

全方位動画像を用いた両眼ステレオ画像の実時間生成によるテレプレゼンス

山口晃一郎[†] 山澤 一誠[†] 竹村 治雄[†] 横矢 直和[†]

Telepresence by Real-Time Binocular Stereo Image Generation from a Sequence of Omnidirectional Images

Koichiro YAMAGUCHI[†], Kazumasa YAMAZAWA[†], Haruo TAKEMURA[†], and Naokazu YOKOYA[†]

あらまし 遠隔地の情景を画像として提示するテレプレゼンスにおいて臨場感豊かな情景提示のためには、自由な見回しと立体視が可能であることが望まれる。方向を制御できるステレオカメラを用いることにより見回しと立体視が可能となるが、見回しに関しては機械的な時間遅延が生じる。本研究では、移動経路と速度が既知である全方位画像センサを用いて撮影した全方位動画像から、光線情報を用いることにより任意方向の擬似的な両眼ステレオ画像を実時間で生成する手法を提案する。この手法により見回し時の時間遅延なしに、利用者の視線方向の両眼ステレオ画像を提示することが可能となる。提案手法の有効性を検討するために、実際にテレプレゼンスシステムを構築した。システムは一定時間の最新の全方位動画像を計算機に蓄積し、蓄積された全方位動画像から利用者の視線方向に応じた両眼ステレオ画像を実時間で生成・提示する。その結果、利用者は遠隔地の情景を任意の視線方向で立体視することで臨場感豊かなテレプレゼンスが可能であることを確認した。

キーワード 両眼ステレオ画像生成, 全方位画像センサ HyperOmni Vision, テレプレゼンス, イメージベースレンダリング, plenoptic function

1. はじめに

遠隔会議や監視システム, 移動ロボットの遠隔ナビゲーションなどでは, 遠隔地の画像を伝送することで, 音声や文字を伝送する場合に比べ, 利用者は遠隔地の様子を容易に理解することができる。そのため, こうしたシステムにおいて遠隔地の画像の獲得に対する要求が高まってきている。ビデオカメラなどの画像センサで取得した遠隔地の画像を利用者に提示し, 利用者にその場にいるのと同様の感覚を与える仮想現実技術はテレプレゼンスと呼ばれ, 様々な関連研究が行われている [1]。テレプレゼンスにおいては, 遠隔地の情景を臨場感豊かに提示することが重要であり, 時間遅延のない見回しと立体視が可能であることが望まれる。これまでに, 全方位画像を用いることにより利用者

の視線に追従した画像を時間遅延少なく提示する実時間テレプレゼンスを行う方法が提案されている [2]。しかし, この方法では, 1 つの視点からの画像しか提示できないため立体視はできない。立体視可能なテレプレゼンスとして, ステレオカメラを回転台の上に置き, ステレオカメラの方向を制御することで視線方向の両眼ステレオ画像を獲得する方法がある。しかし, この方法では見回しに関してはカメラを機械的に回転させることによる時間遅延が発生する。

一方, 蓄積した画像群から任意の視点位置の画像を生成する枠組として, 3 次元空間を伝搬するすべての光線を位置, 方向, 波長, 時間の関数として記述する Plenoptic Function が提案されている [3], [4]。しかし実環境への適用では, すべての光線を取得することは困難であるため, 光線の空間の伝搬に伴う変化を無視し, 視点位置を限定した画像を生成する手法が提案されている [5] ~ [8]。光線の伝搬に伴う変化を無視することにより入力画像を減らすことができるが, 任意視点画像の生成には依然として多数の画像を必要とする

[†] 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, 8916-5 Takayama-cho, Ikoma-shi,
630-0101 Japan

ためにデータ量が膨大となる問題がある。

本研究では、撮影位置が既知である全方位画像センサを用いて取得した全方位動画画像から、光線情報を用いて任意視点画像を擬似的に生成する手法を提案する。さらに、その手法により静止環境で取得された全方位動画画像から視線追従した両眼ステレオ画像を実時間で生成・提示するテレプレゼンスシステムを構築する。全方位動画画像から利用者の視線方向の両眼ステレオ画像を実時間生成することで、少ない時間遅延で遠隔情景の見回しと立体視が可能となる。また、周囲 360 度の情報を含む全方位画像を用い、光線の伝搬に伴う変化を無視し、生成する画像の視点を撮影経路付近に制限することで少ないデータ量で画像を生成できる。

以下、2.では本研究で全方位動画画像の取得に用いた全方位画像センサ HyperOmni Vision について説明し、3.では全方位動画画像から任意視点画像を擬似的に生成する手法について述べる。4.では提案手法を用いて構築した見回しと立体視が可能なテレプレゼンスシステムとその実験について述べる。最後に 5.を本論文のまとめとする。

2. 全方位画像センサ HyperOmni Vision

本研究では全方位動画画像を取得するために用いる全方位画像センサとして、HyperOmni Vision [9] を採用した。HyperOmni Vision は、図 1(a) に示すように、鉛直下向きに設置した双曲面ミラーに写り込んだ鏡像を、鉛直上向きに設置したビデオカメラで撮影するものである。HyperOmni Vision の光学系の構成を図 1(b) に示す。ミラー焦点とカメラのレンズ中心は、それぞれ双曲面の 2 焦点 O_M , O_C に位置している。ここで図 1(b) に示す 3 次元世界座標系 (X, Y, Z) を考えると、双曲面ミラーは式 (1) で表せる。

$$\frac{X^2 + Y^2}{a^2} - \frac{Z^2}{b^2} = -1 \quad (Z > 0) \quad (1)$$

双曲面ミラーの焦点 O_M は $(0, 0, c)$ 、カメラのレンズ中心 O_C は $(0, 0, -c)$ となる (ただし、 $c = \sqrt{a^2 + b^2}$)。

内側の焦点 O_M に集まる像は双曲面ミラーを介して、外側の焦点 O_C に集まる。従って、 O_C にレンズ中心を置いたカメラで、 O_M への全方位の双曲面中心投影像 (の鏡像) を撮影することができる。この一点中心投影の性質により、全方位画像から通常の平面透視画像への変換が可能である [9]。双曲面ミラーの焦点 O_M とカメラのレンズ中心 O_C との位置関係ならびに双曲面の特性により、3 次元環境中の点 $P(X, Y, Z)$ と

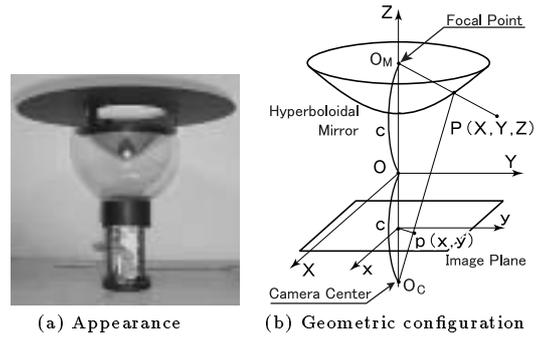


図 1 HyperOmni Vision ver.2A の外観と光学系
Fig.1 HyperOmni Vision ver.2A and its geometric configuration.

全方位画像上の写像点 $p(x, y)$ の間には式 (2) の関係が成立する (図 1(b) 参照)。

$$x = \frac{X f(b^2 - c^2)}{(b^2 + c^2)(Z - c) - 2bc\sqrt{X^2 + Y^2 + (Z - c)^2}} \quad (2)$$

$$y = \frac{Y f(b^2 - c^2)}{(b^2 + c^2)(Z - c) - 2bc\sqrt{X^2 + Y^2 + (Z - c)^2}}$$

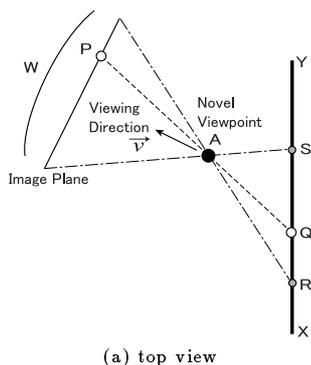
3. 全方位動画画像からの任意視点画像の生成

本章では、全方位画像センサにより取得された全方位動画画像から新しい視点の画像を生成する手法の原理を説明する。また、提案手法により生成した画像に生じる垂直方向の歪みについて述べる。

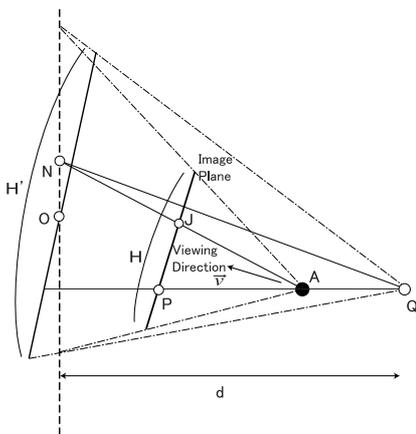
3.1 任意視点画像生成の原理

全方位動画画像は静止環境において全方位画像センサ HyperOmni Vision を等速で水平に直線移動させながら撮影することにより取得し、センサの移動速度は既知であるとする。また、生成する画像の視点は全方位画像センサを移動させた経路を含む水平面に位置しているとする。

例えば、HyperOmni Vision を図 2(a) の地点 X から地点 Y まで直線移動させながら全方位動画画像を取得し、視点 A から \vec{v} 方向を見た画像 (解像度 $W \times H$ 画素) を生成することを考える。このとき投影面は図 2 に示すように位置する。図 2(b) は QP を含む垂直な面を横から見た図である。光が伝搬により変化しないとすると、図 2 のような位置関係のとき新しい視点位置から出る光線 AP と、直線 \overline{AP} と直線 \overline{XY} の交点 Q から出る光線 QP を同等とすることができる [5] ~ [7] ので、点 Q で撮影された全方位画像から生成画像の点



(a) top view



(b) side view

図2 任意視点画像生成の図解

Fig. 2 Illustration of generating novel views.

Pの画素値を求めることができる[11],[12]。しかし光線AJと光線QJは異なる光線であり、点Qからの光線で光線AJと同等な光線はないため、点Jの画素値を求めることができない。そこで、図2(b)で示すように点Qからの距離がdである垂直線上で光線AJと交わる光線QNを光線AJと同等とすることにより擬似的に画像の生成を行う。同様に、生成画像の点Pを含む高さHの1列の生成に必要なすべての光線を、点Qからの距離がdである垂直線上でそれぞれの光線と交わる光線として生成を行う。図2(b)において、視点位置Aから、点Pを含む高さHの1列の midpoint への光線と同等とする光線は光線QOとなる。このとき、点Qの全方位画像から点Oへ方向に焦点距離|QO|として幅1、高さH'画素の透視投影画像を生成し、それに縦方向のスケーリングを行い幅1、高さH画素の画像とすることで擬似的に画像の1列を生成する。

上記の方法を生成画像のすべての列に適用すること

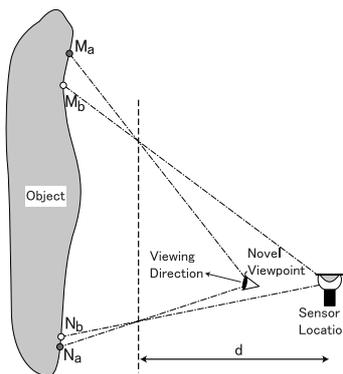


図3 縦方向の歪みの生じる画像生成

Fig. 3 Novel view generation with vertical distortions.

により、図2(a)に示す地点Rから地点Sまでの全方位画像を用いて新しい視点Aの画像を生成する。しかし、生成に用いる全方位動画像は1秒当たり30枚の全方位画像から構成されるため、必要な地点における全方位画像が存在しない場合がある。その場合には、存在する全方位画像の中で必要な地点に最も近い位置の全方位画像を用いて画像の生成を行うこととする。

3.2 垂直方向に生じる歪み

前節で述べた方法により任意視点画像を生成した場合、生成画像の水平方向に関しては複数の全方位画像から画像計算が行われるが、垂直方向に関しては同じ全方位画像から生成されるため擬似的な生成となり、縦方向に歪みが生じる。撮影環境内のすべての物体の形状、位置が既知であればこの歪みを補正することは可能であるが、撮影環境は一般に未知であるため、本研究では、撮影位置から物体までの距離を一定(d)と仮定することで画像生成を行っている。

この方法では、すべての物体までの距離を一定としているために図3のようにdと異なる位置に物体が存在している場合には縦方向に歪みが生じる。図3の場合、生成したい視点の位置から投影された画像には物体の点Maから点Naまでが写ることになるが、全方位画像から撮影位置から物体までの距離をdとして生成した画像には物体の点Mbから点Nbまでしか写らず、生成された画像は縦方向に伸ばされたものとなる。図3のように、物体に対して全方位画像撮影位置が視点よりも遠い位置にあり、実際の物体位置がdよりも遠いときには生成画像は縦方向に伸ばされ、逆の場合には生成画像は縦方向に縮められる。また、全方位画像撮影位置が視点よりも物体に近い場合にはその逆と

なる．つまり，誤差(歪み)は d と物体までの実際の距離の差と，全方位動画像の経路と視点の位置の距離に依存して変化する(詳細については[13]参照)．

4. 見回しと立体視が可能なテレプレゼンスシステム

前章で述べた任意視点画像生成手法を用いて，全方位画像センサを一定速度で直進させて取得した全方位動画像から任意方向の両眼ステレオ画像を実時間で生成・提示するテレプレゼンスシステムを構築した．このシステムでは一定時間の全方位動画像を計算機に保持させて両眼ステレオ画像を生成する．

システムは，1経路の全方位動画像を用いる1入力型システムと2経路の全方位動画像を用いる2入力型システムを構築した．1入力型システムは，保持できる画像枚数の制約から，視線方向により両眼ステレオ画像が生成できない場合があるが，実時間テレプレゼンスを行うことが可能である．一方，2入力型システムでは2経路の全方位動画像から全方位両眼ステレオ画像の生成が可能である．しかし，眼間距離だけ離れ平行な2経路の全方位動画像が必要となり，センサの物理的な大きさによりセンサを眼間距離だけ離して配置できない場合は，全方位動画像をあらかじめ取得する蓄積型テレプレゼンスとなる．以下，2つのシステムそれぞれについてシステムの概要と実験結果について述べる．

4.1 1入力型実時間テレプレゼンスシステム

1入力型システムでは，全方位画像センサを直進させることにより取得した1経路の全方位動画像を計算機に伝送し，任意方向の両眼ステレオ画像を実時間で生成・提示する．このシステムでは，経路に平行に近い視線方向の場合には多数の全方位画像が必要となる．しかし，1経路の全方位動画像から実時間で画像生成することにより実時間テレプレゼンスが可能である．

4.1.1 両眼ステレオ画像の生成

左眼と右眼が全方位動画像の経路を含む水平面上にあれば，前章の任意視点画像生成手法により両眼ステレオ画像の生成が可能である．1入力型システムでは，図4のように両眼中心が経路上にある両眼ステレオ画像を生成する．図4は，両眼中心から視線方向の両眼ステレオ画像を生成するときの左眼と右眼の関係を示している．任意視点画像生成手法を用いると左眼画像は全方位動画像中の O_a から O_b の範囲，右眼画像は O_c から O_d の範囲の全方位画像から生成できる．

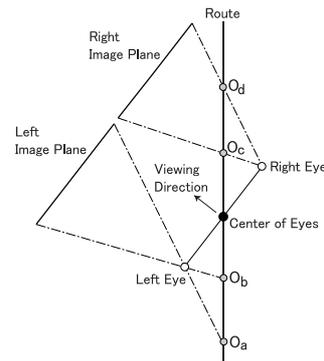


図4 1経路の全方位動画像からの両眼ステレオ画像の生成
Fig.4 Generating binocular stereo images from a single omnidirectional image sequence.

両眼ステレオ画像の生成では高速化のために，生成画像全点に対して全方位画像との対応計算を行わず，生成画像に格子を設け，格子点でのみ対応計算を行い，格子点間はテクスチャマッピング機能を利用してハードウェアによる画像変形[10]を行うOnoeらの手法[2]を用いる．任意視点画像生成には複数の全方位画像が用いられるので，同じ全方位画像から生成される領域ごとに格子を設けて両眼ステレオ画像の生成を行う[11]．

提案手法では，視線方向が経路と平行に近いとき，画像生成に多数の全方位画像が必要となる．また，3.2節で述べたように任意視点画像生成手法では生成画像に縦方向の歪みが生じるため，生成された両眼ステレオ画像には縦方向の視差が生じる．

4.1.2 システム構成

システムの構成を図5に示す．使用した機器は，グラフィックスワークステーション(SGI Onyx2 IR2(MIPS R1000 195MHz))，HyperOmni Vision ver.2A，移動ロボット(Nomad-200)，3次元磁気トラッカ(POLHEMUS 3SPACE FASTRAK)，HMD(OLYMPUS Mediamask)である．

システムにおける処理の流れは以下の通りである．

(1) HyperOmni Vision を載せた移動ロボットを計算機からの制御により一定速度で直進させながら撮影した全方位動画像を計算機に伝送して，計算機は一定時間の全方位動画像を保持する．

(2) 利用者の装着するHMDに取り付けた3D磁気トラッカで視線方向(頭部の向き)を計測する．

(3) 視線方向に応じた両眼ステレオ画像を生成し，HMDに表示する．

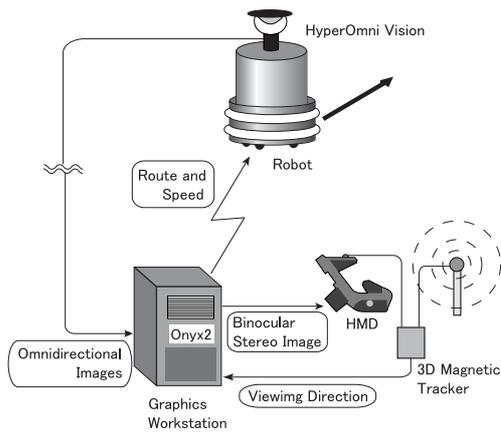


図5 1入力型テレプレゼンスシステムの構成

Fig. 5 Hardware configuration of the telepresence system using a single omnidirectional sequence.

4.1.3 実験

1入力型システムの実験では、HyperOmni Visionを載せた移動ロボットは17.5cm/sの一定速度で直進させた。計算機には最新の2.03秒間の全方位動画を保持させ、その動画の中間点における両眼ステレオ画像を生成する。つまり、計算機に保持されている全方位画は最新の61枚であり、両眼ステレオ画像を生成する地点から前後30枚の全方位画が計算機に存在している。そのため、利用者には約1秒前の地点での両眼ステレオ画像が提示される。また、物体までの仮定距離(d)を3mとして画像を生成する。なお、生成する両眼ステレオ画像の眼間距離は7cm、水平画角は50度、解像度は640×480画素である。

図6は、約35秒間の入力全方位動画中の7秒間隔の全方位画を示している。図6の全方位画の中に示す矢印は進行方向を表している。生成された両眼ステレオ画像を図7に示す。図7の(a)から(f)のそれぞれにおいて左が左眼画像、右が右眼画像であり、(a)から(f)へと時間が経過している。図7に示す両眼ステレオ画像の視線方向はそれぞれ進行方向に対して、(a)左に38度、下に2度、(b)左に67度、下に10度、(c)左に135度、下に10度、(d)右に40度、下に5度、(e)右に103度、垂直方向には0度、(f)右に121度、下に2度である。図7のそれぞれの左右の画像から視差が確認できる。例えば、図7の(b)の椅子、(d)の鞆、(f)の三脚という近い位置に存在する物体は、それよりも遠くにある物体と比較して視差が大きくなっ

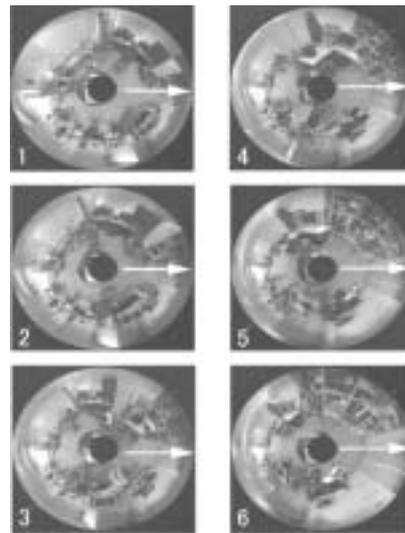


図6 入力全方位動画

Fig. 6 Input sequence of omnidirectional images.

ていることが分かる。

両眼ステレオ画像の生成に要する時間は4.0ミリ秒で、HMDに提示される画像の更新速度は1/30秒であり、ビデオレートで両眼ステレオ画像を提示することが可能であった。視線方向が決定してからHMDに画像が提示されるまでの時間は37～70ミリ秒であり、少ない時間遅延で自然な見回しが可能であった。

本実験においては、視線方向が進行方向に対して左右に36度から144度の両眼ステレオ画像を生成できた。図8に視線方向と生成に必要な全方位画像の範囲の関係を示す。図8の横軸は視線方向が進行方向に対して左または右になす角度で、縦軸は全方位画像の撮影位置で、両眼中心から進行方向あるいは逆方向に何枚目であるかを表し、左右画像それぞれの生成には図8の色を付けた範囲の全方位画像が必要であることを示している。図8から分かるように、両眼中心から近い位置にある眼間距離内の全方位画は画像生成に用いないため、生成に用いる画像枚数は最大で24枚となる(視線方向が36度、144度の場合)。両眼中心が経路上にあるとき、左右画像で用いる全方位画像の範囲は両眼中心に対して対称になる。

4.2 2入力型蓄積テレプレゼンスシステム

1入力型システムでは、撮影経路に平行な視線方向の両眼ステレオ画像の生成を行うことが困難である。そこで、2入力型システムでは眼間距離だけ離れ平行な経路をとる2経路の全方位動画をを用いる。2経路

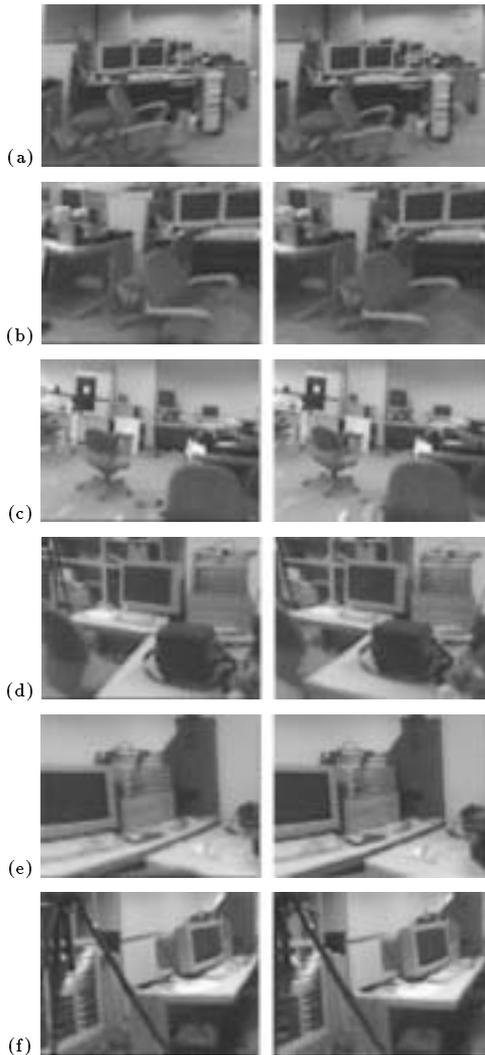


図7 1入力型システムにおいて生成された両眼ステレオ画像
Fig. 7 A sequence of binocular stereo images generated from a single omnidirectional video stream.

の全方位動画画像を同時に計算機に伝送することにより全方位の両眼ステレオ画像を生成することができる。

4.2.1 両眼ステレオ画像生成

2入力型システムでは図9で示す経路1, 経路2の2つの全方位動画画像を用いて両眼ステレオ画像生成を行う。2つの経路は平行で眼間距離だけ離れている。この2経路の全方位動画画像から、図9に示すような2つの経路の中線上に両眼中心が位置する両眼ステレオ画像を生成する。図9の場合、左眼は経路2より経路1

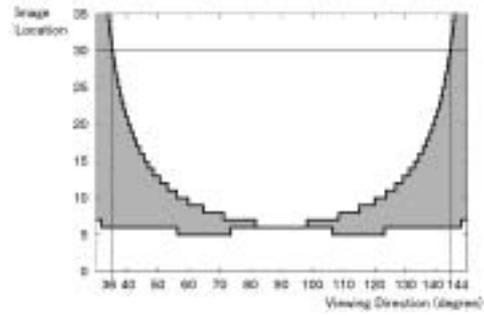


図8 視線方向と生成に必要な画像の範囲の関係
Fig. 8 The number of omnidirectional images used with respect to viewing direction.

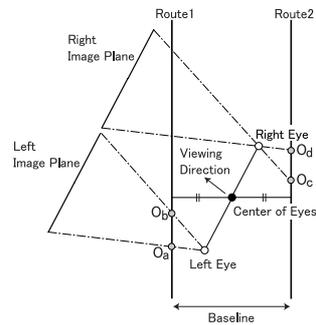


図9 2経路の全方位動画画像からの両眼ステレオ画像の生成
Fig. 9 Generating binocular stereo images from two omnidirectional image sequences.

に近く、右眼は経路1より経路2に近い。そこで左眼画像は経路1のOaからOb, 右眼画像は経路2のOcからOdの全方位画像を用いて生成する。2経路の全方位動画画像を用いると、視線方向が経路と平行に近くなった場合にも、左眼、右眼の位置がどちらかの経路に近くなり、必要となる全方位画像数は大きく増加しない。そのため、周囲360度の任意の方向の両眼ステレオ画像の生成が可能である。また、1入力型システムと同様に座標変換の計算量を減らす高速化手法[2]を用いて両眼ステレオ画像の実時間生成を行う。

4.2.2 システム構成

2入力型システムでは、ビデオに記録した2経路の全方位動画画像を同時に計算機に入力することにより両眼ステレオ画像の生成と提示を行う。使用した機器は1入力型システムと同様であり、システム構成は、2経路の全方位動画画像を取得し、同時に計算機に入力するところを除き、1入力型システムと同じである。

2入力型システムでは、2経路の全方位動画画像を同時に計算機に入力するが、2枚の全方位画像のテクス

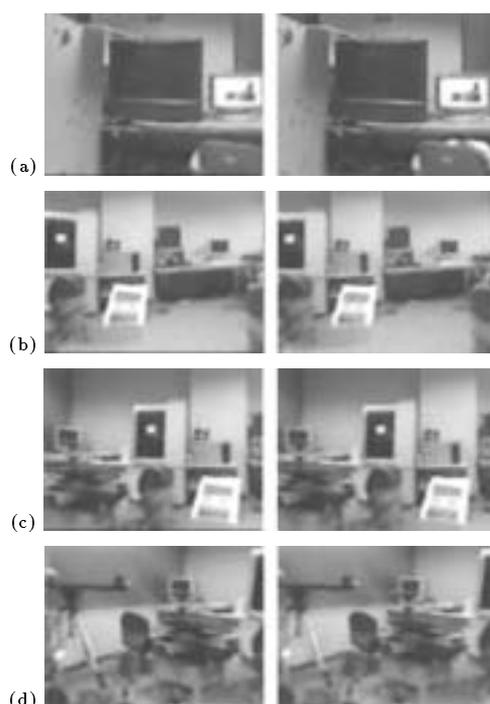


図 10 2 入力型システムにおいて生成された両眼ステレオ画像

Fig. 10 A sequence of binocular stereo images generated from two omnidirectional video streams.

チャメモリへの格納を 1/30 秒以内に行うことはできないため、2 経路の全方位動画の入力画像をそれぞれ 1 枚おきに読み込み、保持する。

4.2.3 実験

2 入力型システムによる実験では、2 経路の全方位動画の取得は HyperOmni Vision を載せた移動ロボットを 8.75cm/s の一定速度で、平行で眼間距離だけ離れた 2 つの経路を移動させることにより行った。計算機はビデオから伝送される 2 経路の全方位動画それぞれの最新 2.2 秒間を保持する。生成する両眼ステレオ画像の両眼中心の位置は、計算機に保持している 2 経路の全方位動画の撮影位置の中間地点の中点とする。最新 2.2 秒間の全方位動画を保持することとしているが、システムでは 1 枚おきに画像が読み込まれるため、計算機に保持される全方位画像枚数はそれぞれの経路で 33 枚となる。なお、生成する両眼ステレオ画像の眼間距離は 7cm、水平画角は 50 度、解像度は 640×480 画素である。

実験で生成された両眼ステレオ画像を図 10 に示す。図 10 のそれぞれのステレオ画像において左側が左眼画

像、右側が右眼画像であり、(a) から (d) へ時間が経過している。図 10 に示すそれぞれの両眼ステレオ画像の視線方向はそれぞれ進行方向に対して (a) 水平方向に 180 度、上に 2 度、(b) 右に 21 度、下に 3 度、(c) 水平方向、垂直方向に 0 度、(d) 左に 27 度、下に 7 度である。図 10 の (a) ~ (d) から視差のある両眼ステレオ画像が生成されていることが確認できる。2 入力型システムでは、(b)、(d) のように 1 入力型システムでは生成できなかった視線方向が進行方向に近い両眼ステレオ画像や、(a)、(c) のように進行方向あるいは進行方向の逆方向を向いたときの両眼ステレオ画像が生成でき、周囲 360 度の任意の方向で両眼ステレオ画像を生成することが可能であった。

両眼ステレオ画像の生成に要する時間は 4.3 ミリ秒、視線方向が決定してから両眼ステレオ画像が提示されるまでの時間は 70.3 ~ 136.3 ミリ秒であり、HMD に提示される画像の更新間隔は 1/15 秒であった。HMD の更新間隔が 1/15 秒であるのは、入力全方位画像のテクスチャメモリへの格納に時間を要するためである。

5. まとめ

本論文では、全方位画像センサ HyperOmni Vision を用いて取得した移動速度が既知である直線経路の全方位動画から任意視点画像を生成する手法とその手法を用いた両眼ステレオ画像の生成方法を提案した。また、提案した手法により視線に追従して両眼ステレオ画像を実時間で生成・提示するテレプレゼンスシステムを構築した。テレプレゼンスシステムは、1 経路の全方位動画を用いる 1 入力型システムと 2 経路の全方位動画を用いる 2 入力型システムを構築し、実験を行った。1 入力型システムでは、必要な画像枚数が増加することから視線方向が制限されるが、実時間テレプレゼンスを行うことが可能である。2 入力型システムでは、2 経路の全方位動画の取得後に両眼ステレオ画像の生成・提示を行う蓄積型テレプレゼンスとなるが、全方位の両眼ステレオ画像を生成することができる。2 つのシステムでは、利用者は見回しと立体視を行うことができ、臨場感豊かな遠隔地の情景提示が可能である。また、両眼ステレオ画像は約 4 ミリ秒という短時間で生成されるため、見回しに関して時間遅延が少ない。

提案手法では、全方位動画の撮影位置から物体までの仮定距離と実際の物体までの距離とのずれにより両眼ステレオ画像に垂直方向の歪みが生じた。そこで、

移動経路と速度が既知である全方位画像から物体までの距離を計算し、撮影環境に応じて仮定距離を変更して歪みを小さくすることが今後の課題として挙げられる。また、小型の全方位画像センサを眼間距離で並べて移動させ、2 経路の全方位動画像を同時に取得することで、実時間で全方位の両眼ステレオ画像提示が行えるシステムの構築も考えられる。本論文で示した実験の範囲では、縦方向の歪み（縦視差の存在）にもかかわらず両眼視が可能であったが、縦視差と奥行き知覚の関係についての分析も今後の課題である。

謝辞 本研究の一部は、文部省科研費補助金（課題番号 11780307）及び新情報処理開発機構からの受託研究による。

文 献

- [1] S. Moezzi, Ed., "Special issue on immersive telepresence," IEEE MultiMedia, vol. 4, no. 1, pp. 17-56, Jan.-March 1997.
- [2] Y. Onoe, K. Yamazawa, H. Takemura, and N. Yokoya, "Telepresence by real-time view-dependent image generation from omnidirectional video streams," Computer Vision and Image Understanding, vol. 71, no. 2, pp. 154-165, August 1998.
- [3] E. H. Adelson and J. Bergen, "The plenoptic function and the elements of early vision," Computational Models of Visual Processing, M. Landy and J. A. Movshon, Ed., pp. 3-20, MIT Press, Cambridge, 1991.
- [4] L. McMillan and G. Bishop, "Plenoptic modeling: An image-based rendering system," Proc. SIGGRAPH'95, pp. 39-46, August 1995.
- [5] M. Levoy and P. Hanrahan, "Light field rendering," Proc. SIGGRAPH'96, pp. 31-42, August 1996.
- [6] S. J. Gortler, R. Grzeszczuk, R. Szeliski, and M. F. Cohen, "The lumigraph," Proc. SIGGRAPH'96, pp. 43-54, August 1996.
- [7] 藤井俊彰, 木藤英二, 金子正秀, 原島博, "3次元統合画像通信を目指したホログラムと光線空間の相互変換," 3次元画像コンファレンス'95, pp. 220-225, July 1995.
- [8] H. Y. Shum and L. W. He, "Rendering with concentric mosaics," Proc. SIGGRAPH'99, pp. 299-306, August 1999.
- [9] 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センサ HyperOmni Vision の提案," 信学論 (D-II), J79-D-II, No. 5, pp. 698-707, January 1996.
- [10] J. Neider, T. Davis, M. Woo, OpenGL Programming Guide, Addison-Wesley Publishing Company, 1993.
- [11] 山口晃一郎, 山澤一誠, 竹村治雄, 横矢直和, "全方位動画像を用いた任意方向両眼ステレオ画像の実時間生成と提示," 信学技報, PRMU99-159, November 1999.
- [12] 高橋拓二, 川崎洋, 池内克史, 坂内正夫, "全方位画像によるレンダリング手法の提案," 情処学研報, CVIM119-5,

November 1999.

- [13] 山口晃一郎, "全方位動画像を用いた両眼ステレオ画像の実時間生成システム," 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科修士論文, February 2000.

(平成年月日受付, 月日再受付)

山口晃一郎

平10 阪大・基礎工・情報卒・同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入学, 現在に至る。画像処理, コンピュータビジョンの研究に従事。

山澤 一誠 (正員)

平4 阪大・基礎工・情報卒・平6 同大学院基礎工学研究科制御工学博士前期課程了。平8 同大博士後期課程中退。同年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助手, 現在に至る。ロボットビジョン, 仮想現実の研究に従事。工博。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 (正員)

昭57 阪大・基礎工・情報卒。昭62 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(株)ATR入社。3次元ユーザインタフェース, CSCW, 仮想現実などの研究に従事。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, 現在に至る。平10~11 カナダ・トロント大・客員助教授。工博。IEEE, ACM, HFES, 情報処理学会, 映像情報メディア学会, 日本VR学会, ヒューマンインタ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 同大学院基礎工学研究科博士後期課程了。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 カナダ・マギル大・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。IEEE, 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各会員。