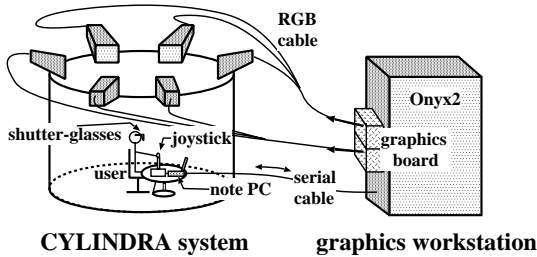


図 11 複合現実環境提示システムの構成

Fig. 11 Hardware configuration of immersive mixed reality system.

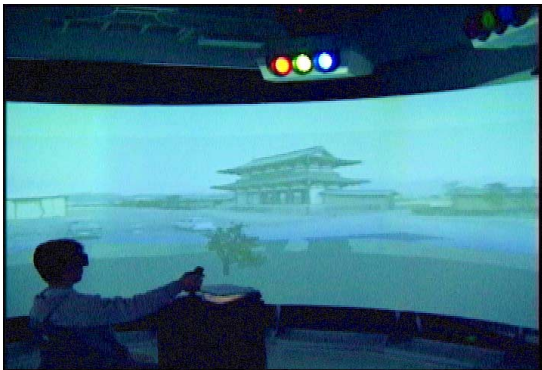


図 12 没入型映像提示システム CYLINDRA への複合現実環境の提示

Fig. 12 User's appearance in mixed environment using CYLINDRA system.

では、人間が立体視することのできる横方向視差を有する両眼ステレオ画像を生成・提示しており、これを液晶シャッター眼鏡 (SB300/ソリッドレイ) を通して観察することによって、利用者は視点移動にともなう運動立体視に加えて両眼立体視が可能となっている。複合現実環境内での視点移動はジョイスティック (SideWinder Precision Pro/Microsoft) を用いることにより実現している。また、利用者は、複合現実環境内においては、ジョイスティックを用いて現実環境との奥行き隠蔽関係を考慮した仮想物体の移動操作を行うことができる。

複合現実環境提示システムにおける提示画像の更新速度は、 6144×768 画素の両眼ステレオ画像を 2CPU を用いて描画した際、約 13 フレーム/秒であった。なお、この場合の静的な複合現実環境全体のポリゴン数は 54,740 (全周実環境モデル: 13,400 ポリゴン, CG モデル: 41,340 ポリゴン) である。構築した複合現実環境を CYLINDRA へ表示し、利用者がジョイスティックを用いて視点移動を行っている様子を図 12 に示す。実験により、複合現実環境内で利用者は高い

臨場感のもとで実時間視点移動が行えることが確認された。

5. おわりに

本論文では、都市や自然環境など、現実環境の仮想化を目的として、高分解能全方位ステレオ画像センサで取得した全周パノラマステレオ動画画像から抽出した奥行き情報を保持する全周実環境モデルと CG モデルを合成する複合現実環境の構築について述べた。全周実環境モデルの構築においては、動的な現実環境内での奥行き関係を再現するため、全周パノラマステレオ動画画像から静止環境画像の生成と動物体領域の抽出を行い、それぞれに対して距離画像を生成し三次元モデル化を行った。本研究の特徴は、新しいセンサ技術と既存のコンピュータビジョン技術を用いて新しい複合現実環境の構築法を示したところにある。

本研究で構築した複合現実環境は、(1) 任意視点からの情景を観察可能である、(2) 仮想物体と現実環境の奥行き隠蔽関係が表現される、(3) 現実環境内での動的なイベント (移動物体の存在) が再現される、という特徴をもっている。実際に、試作した没入型複合現実環境提示システムを用いた実験を行い、利用者の視点移動にともなう運動立体視と両眼立体視により高い臨場感が得られることが確認された。提案手法・システムの利用により、都市景観評価や環境設計など様々な応用が可能になると期待される。

開発したプロトタイプシステムでは、全方位ステレオ画像撮影地点近傍での視点移動は違和感なく行えるが、観察視点位置が撮影地点から大きく離れると三次元情報・テクスチャを持たない部分が目立ち違和感が生じる。このため、現状では、広範囲の視点移動を必要とする自由なウォークスルーには不向きである。また、全方位ステレオ画像センサの基線長の制約から遠方の奥行き精度には限界がある。今後の課題として、視点の異なる複数の全周パノラマステレオ画像から構築される複数の全周実環境モデルを利用者の視点変化に応じて滑らかに切替える手法への拡張が必要であると考えられる。

謝辞 本研究の一部は、創造的情報通信技術研究開発推進制度における通信・放送機構からの受託研究「実環境と仮想環境を融合した協調作業通信環境に関する研究」による。

参考文献

- 1) Milgram, P. and Kishino, F.: A taxonomy of mixed reality visual display, *IEICE Trans.*

- Information and Systems*, Vol.E77-D, No.12, pp.1321-1329 (1994).
- 2) Ohta, Y. and Tamura, H. (Eds.): *Mixed Reality—Merging Real and Virtual Worlds*, Ohmsha & Springer-Verlag, Tokyo (1999).
 - 3) Chen, S.E.: QuickTime VR—An image-based approach to virtual environment navigation, *Proc. SIGGRAPH'95*, pp.29-38 (1995).
 - 4) 廣瀬通孝, 佐藤慎一: 人工現実感技術を用いた臨場感の合成とその伝達, 第9回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, pp.111-116 (1993).
 - 5) Onoe, Y., Yamazawa, K., Takemura, H. and Yokoya, N.: Telepresence by real-time view-dependent image generation from omnidirectional video streams, *Computer Vision and Image Understanding*, Vol.71, No.2, pp.154-165 (1998).
 - 6) 山澤一誠, 尾上良雄, 横矢直和, 竹村治雄: 全方位画像からの視線追従型実時間画像生成によるテレプレゼンス, 電子情報通信学会論文誌(D-II), Vol.J81-D-II, No.5, pp.880-887 (1998).
 - 7) Kanade, T., Rander, P. and Narayanan, P.J.: Virtualized reality: Constructing virtual worlds from real scenes, *IEEE MultiMedia*, Vol.4, No.1, pp.34-47 (1997).
 - 8) Hirose, M., Watanabe, S. and Endo, T.: Generation of wide-range virtual spaces using photographic images, *Proc. Virtual Reality Annual Int. Sympo.'98*, pp.234-241 (1998).
 - 9) 山澤一誠, 岩佐英彦, 竹村治雄, 横矢直和: ピラミッド型ミラーを用いた高分解能全方位ステレオ画像センサ, 1997年電子情報通信学会総合大会講演論文集, No.D-12-146 (1997).
 - 10) 川西隆仁, 山澤一誠, 岩佐英彦, 竹村治雄, 横矢直和: 六角錐ミラーを用いた全方位ステレオ画像センサによる高解像度ステレオパノラマ動画像の作成, 電子情報通信学会技術研究報告, PRMU97-118 (1997).
 - 11) Kawanishi, T., Yamazawa, K., Iwasa, H., Takemura, H. and Yokoya, N.: Generation of high-resolution stereo panoramic images by omnidirectional imaging sensor using hexagonal pyramidal mirrors, *Proc. 14th IAPR Int. Conf.on Pattern Recognition*, Vol.1, pp.485-489 (1998).
 - 12) 横矢直和: 3Dパノラマ画像合成技術, 映像情報メディア学会誌, Vol.54, No.3, pp.338-342 (2000).
 - 13) Yagi, Y.: Omnidirectional sensing and its applications, *IEICE Trans. Information and Systems*, Vol.E82-D, No.3, pp.568-579 (1999).
 - 14) 横矢直和: 全方位ビデオカメラを用いた広域屋外環境の仮想化, 情報処理学会研究報告, CVIM119-15 (1999).
 - 15) Tsai, R.Y.: A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses, *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol.RA-3, No.4, pp.323-344 (1987).
 - 16) 島村 潤: 全周パノラマステレオ画像とCGモデルの合成による仮想環境の構成と提示, 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科修士論文, NAIST-IS-MT9851050 (2000).
 - 17) Shimamura, J., Yokoya, N., Takemura, H. and Yamazawa, K.: Construction of an immersive mixed environment using an omnidirectional stereo image sensor, *Proc. IEEE Workshop on Omnidirectional Vision*, pp.62-69 (2000).
 - 18) Heckbert, P. (Ed.): *Graphics Gems IV*, Academic Press Professional, Boston (1994).

(平成12年9月1日受付)

(平成13年1月17日採録)

(担当編集委員 八木 康史)



島村 潤

1998年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。2000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。同年日本電信電話(株)入社,サイバースペース研究所。在学中,コンピュータビジョン,複合現実の研究に従事。電子情報通信学会会員。



山澤 一誠

1992年大阪大学基礎工学部情報工学科卒業。1994年同大学院基礎工学研究科博士前期課程修了。1996年同大学院博士後期課程中退。同年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助手。ロボットビジョン,複合現実の研究に従事。平成8年度電子情報通信学会論文賞受賞。博士(工学)。電子情報通信学会,日本ロボット学会,日本バーチャルリアリティ学会各会員。



竹村 治雄 (正会員)

1982年大阪大学基礎工学部情報工学科卒業。1987年同大学院基礎工学研究科博士後期課程単位取得退学。同年ATR入社、通信システム研究所。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。1998～1999年カナダ・トロント大学客員助教授。2001年大阪大学サイバーメディアセンター教授。3次元ユーザインタフェース、CSCW、仮想現実等の研究に従事。工学博士。IEEE、ACM、HFES、電子情報通信学会、映像情報メディア学会、ヒューマンインタフェース学会、日本バーチャルリアリティ学会各会員。



横矢 直和 (正会員)

1974年大阪大学基礎工学部情報工学科卒業。1979年同大学院基礎工学研究科博士後期課程修了。同年電子技術総合研究所入所。1986～1987年カナダ・マギル大学知能機械研究

センター客員教授。1993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、同大学情報科学研究科教授、情報科学センター長(兼任)。画像処理、コンピュータビジョン、複合現実等の研究に従事。平成元年度情報処理学会論文賞受賞。工学博士。IEEE、電子情報通信学会、映像情報メディア学会、画像電子学会、人工知能学会、日本認知科学会、日本バーチャルリアリティ学会各会員。