

複数の全方位ライブ映像からの自由視点テレプレゼンス

石川 智也[†] 山澤 一誠[†] 横矢 直和[†]

[†]奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 〒630-0192 奈良県生駒市高山町 8916-5

E-mail: † {tomoya-i, yamazawa, yokoya}@is.naist.jp

あらまし ネットワークの高速化や PC の高性能化に伴い、インターネット等のネットワーク環境下で遠隔地の映像を伝送・提示するテレプレゼンスの研究が盛んに行われている。従来のテレプレゼンスでは、利用者の視点位置は実際の撮影位置に制限されていることや、自由に視点を移動できる場合であっても実際に画像が提示可能な範囲は配置されたカメラの内側の僅かな領域に限られているといった制約があった。そこで我々は、より高臨場感のテレプレゼンスの実現のために、動的実環境を撮影したライブ映像をもとに視線方向と視点位置を自由に変更可能なテレプレゼンスシステムを提案する。提案システムは多地点の全方位カメラにより、配置されたカメラの内外問わず同時に仮想化する。さらに、ネットワーク上で配信されるライブ映像から高速に自由視点画像を生成し利用者に提示する。

キーワード 自由視点, テレプレゼンス, ネットワーク, 全方位ライブ映像

Novel View Telepresence Using Multiple Omni-directional Live Videos

Tomoya ISHIKAWA[†] Kazumasa YAMAZAWA[†] and Naokazu YOKOYA[†]

[†] Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

8916-5 Takayama, Ikoma, Nara, 630-0192 Japan

E-mail: † {tomoya-i, yamazawa, yokoya}@is.naist.jp

Abstract With high-speed network and high performance PC, networked telepresence which allows a user to see a virtualized real scene in remote places has been investigated. In conventional telepresence, the user's view-point is restricted onto the camera path and the system which can change user's view-point freely needs the assumption that the positions of objects are limited within the area covered by the cameras. We propose a novel view telepresence system which enables a user to control the view-point and view-direction by virtualizing real dynamic environments. Our system simultaneously virtualizes inside and outside of cameras located in a scene. Further, it generates novel view images in real-time from omni-directional live videos transferred on network.

Keyword Novel view, Telepresence, Network, Omni-directional live video

1. はじめに

近年のネットワークの高速化や PC の高性能化に伴って、利用者に対し時空間的に隔たった場所に実際にいるかのような没入感覚を与える技術であるテレプレゼンスの研究が盛んに行われている[1,2]。テレプレゼンスでは遠隔地の現実環境を撮影した画像から仮想環境を構築するため、3DCG オブジェクトを用いて構築した環境に比べ利用者に与える没入感覚が高い。そのため、仮想旅行やゲーム等のエンターテインメント分野のみならず、教育・医療分野でのデジタルコンテンツとしても利用可能であり、その応用分野は広い。

本研究では、高臨場感のテレプレゼンスの実現を目的として、動的環境を撮影したライブ映像をもとに視線方向と視点位置を自由に変更可能なテレプレゼンスシステムを提案する。特に、利用者に没入感覚を与え

るために、環境に配置されたカメラの内側の仮想化のみならず外側の仮想化にも同時に対応し、撮影環境全体の仮想化を実現する。そのためには、以下の機能が要求される。

- (A) 動的な撮影環境全体に対応
- (B) 遠隔地映像の伝送
- (C) ライブ映像からの自由視点画像生成
- (D) 利用者の動作に応じた画像提示

以下では、要求機能(A)~(D)に焦点を当て関連研究を概観する。

テレプレゼンスにおいて仮想環境の表現方法は大きく二つに分類することができる。撮影環境を明示的に三次元復元することなく画像の変形・合成により仮想環境を構築・提示する Image Based Rendering (IBR) と、多地点で撮影した画像から三次元復元によって仮

想環境を構築・提示する Model Based Rendering(MBR)
である。

IBR に基づく手法により自由な視点位置で遠隔地を
観賞可能なシステムにサッカーシーンを対象にした
Koyama ら [3]や稲本ら [4]のシステムがある。Koyama
ら [3]は、利用者の視点位置とサッカープレイヤは離れ
ているという仮定に基づき、平面にプレイヤの画像を
マッピングし、近似的に自由な視点での画像を提示し
た。さらに、利用者の PC にサッカー場の 3DCG オブ
ジェクトを予め送信しておき、プレイヤ画像とプレイ
ヤの位置情報のみを逐次ネットワーク配信することで
遠隔地でのライブ映像観賞を実現している。稲本ら [4]
は、サッカーフィールドやゴールポストは複数の平面
で構成されていることや遠景は平面と見做せることを
利用し、それらに Homography を適用した。プレイヤ
に対しては F 行列を用いた 2 画像間の対応付けと
Morphing により自由視点画像を生成した。さらに、こ
の手法を用いた自由視点観賞システムを提案している。
これらのシステムは、視点位置と撮影対象までの距離
に関する仮定や 2 画像間の Morphing による視線方向
の制限により、要求機能(A, D)に対応するのは困難とな
っている。

一方、MBR に基づく手法を用いたシステムには、
Kanade ら [5]や斎藤ら [6]のシステムが挙げられる。こ
れらのシステムでは、環境を取り囲むように複数のカ
メラを配置し、その内側の環境を三次元復元によって
仮想化する。MBR を用いたシステムでは、複数のカメ
ラ映像から三次元復元を行うため非常に多くの計算コ
ストがかかる。そのため、要求機能(D)の実現は困難と
なる。また、三次元復元の精度が提示画像の品質に大
きく影響することから、なるべく多くのカメラが同じ
領域を撮影するようにカメラを配置するため、実際に
提示可能な仮想環境は配置されたカメラの内側の極僅
かな領域に限られる(要求機能(A)に非対応)。テレプレ
ゼンスにおいて、利用者の視線方向・視点位置以外の
仮想環境を提示する必要はないことや、撮影環境全体
の仮想化を考慮すると MBR よりも IBR が適している。

本研究では、要求機能(A)～(D)を満たすテレプレ
ゼンスシステムの実現のために、多地点の全方位カメ
ラにより動的環境を撮影し、(A)カメラの内外の動的
環境に対応する。さらに、取得した全方位画像を静的
領域と動的領域に分離し、ネットワークを介すること
で(B)遠隔地へ各領域の画像を伝送する。伝送され
たそれぞれの領域に対して、IBR に基づいた自由視
点画像生成手法を適用することで(C)ライブ映像か
ら高速に自由視点画像を生成する。また、利用者は位
置・姿勢センサ付き HMD を装着することで、(D)利
用者の動作に応じた画像提示を可能にする。

以下、2 節では本研究で用いる全方位カメラ
HyperOmniVision の光学系とそのキャリブレーション
について述べ、3 節では多地点全方位画像からの自由
視点画像生成について述べる。4 節では構築した自由
視点テレプレゼンスシステムのプロトタイプについて
述べる。最後に 5 節でまとめと今後の課題について述
べる。

2. 全方位カメラ HyperOmniVision

本研究で用いる全方位カメラ HyperOmniVision[7]は、
その光学特性が透視投影であることやビデオレートの
全方位映像を容易に取得可能といった特徴がある。こ
れらの特徴は、目標とするテレプレゼンスシステムに
適している。また、この全方位カメラを多地点に配置
することで、環境中に配置されたカメラの内外問わず
同時に仮想化することが可能となる。以下に
HyperOmniVision の光学系と自由視点画像生成に必要
なカメラパラメータのキャリブレーションについて説
明する。

2.1. 光学系

図 1 に HyperOmniVision[7]の光学系を示す。ミラー
部の曲面は回転二葉双曲面を用いており、図 1 に示す
ように二つの焦点 O_M 、 O_C を持ち、 O_C にカメラの光
学中心が位置するようにミラーを取り付ける。Z 軸を
鉛直軸とする三次元カメラ座標系 (X, Y, Z) を考えると、
双曲面ミラーの面、ミラー焦点 O_M 、およびカメラの
光学中心 O_C は式(1)のように表せる(a, b, c は双曲面
の形状を定義する定数)。

$$\text{ミラー曲面: } \frac{X^2 + Y^2}{a^2} - \frac{Z^2}{b^2} = -1$$

$$\text{ミラー焦点 } O_M : (0, 0, +c) \quad (1)$$

$$\text{カメラの光学中心 } O_C : (0, 0, -c) \quad (c = \sqrt{a^2 + b^2})$$

2.2. カメラパラメータのキャリブレーション

環境中の三次元位置が既知の基準点(以下、マーカ
と呼ぶ)を用いてカメラの画像中心 (C_x, C_y) と焦点距
離 f 、世界座標系に対する位置 $T(t_x, t_y, t_z)$ ・姿勢
 $R(r_x, r_y, r_z)$ の 9 パラメータを推定する。ここで推定し
た位置・姿勢情報は、後述の自由視点画像の生成結果
に大きな影響を与えるため、精度良く推定する必要が
ある。

本研究では、根岸ら [8]と同様のアプローチにより、
全方位カメラの各パラメータ
 $(C_x, C_y, f, t_x, t_y, t_z, r_x, r_y, r_z)$ を推定する。その際、ミラ
ーの内側の焦点 O_M はカメラの光軸上であり、カメラ
はミラーの外側の焦点 O_C に配置されていると仮定す
る。そして、ミラーの形状パラメータ a, b, c は既知と
する。この仮定の下で、三次元位置が既知のマーカの
再投影誤差を最小化するアプローチにより、カメラの
焦点距離と世界座標系に対する位置・姿勢を推定する。

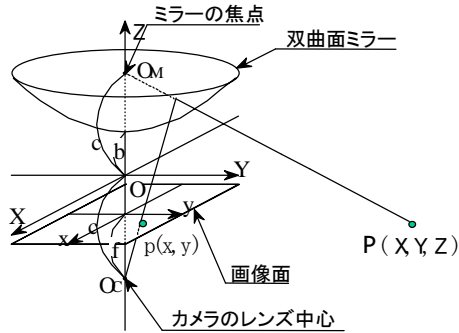


図 1. HyperOmniVision の光学系

まず、画像中心 (C_x, C_y) を画像上に投影されたミラーの縁を利用することで推定する。根岸らはキャプチャボードの影響による画像のアスペクト比の変化に対応するために、ミラーの縁と楕円方程式をフィッティングすることで画像中心を推定している。これに対し、本研究では HyperOmniVision のカメラ部にアスペクト比が 1.0 のデジタルカメラを使用しているため、画像中心推定には円方程式を用いる。この場合、ミラーの縁上の点を $(x_i, y_i) (i=1, \dots, N)$ 、 r を円の半径とすると、これらの点と円方程式の誤差関数 X_c は以下の式で定義できる。

$$X_c = \sum_{i=1}^N d_i^2 \quad (2)$$

$$d_i = \sqrt{(x_i - C_x)^2 + (y_i - C_y)^2} - r$$

式(2)の最小化によって画像中心 (C_x, C_y) を推定する。

次に、上で推定した画像中心 (C_x, C_y) と暫定的に設定した 7 パラメータ $(f, t_x, t_y, t_z, r_x, r_y, r_z)$ で三次元位置が既知のマーカが投影される画像上の点と、実際に画像上で検出された点との二乗誤差を最小化することで、カメラの焦点距離と位置・姿勢を推定する。

このとき、1 枚のキャリブレーションボードを用いて推定を行った場合、全方位画像中の特定方向にしかマーカが写らないため推定結果に偏りを生じる。さらに同一平面にしかマーカを配置できないため精度の良い推定が困難となる。そこで、環境中の特徴的な点(建物や机の角等)を三次元位置計測器(トータルステーション)により偏りなく計測することで、空間的に全方向に分布したマーカ集合を得る。これにより、推定結果の偏りを防止し、さらに精度の良い推定が可能となる。

3. 複数の全方位画像からの自由視点画像生成

環境中に配置された多地点の全方位カメラから得られる全方位画像から自由視点画像を生成する処理について述べる。提案システムでは、多地点に配置されたカメラのうち、自由視点位置を取り囲むような三角形を成すことができる 3 つのカメラを選択する。これは、Morphing に基づく自由視点画像生成の際に平面的な視点移動を可能にすることや、生成した自由視点画像の品質を高くするためである。また、各全方位カメラは固定して設置されており、同期済みであるとする。

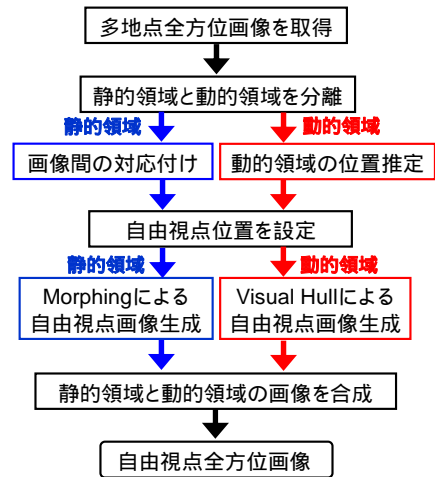


図 2. 自由視点画像生成処理の流れ

各全方位カメラのパラメータは 2 節で述べた方法により推定する。

図 2 に自由視点画像生成の処理の流れを示す。まず、3 地点に配置した全方位カメラから同時刻の全方位画像を取得する。取得した各全方位画像に対し背景差分処理を行い、画像を静的領域と動的領域に分離する。静的領域と動的領域を分離することで、時間的に変化の少ない静的領域に適した高速な自由視点画像生成手法を適用可能にする。また、背景差分処理には長時間にわたって背景差分処理を続けられるよう、緩やかな照明変化や短い周期の輝度変化を考慮した背景差分手法[9]を用いる。

静的領域と動的領域の分離後、それぞれの領域に対して自由視点画像生成を行う。まず、静的領域に対しては、画像間の対応点に基づいた Morphing[10]により自由視点画像を生成する。動的領域に対する自由視点画像生成には Visual Hull を用いる。一般に Visual Hull はボクセルによって表現されることが多いが、撮影される空間が広い場合には計算量とデータ量が膨大となる。そこで、本研究では Image-based Visual Hull[11]による Visual Hull の計算を行う。さらに、動物体の位置推定を併用することで高速な処理を実現する。それぞれの領域の自由視点画像を生成後、それらを合成することで最終的な自由視点画像とする。

以上が自由視点画像生成処理の概要である。詳細については参考文献[12]を参照されたい。

4. 自由視点テレプレゼンスシステム

3 節で述べた自由視点画像生成手法により、利用者に自由視点画像を実時間提示可能なテレプレゼンスシステムのプロトタイプを構築した。本システムは、遠隔地で撮影された全方位ライブ映像をネットワークを介して伝送し、利用者はそのライブ映像から生成された自由視点画像を高臨場感で観賞可能である。以下に、

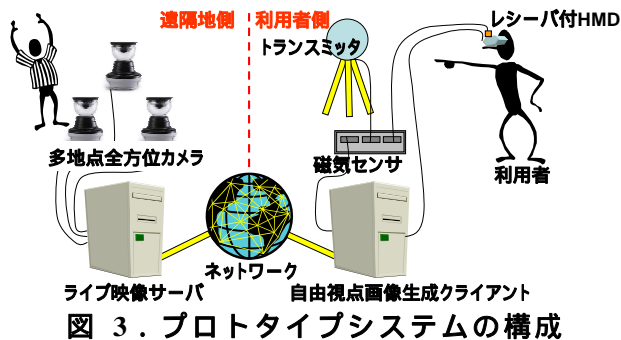


図 3. プロトタイプシステムの構成

システム構成と処理の流れおよび実験結果について述べる。

4.1. システム構成

図 3 にプロトタイプシステムの構成を示す。本システムは遠隔地に配置した全方位カメラの画像を送信する PC (ライブ映像サーバ: Athlon64X2 4400+) と、利用者側で映像を受信し提示画像を生成する PC (自由視点画像生成クライアント: Pentium4 3.2GHz) からなるサーバ・クライアント型システムである。以下に遠隔地側と利用者側のシステム構成を詳述する。

[ライブ映像サーバの構成]

IEEE1394 で接続可能な全方位カメラ (未陰産業製 SOIOS 55-cam: 640×480 画素, max 15fps) 3 台を設置し、それらをすべてライブ映像サーバに接続する。ライブ映像サーバと自由視点画像生成クライアントはネットワーク (1Gbps) で接続されている。

[自由視点画像生成クライアントの構成]

自由視点画像生成クライアントは、磁気センサ (Polhemus 社製 3SPACE FASTRAK) からの利用者の視線方向・視点位置情報を基に自由視点画像を生成する。利用者は、磁気レーザを取り付けた HMD (オリンパス光学工業社製 FMD-700) を装着し、提示画像を観賞する。

4.2. 処理の流れ

本システムでは、ライブ映像サーバと自由視点画像生成クライアントの両方で、事前に計算可能なデータを生成しておくオフライン処理を行うことでオンライン処理を効率的に行う。さらに、ライブ映像サーバは利用者の視点位置に依存しない背景差分処理を行うことで、自由視点画像生成クライアントの負荷を軽減させる。図 4 に本システムの処理の流れを示す。また、以下にオフライン・オンライン処理について図 4 に従って説明する。

まず、予め計算可能な以下のオフライン処理しておく。

[ライブ映像サーバ]

- 環境中に配置された 3 つの全方位カメラそれぞれのカメラパラメータを 2 節で述べた方法によりキ

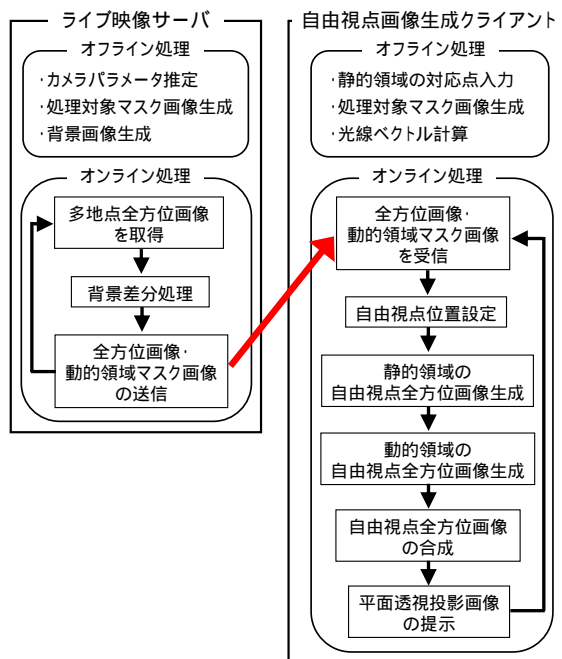


図 4. プロトタイプシステムの処理の流れ

ャリブレーションする。

- 全方位画像中の画像の 4 隅付近や画像上に投影されたカメラ部は処理する必要の無い無駄な領域なので、これらの領域が処理対象にされないようマスク画像 (2 値画像) を生成する。
 - 背景差分処理に必要な背景画像を生成する。
- ##### [自由視点画像生成クライアント]
- 静的領域の自由視点画像生成に必要な全方位画像間の対応点を予め手動で与える。
 - 動的領域の自由視点画像生成に、自由視点画像上のある画素と自由視点位置を結ぶ直線のベクトル (光線ベクトル) が必要になるので、このベクトルは自由視点画像上の画素と対応づく状態で計算・保持する。
 - ライブ映像サーバと同様に処理する必要のない領域を計算しないためのマスク画像を生成する。

オンライン処理では、時々刻々と取得される全方位動画から実時間での自由視点画像生成を行う。

[ライブ映像サーバ]

- 多地点全方位画像を取得し、背景差分処理を行い、その結果を自由視点画像生成クライアントに送信する。ここでライブ映像サーバが送信するのは、取得した全方位画像そのものと背景差分処理の結果得られた動的領域のマスク画像 (2 値画像) である。これにより、静的領域と動的領域のカラー画像を送信するよりも伝送データ量の削減が可能である。

[自由視点画像生成クライアント]

- 全方位画像と動的領域のマスク画像を受信し、磁気センサから利用者の視線方向・視点位置を取得した後、自由視点画像生成を行う。この際、動物体の存在領域推定に基づく計算量削減に加え、利用者の視線方向の画素のみを Visual Hull の計算対象とする。また、自由視点画像の合成処理を高速に行うために、静的領域の自由視点画像は GPU のフレームバッファ上に保持しておき、動的領域の自由視点画像については動的領域が存在しない画素にはアルファ値(非透過度)0を設定する。
- 静的領域と動的領域の自由視点画像を GPU の機能を用いて高速に合成する。具体的には、フレームバッファに保持されている静的領域の自由視点画像にアルファ値を設定した動的領域の自由視点画像をテクスチャとした長方形の平面を描画し、重ね合わせる。
- 自由視点画像を生成後、平面透視投影変換を行う。この際、フレームバッファ上の自由視点全方位画像をそのままテクスチャ画像として利用し、GPU の機能を利用した高速な変換処理[1]を行う。
- 生成した平面透視投影画像は利用者が装着した HMD に提示する。

ライブ映像サーバと自由視点画像生成クライアントはそれぞれシングルスレッドで動作するが、それぞれの PC は全方位画像とマスク画像を送受信後、ただちに以降の処理を開始する。従って、画像の送受信処理以外の部分では非同期動作を行う。

以上の処理を繰り返し行い、1章で述べた(A)~(D)の機能を満たしたテレプレゼンスを実現する。

4.3. 実験結果

図5左に示すように、室内環境の3地点に全方位カメラを配置して、テレプレゼンスの実験を行った。オフライン処理で推定されたカメラパラメータを基に各カメラの位置関係を図5右に示す。また、実験に用いたカメラパラメータを表1に示す。本実験では、全方位画像中の静的領域の対応点を78点手動で与えた。

図6に実験環境の様子と自由視点における生成画像を示す。利用者の視点位置・視線方向に応じた画像が生成できていることが確認できる。また、動的領域に対しては利用者が見ている範囲のみを計算対象とするため、自由視点画像中には視線方向にいる人物以外は映っていないことが確認できる。利用者に提示される映像の各フレームは約200ms(約5fps)で生成された。内訳は、全方位画像とマスク画像の受信に約80ms、静的領域の自由視点画像生成に約20ms、動的領域の自由視点画像生成に約100msとなっていた。また、利用者の視線方向・視点位置の取得からその視線・視点に対

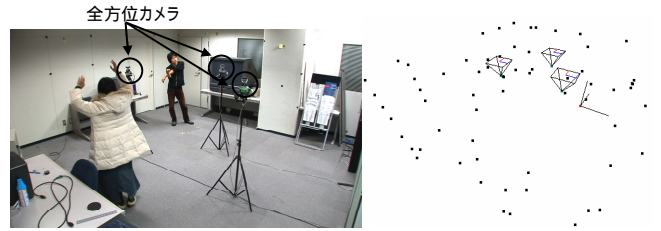


図5. カメラ配置と推定されたカメラ位置

表1. 実験に用いたカメラパラメータ

ミラーの形状 (各カメラ共通)	a = 26.26[mm] b = 35.49[mm]
カメラ1	位置(-937, -819, 1542)[mm:] 姿勢(-0.26, 0.20, -0.59)[度] 焦点距離 886[画素]
カメラ2	位置(-1880, -2054, 1472)[mm] 姿勢(-2.21, -0.81, -7.93)[度] 焦点距離 878[画素]
カメラ3	位置(93, -1981, 1553)[mm] 姿勢(-0.05, -3.30, -7.93)[度] 焦点距離 895[画素]

応する画像が提示されるまでの時間遅延は約120msである。ライブ映像サーバでの全方位画像取得から利用者への画像提示までの時間遅延は約320msだった。その内訳は、ライブ映像サーバでの撮影からその画像の伝送開始までの待機時間(自由視点画像生成クライアントでの画像受信以降の処理時間)が約120ms、自由視点画像生成クライアントが画像を受信してから画像を提示するまでの処理時間が約200msとなっていた。

利用者に提示された画像は、利用者の視点位置がカメラに近いほど良好であった。また、本実験環境では、撮影対象とカメラとの距離が短く各カメラで同様に撮影できない部分が存在し、対応点が与えられない部分があった。その影響で自由視点位置がカメラから離れた場合に、対応点が与えられていない部分に大きな歪みが発生していた。また、相互のカメラが各全方位画像中に映っているため、自由視点位置において半透明なカメラが設置されているように見えることがあった。これは Morphing の際の画像のブレンディングによる影響であるが、別のカメラが映っている領域に対してはブレンディングの比率を変更することでこの映りこみは減少させられると考える。静的領域と動的領域を別々に生成し、合成された自由視点画像であるが、静的領域と動的領域間で位置のずれはほとんど感じられなかった。これは、本研究で用いている自由視点画像生成手法がIBRに基づいていながら幾何学的な情報も持ち合わせているからであると考えられる。

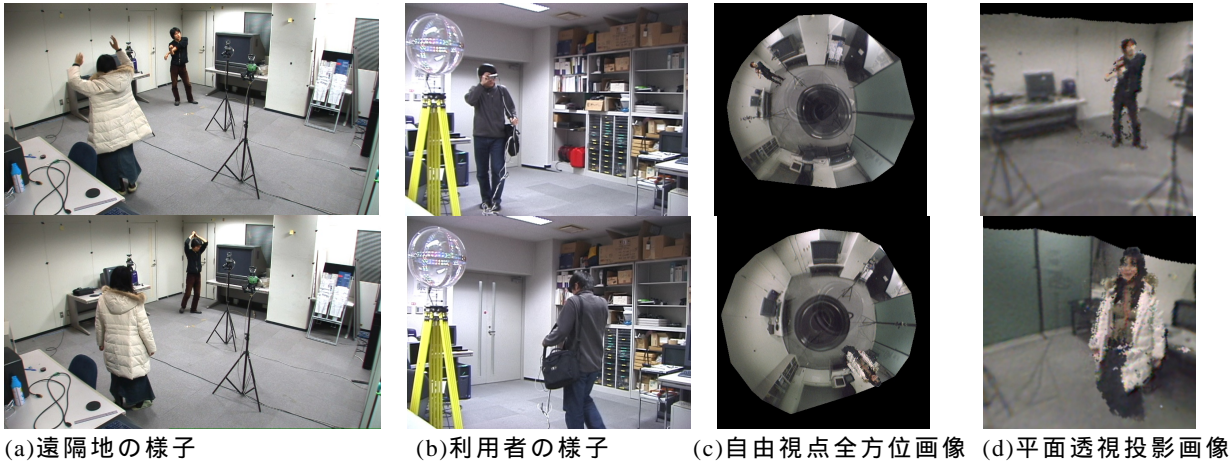


図 6. テレプレゼンスの様子と生成された自由視点画像

5. まとめと今後の課題

本稿では、利用者が遠隔地の動的環境をライブかつ自由な視線方向・視点位置で観賞可能なテレプレゼンスを提案した。そのために、以下の要求機能(A)~(D)を実現した。

- (A) 動的な撮影環境全体に対応：配置されたカメラの内外の動的な環境全体を多地点の全方位カメラによって撮影することにより実現。
- (B) 遠隔地映像の伝送：多地点全方位画像をネットワークを介して伝送することで実現。
- (C) ライブ映像からの自由視点画像生成：全方位画像中の静的領域と動的領域を分離し、それぞれの領域に適した IBR に基づく自由視点画像生成手法を用い、さらに計算量削減手法を併用することで高速に自由視点画像を生成。
- (D) 利用者の動作に応じた画像提示：位置・姿勢センサ付き HMD を用いて実現。

また、実際にプロトタイプシステムを構築し、遠隔地の動的環境を撮影した全方位ライブ映像をネットワークを介して伝送し、その映像から利用者に提示する自由視点画像を生成した。利用者は遠隔地に居るかのように環境中を実際に動き、その動作に応じた画像を観賞することで高い没入感覚を与えられた。このことから、本システムは遠隔地の仮想体験やビデオ会議システム等に应用可能であると考えられる。

今後の課題としては、自由視点画像生成の品質向上や広範囲をウォークスルー可能なシステムへの拡張などが考えられる。

文 献

[1] 山澤一誠, 石川智也, 中村豊, 藤川和利, 横矢直和, 砂原秀樹: “Web ブラウザと全方位動画を用いたテレプレゼンスシステム”, 電子情報通信学会論文誌(D-II), J88-D-II, 8, pp.1750-1753 (May 2005)

[2] 池田聖, 佐藤智和, 横矢直和: “全方位型マルチカメラシステムを用いた高解像度な全天球パノ

ラ動画の生成とテレプレゼンスへの応用”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 8, 4, pp.443-450 (Dec. 2003)

[3] T. Koyama, I. Kitahara, and Y. Ohta: “Live Mixed-Reality 3D Video in Soccer Stadium”, Proc. IEEE/ACM Int. Symp. On Mixed and Augmented Reality (ISMAR03), pp.178-187 (Oct. 2003)

[4] 稲本奈穂, 斎藤英雄: “視点位置の内挿に基づく3次元サッカー映像の自由視点観賞システム”, 映像情報メディア学会論文誌, 58, 4, pp.529-539 (April. 2003)

[5] T. Kanade, P. Rander, and P. J. Narayanan: “Virtualized Reality: Constructing virtual worlds from real scenes”, IEEE Multimedia, 4, 1, pp.34-47 (March 1997)

[6] H. Saito, S. Baba, and T. Kanade: “Appearance-Based Virtual View Generation from Multicamera Videos Captured in the 3-D Room”, IEEE Trans. on Multimedia, 5, 3, pp.303-316 (Sept. 2003)

[7] 山澤一誠, 八木康史, 谷内田正彦: “移動ロボットのナビゲーションのための全方位視覚系 HyperOmni Vision の提案”, 電子情報通信学会論文誌(D-II), J79-D-II, 5, pp.698-707 (May 1996)

[8] 根岸善郎, 子安大士, 三浦純, 白井良明: “移動ロボットのための全方位ステレオのキャリブレーション”, 2004 年ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2P2-L1-49 (June 2004)

[9] K. Yamazawa and N. Yokoya: “Detecting moving objects from omni-directional dynamic images based on adaptive background”, Proc. 10th IEEE Int. Conf. on Image Processing (ICIP2003), III, pp.953-956 (Sept. 2003)

[10] 冨手要, 山澤一誠, 横矢直和: “複数の全方位画像を用いた広範囲なウォークスルーの実現”, 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2002)講演論文集, II, pp.353-358 (Aug. 2002)

[11] W. Matusik, C. Buehler, R. Raskar, S. J. Gortler, and L. McMillan: “Image-Based Visual Hulls”, Proc. SIGGRAPH2000, pp.369-374 (July 2000)

[12] T. Ishikawa, K. Yamazawa, and N. Yokoya: “Novel View Generation from Multiple Omni-directional Videos”, Proc. IEEE/ACM Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR05), pp.166-169 (Oct. 2005)