

全方位ステレオ視による 3次元情報の獲得

茶園 篤^{†*}, 山澤 一 誠[†],
正会員 横矢 直 和[†], 正会員 竹村 治 雄[†]

Acquisition of Three-dimensional Information by Omnidirectional Stereo Vision

Atsushi Chaen^{†*}, Kazumasa Yamazawa[†], Naokazu Yokoya[†] and Haruo Takemura[†]

Abstract To recognize whole three-dimensional environments, it is necessary to obtain depth and height information, or three-dimensional information, of a scene. This paper presents an omnidirectional stereo method, which can obtain three-dimensional information simultaneously in all directions. The method first takes a pair of omnidirectional images at different heights using the omnidirectional imaging sensor, HyperOmni Vision, and then detects corresponding points between the pair of images, finally obtaining three-dimensional information simultaneously in all directions. Experimental results show the feasibility of the proposed method with real omnidirectional images. This paper also shows the computation of common horizontal binocular stereo images from a pair of omnidirectional images for virtual reality applications.

1. ま え が き

ロボットのナビゲーションや遠隔地における操作支援などを行う上で、全方位の3次元環境を理解する必要性が高まってきている。全方位の3次元環境を理解するためには、観測地点の周囲360°において観測対象の奥行き情報、高さ情報といった3次元情報を獲得しなければならない。しかし、全方位の3次元情報を獲得する手法は確立されておらず、3次元情報獲得手法の確立が望まれている。本論文では、全方位視覚センサを用いて周囲360°の画像を同時に取得し、得ら

れた全方位画像から3次元情報を獲得する手法を提案する。

ロボットビジョンの分野で、ロボットの周囲360°の画像を同時に取得できるさまざまな全方位視覚センサが提案されている。例えば、カメラを回転する方法¹⁾、球面や双曲面などのミラーを用いる方法²⁾³⁾などである。本研究では、観測領域ならびに光学系の特性から、双曲面ミラーを用いた全方位視覚センサとして提案されているHyperOmni Vision³⁾を用いて画像を取得する。HyperOmni Visionにより、視覚センサを中心にした全方位の画像を一度に得ることはできるが、得ら

キーワード：HyperOmni Vision, 全方位ステレオ視, 奥行き抽出, ロボットビジョン, 人工現実感

1997年2月3日, 映像情報メディア学会技術報告に発表

1997年4月16日受付, 1997年6月23日再受付

† 奈良先端科学技術大学院大学 (〒630-01 生駒市高山町 8916-5, TEL 0743-72-5293)

* 現在, 日本電気株式会社

† Nara Institute of Science and Technology (8916-5 Takayama, Ikoma, Nara 630-01, Japan)

* (NEC Corporation)

れる画像は環境の3次元情報を表しているわけではない。したがって、得られる画像から3次元情報を獲得する手段が必要となる。

本研究では、測定対象に影響を与えることなく3次元情報を獲得するために、受動的手法の代表であるステレオ視を適用する⁴⁾。ステレオ視は、画像の入力が容易、自然光での3次元情報の獲得が可能などの理由から、数多くの研究がなされている^{5)~7)}。ステレオ視を適用することで、画像のみから3次元情報を獲得することが可能である。

提案手法では、HyperOmni Visionを用いて垂直方向に高さの異なる位置で全方位画像を取得し、得られた全方位ステレオ画像間で対応点探索を行うことにより、環境中の観測対象の方位角、奥行き情報、高さ情報といった全方位の3次元情報を一度に求めることができる⁸⁾。

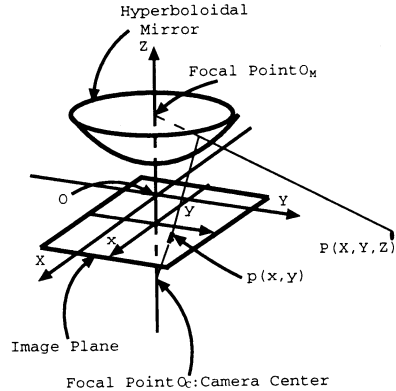
以下、画像を取得するために用いる全方位視覚センサ HyperOmni Visionと全方位ステレオ視による3次元情報の獲得方法について述べる。最後に、実画像を用いた実験により本手法の有効性を検証し、人工現実感への応用例として、得られた3次元情報から両眼ステレオ画像を作成できることを示す。

2. 全方位視覚センサ HyperOmni Vision

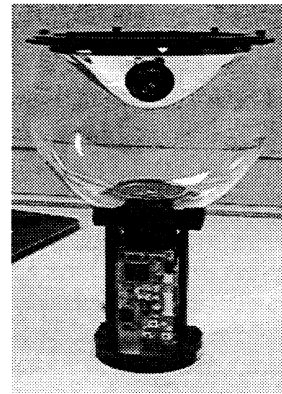
2.1 HyperOmni Vision の特徴

HyperOmni Visionは双曲面ミラーを用いた全方位視覚センサであり³⁾、センサの周囲360°の画像を一度に取得することができる。また、環境の理解に有用な側方領域の情報が多く得られると同時に足元領域の情報も得られるという特徴を持っている。さらに、他の全方位視覚センサとは異なり、光学系の特性が透視射影であり既存の画像処理手法を適用できる。

図1にHyperOmni Visionの光学系の構成および外観を示す。HyperOmni Visionは回転2葉双曲面を用いており、図1(a)のように2つの焦点 O_M 、 O_C を持っている。外側焦点 O_C にカメラのレンズ中心を設定する。このとき、カメラは2焦点を通るZ軸上で鉛直上向きに取り付けている。カメラのレンズ中心を焦点 O_C に設定することで、2葉双曲面の特性により以下の関係が成立する。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。よって、双曲面ミラーによって画像は反転するが、双曲面ミラーの内側の焦点 O_M から見た像が得られることになる。なお、得られる全方位画像の特徴については2.2節で述べる。双曲面ミラーの焦点 O_M とカメラのレンズ中心 O_C との関係ならびに双曲面の特性に



(a) 光学系の構成
Configuration of HyperOmni Vision.



(b) HyperOmni Vision の外観
Overview of HyperOmni Vision.

図1 全方位視覚センサ HyperOmni Vision
Omnidirectional image sensor HyperOmni Vision.

より、3次元環境中の点 $P(X, Y, Z)$ と全方位画像上の写像点 $p(x, y)$ の間には (1) 式の関係が成立する (図2, 図3)。

$$\left. \begin{aligned} Z &= \sqrt{X^2 + Y^2} \tan \alpha + c \\ \alpha &= \tan^{-1} \frac{(b^2 + c^2) \sin \gamma - 2bc}{(b^2 - c^2) \cos \gamma} \\ \gamma &= \tan^{-1} \frac{f}{\sqrt{x^2 + y^2}} \\ \theta &= Y/X = y/x \end{aligned} \right\} (1)$$

ただし、 b, c : 双曲面ミラーのパラメータ
 α : ミラー焦点と点 P との伏角
 γ : カメラレンズ中心と画像平面上の写像点 p との角
 θ : 点 P の方位角

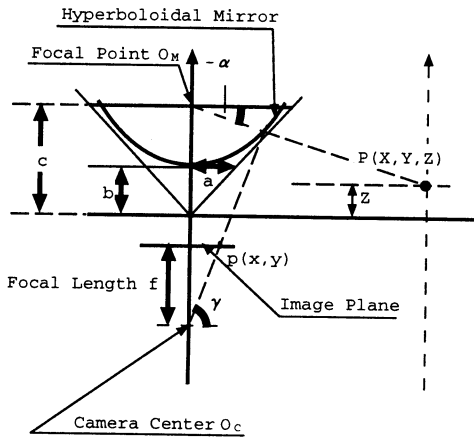


図2 3次元空間内の点 P と写像点 p との関係
Relation between P in real world and p in image plane.

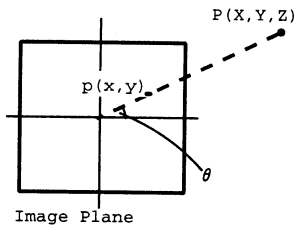


図3 写像点 p の方位と実対象 P の方位の関係
Relation of azimuth angle.

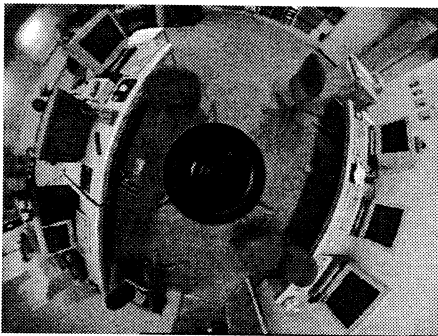


図4 全方位画像の例
Example of omnidirectional image.

2.2 全方位画像の特徴

HyperOmni Vision を用いて得られる全方位画像の例を図4に示す。図4からわかるように、カメラを中心にして周囲360°の3次元環境の画像が取得できている。得られる画像は、側方領域の情報を多く含んでいるだけでなく、画像中心部のカメラ自身の写り込みを除いた足元の情報も含んでいる。この全方位画像の

特徴として、2つの焦点 O_M 、 O_C を通る Z 軸から3次元環境中の対象物体への方位が、 Z 軸上にある画像中心から全方位画像上の写像位置への方位と一致するという点があげられる(図3, (1)式)。さらに、得られる全方位画像は光学系の特性により、双曲面ミラーの焦点 O_M から双曲面上への透視投影画像となっている。そのため、画像の幾何学的変換により O_M から任意方向を眺めた画像(通常のカメラにより得られる画像)を切り出すことができる。

3. 全方位ステレオ視

本論文では、HyperOmni Vision を用いて得られた全方位ステレオ画像間において対応点探索を行い、全方位での視差を抽出することで観測対象の3次元情報を獲得する手法を提案する。以下では、全方位ステレオ画像の取得方法、全方位ステレオ画像上の対応点間の関係、全方位の視差を抽出するための対応点探索手法、得られた全方位の視差と3次元情報の関係について順に述べる。

3.1 全方位ステレオ画像の取得

全方位ステレオ画像を取得するには、全方位視覚センサ HyperOmni Vision を水平方向に配置する方式と垂直方向に配置する方式が考えられる。水平方向に配置した場合、全方位ステレオ画像間で対応関係が求まる領域がかなり制限される。また、水平方向に配置することで、探索ラインの設定ならびに探索範囲の設定が複雑になるという問題点がある。

垂直方向に配置した場合は、上に配置する HyperOmni Vision に下側の HyperOmni Vision が写り込むために、全方位画像の中心部において対応関係を求められない領域が存在する。しかし、画像の中心部分を除けば全方位において対応関係を求めることが可能な全方位ステレオ画像を取得できる。また、センサを垂直方向(図1(a)の Z 軸方向)に配置し高さの異なる位置で2枚の全方位画像を取得することで、全方位ステレオ画像の画像中心からの放射線上でエピソード拘束を成立させることが可能となる。放射線上でエピソード拘束が成立することにより、全方位ステレオ視における対応点探索を直線上で効率的に行うことが可能となる。これは通常の縦方向の両眼ステレオ視に相当する。

以上の点から、本研究においては、HyperOmni Vision を高さの異なる位置で垂直方向に配置することにより全方位ステレオ画像を取得する。

3.2 全方位ステレオ画像間の関係

全方位ステレオ画像を取得する際の HyperOmni Vi-

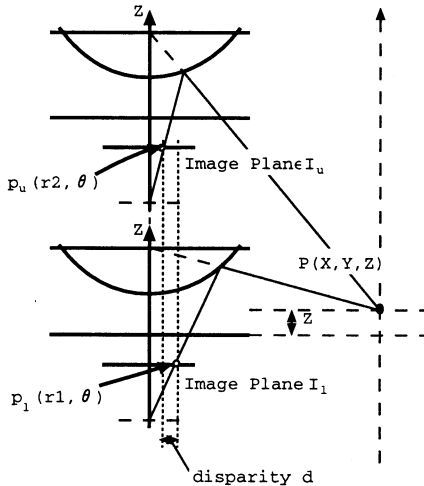


図5 全方位画像間の関係
Relation of omnidirectional images.

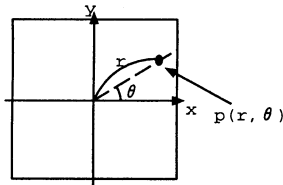


図6 極座標表現
Polar coordinate system.

sion の位置関係を図5に示す。相対的に低い位置で取得される全方位画像を I_l 、高い位置で取得される全方位画像を I_u とする。以下では、全方位画像上での写像点 p を画像中心からの半径 r ならびに写像点が存在する放射線のなす方位角 θ を用いて極座標 $p(r, \theta)$ で表現する(図6)。

全方位ステレオ画像間では画像中心から伸びる放射線上でエピポーラ拘束が成立しているので、3次元環境中の点 $P(X, Y, Z)$ の全方位画像 I_l, I_u 上に対する写像点は同一の方位角 θ を持つ。このとき、全方位画像上での写像点の座標をそれぞれ $p_l(r_1, \theta)$, $p_u(r_2, \theta)$ とすると、(2) 式の関係が得られる。 d は全方位画像上での位置ずれを表す視差である。

$$r_2 = r_1 - d \quad (2)$$

(2) 式ならびに図5からわかるように、3次元環境中の同一対象が全方位画像 I_u 上に写像される位置は、全方位画像 I_l 上に写像される位置よりも画像中心に近い内側の位置にある。つまり、3次元環境中の同一対象物体が写像される際の画像中心からの半径は、全方位画像 I_u 上の方が全方位画像 I_l 上に比べて必ず小

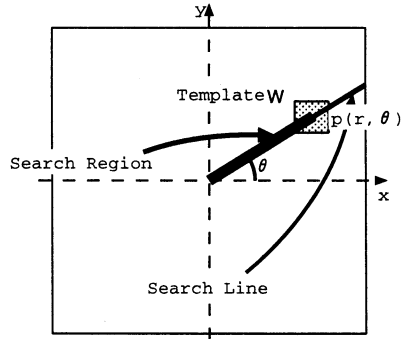


図7 対応点探索範囲
Range of stereo correspondence search.

さいという関係にある ($r_2 < r_1$)。

3.3 テンプレートマッチングによる対応点探索

全方位ステレオ視により3次元情報を獲得するためには、下側の画像中に見えている注目点在上側の画像のどの部分に見えているかを求める必要がある。

以下では、下側の全方位画像 I_l を基準画像として対応点探索を行う方法について述べる。3.2節からわかるように、基準画像を I_l とすることで、全方位画像 I_l 上に存在する注目領域はHyperOmni Visionのカメラ自身が写り込む画像中心を除けば、オクルージョンがない場合は上側の全方位画像 I_u 上に必ず存在することになる。このとき、全方位ステレオ画像間では中心から伸びる同一の方位角をなす放射線上においてエピポーラ拘束が成立しているので、対応点探索を行う際には探索ラインならびに探索範囲が限定できる(図7)。

図7に示したように、探索ラインは全方位画像 I_l 上での注目画素 (r, θ) が存在する方位角 θ の放射線と同一の方位角をなす全方位画像 I_u 上の放射線上に設定している。また、探索範囲は画像中心からの半径が r 以下となる内側の範囲 ($r - d; 0 < d \leq r$) のみに限定できる。全方位ステレオ画像間において以下のような対応点探索の評価式 E が定義できる。ここで $I_l(r, \theta)$, $I_u(r, \theta)$ は各全方位画像上の画素 (r, θ) における画像輝度値を表している。

$$E(r, \theta; d) = \sum_{r, \theta \in W} \{I_u(r - d, \theta) - I_l(r, \theta)\}^2 \quad (3)$$

(3) 式は全方位画像 I_l 上の注目画素 (r, θ) において、探索窓領域内における画像輝度値の最小自乗誤差を評価基準とした評価式で、探索窓 W を設定して対応点探索を行うことを意味している。この評価式を

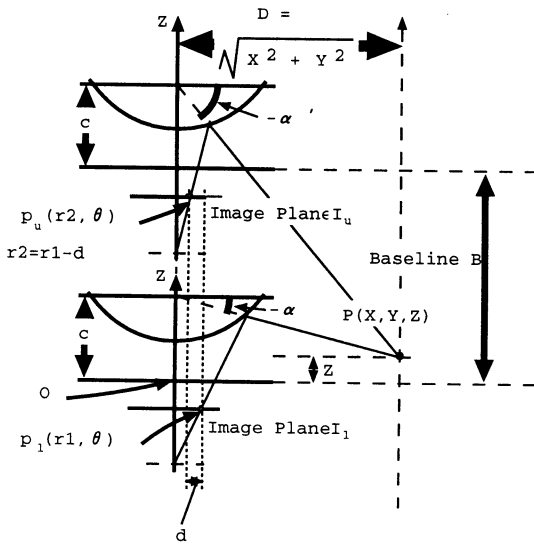


図8 3次元ワールド座標系の設定
3D world coordinate system.

最小とする全方位画像 I_l 上の注目画素に対する全方位画像 I_u 上の対応画素を $0 < d \leq r$ の範囲で探索することにより、視差 d を求める。

3.4 3次元情報の獲得

実際の3次元環境を理解するには対応点探索で得られた全方位の視差情報そのものではなく、視差を基に対象物体の3次元座標を計算する必要がある。以下では、全方位ステレオ視によって得られた視差 d と3次元環境中における対象物体の奥行き D と高さ Z の関係について述べる。

まず、座標系の設定を行う(図8参照)。3次元ワールド座標系の原点は相対的に低い位置に配置するHyperOmni Visionの光学系の原点とする。相対的に高い位置に配置するHyperOmni Visionの光学系の原点は、3次元ワールド座標系ではカメラ間の基線長である B を考慮して $(0, 0, B)$ の位置になる。奥行き $D (= \sqrt{X^2 + Y^2})$ はHyperOmni Visionの双曲面ミラーの焦点とカメラレンズ中心を通る Z 軸から対象物体までの水平方向の距離とする。このとき、3次元環境中の点 $P(X, Y, Z)$ を対象物体とすると、2.1節で述べた関係(1)式より全方位ステレオ画像対 I_l, I_u の各々に対して

$$\begin{aligned} & \text{低い位置に配置した HyperOmni Vision では,} \\ & Z = D \tan \alpha + c \quad (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{高い位置に配置した HyperOmni Vision では,} \\ & \text{基線長 } B \text{ を考慮して} \end{aligned}$$

$$Z = D \tan \alpha' + c + B$$

が成立する。

ただし、 Z : 実環境中での対象物体の高さ
 D : 実環境中での対象物体までの奥行き
 B : カメラ間の基線長
 c : 双曲面ミラーのパラメータ
 α, α' : ミラー焦点と対象物体との伏角

以上の関係より、奥行き D はカメラ間の基線長 B と3次元環境中における対象物体と下側のHyperOmni Visionのミラー焦点との伏角 α ならびに上側でのミラー焦点との伏角 α' を用いて次のように表せる。

$$D = \frac{B}{\tan \alpha - \tan \alpha'}$$

ここで、全方位ステレオ画像対 I_l, I_u 上での写像点を各 $p_l(r_1, \theta), p_u(r_2, \theta)$ とすると、ミラー焦点との伏角 α および α' は視差 d と注目画素の半径 r_1 を用いて以下の式で表される((1)式参照)。

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{(b^2 + c^2) \sin(\tan^{-1} \frac{f}{r_1}) - 2bc}{(b^2 - c^2) \cos(\tan^{-1} \frac{f}{r_1})}$$

$$\alpha' = \tan^{-1} \frac{(b^2 + c^2) \sin(\tan^{-1} \frac{f}{r_1 - d}) - 2bc}{(b^2 - c^2) \cos(\tan^{-1} \frac{f}{r_1 - d})}$$

ただし、 b, c : 双曲面ミラーのパラメータ

f : カメラの焦点距離

上式から奥行き D は注目画素の半径 r_1 と視差 d から計算できることがわかる。また、奥行き D を求めることによって、高さ Z も(4)式から求めることができる。

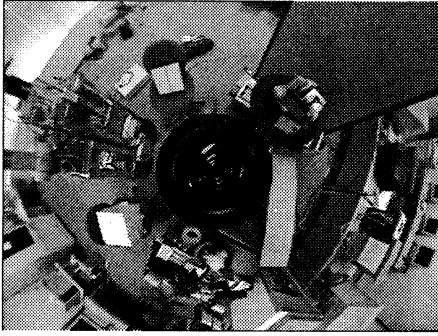
4. 3次元情報抽出の実験および考察

本章では、提案した全方位ステレオ視により、観測位置において全方位の3次元情報が獲得できることを確認する。そのために、実画像を用いた実験を行う。さらに、得られた3次元情報の獲得結果から提案手法が有効であることを示す。

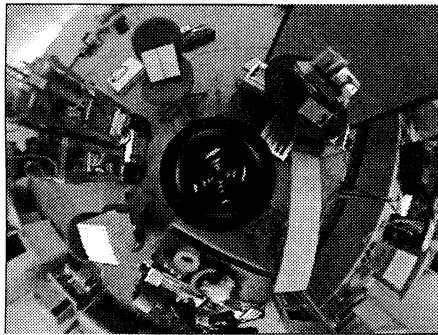
4.1 実験条件

実験に用いた画像の例を図9に示す。図9は照明条件一定のもとで実験室内を撮影したものである。図9(a)が上側の全方位画像で、図9(b)が下側の全方位画像である。グレイスケール256階調の画像で、画像サイズは 640×486 である。HyperOmni Vision間のカメラの基線長は 242.0 mm に設定している。

対応点探索を行うに当たり、基準画像は下側の全方位画像(図9(b))とする。この対応点探索には注目画



(a) 上側の全方位画像
Upper omnidirectional image.



(b) 下側の全方位画像
Lower omnidirectional image.

図9 全方位ステレオ画像
A pair of omnidirectional stereo images.

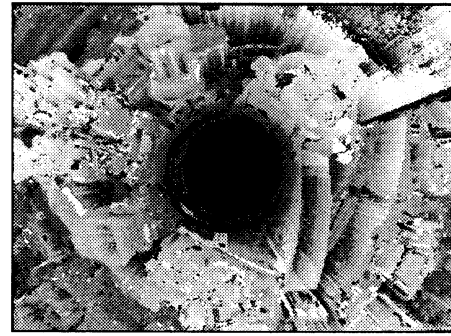


図10 全方位視差画像
Omnidirectional disparity image.

表1 センサパラメータの値
Parameters of HyperOmni Vision.

HyperOmni Visionのパラメータ値	
a	42.1 mm
b	42.7 mm
c	59.1 mm
焦点距離 f	1000.0 mm



図11 全方位奥行き画像
Omnidirectional depth image.

素を中心にした 5×5 の矩形領域の探索窓を用いる。対応点探索の範囲は注目画素の位置における半径以下で画像中心方向にエピポーラ拘束の成立している放射線上のカメラ自身の写り込み部分を除いた全領域に設定している。

4.2 実験結果

(1) 視差抽出結果

図9に示した全方位ステレオ画像から、提案手法を用いて全方位での視差を求めた結果を図10に示す。図10は、得られた視差を基準画像である下側の全方位画像に対して、視差が大きいほど輝度値が高く（画像上で明るいところほど輝度値が高いことを表している）なるように表示したものである。

図10からわかるように、提案した探索手法によりHyperOmni Visionを中心にして周囲 360° の全領域で視差が抽出できていることがわかる。対応づけの精度に関しては、定量的な評価は行っていないが、各対象の相対的な位置関係を理解するには充分である。し

かしながら、画像中で輝度、テクスチャの変化が少ない部分とエピポーラ線と同じ方向をもつエッジ部分において誤対応が生じている。

(2) 3次元情報獲得結果

3.4節で述べた視差と3次元情報の関係を用いて、得られた視差から奥行きと高さを計算した結果を順に示す。3次元情報を計算する際に用いたHyperOmni Visionの双曲面ミラーパラメータ a, b, c ならびに焦点距離 f を表1に示す。

3.4節で述べた関係を用いて、全方位で得られた視差から全方位での奥行きを計算した結果を図11に示す。また、全方位の奥行き情報から、全方位の高さ情

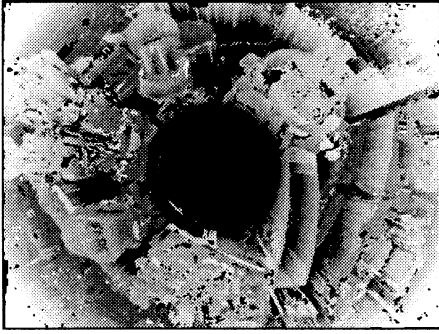


図 12 全方位高さ画像
Omnidirectional height image.

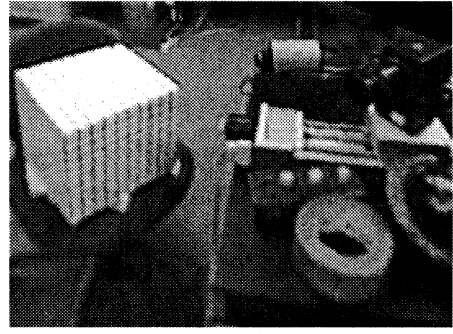


図 13 透視投影画像
Common perspective image.

報を計算した結果を図 12 に示す。図 10 と同様に基準画像である下側の全方位画像上に表示し、奥行きならびに高さの値が大きいほど輝度値が高くなるように表示している。

得られた全方位での 3 次元情報が、実際の 3 次元環境を理解する上で有用であることを示すために、以下に、全方位画像の一部を平面上に透視投影変換した画像（通常のカメラで得られる画像）の形で同様に奥行きと高さを示す。この透視投影画像は、HyperOmni Vision の双曲面ミラー焦点の位置から、通常のカメラを用いて 3 次元環境中の対象を撮影した画像に相当する。図 13 が図 9 (b) の一部を平面上に透視投影変換した画像であり、図 14、図 15 がそれぞれ図 11、図 12 の同じ部分を同様に平面上に透視投影変換した奥行き画像と高さ画像である。したがって、図 14、図 15 は図 13 に対する奥行きならびに高さを示している。これらの結果は、実際の 3 次元環境の状況に合致しており、提案手法により 3 次元情報が獲得できていることがわかる。

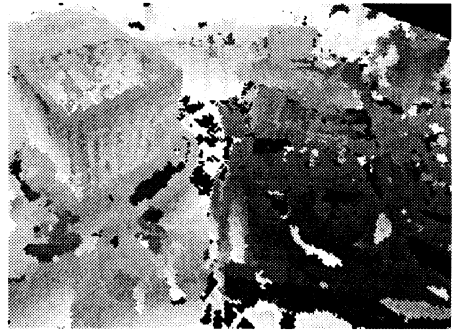


図 14 奥行き画像
Depth image (common perspective image).



図 15 高さ画像
Height image (common perspective image).

以上の結果から、提案した全方位ステレオ視により 3 次元環境全体を理解する上で必要となる対象物体までの全方位での奥行き情報のみならず全方位での高さ情報が獲得できていることが確認できる。

4.3 考察

実験により、全方位の 3 次元情報を獲得できることを確認し、提案手法が有効であることを示した。本手法の問題点として以下の点があげられる。従来のステレオ視は、画像中で特徴の目立ったエッジ部分やテクスチャのはっきりした部分でしか正確な対応を求められない。また、画像中で同じような特徴を持った領域では、誤対応を生じることがある。実験結果からわかるように、全方位ステレオ視においても同様の傾向が確認できる。これらの問題を解決するために、注目領

域だけでなく近傍領域の情報を考慮に入れた探索を行うことなどが考えられる。

また、全方位ステレオ視に固有の問題として、以下の点が考えられる。全方位ステレオ画像間において、3 次元環境中の注目対象は異なる大きさで写像される。そのために、注目画素の位置での探索窓領域中に含まれる視野範囲と、対応画素の位置での窓内に含まれる視野範囲が異なる。この問題を解決するために、対応

点探索を行う際の探索窓の設定に関して検討していく必要があると考えている。

5. 両眼ステレオ画像の作成

人工現実感などへの応用においては、人間が立体視することのできる通常の横方向視差を有する両眼ステレオ画像を提示する必要がある。3.1 節で述べたように、全方位ステレオ視は通常の縦方向のステレオ視に相当する。このことから、得られた全方位の視差は縦方向の両眼視差に相当する。

図 16 からわかるように、得られる奥行き D を用いて、双曲面ミラーの焦点 O_M から対象 P までの距離 L を計算することができる。このとき、両眼ステレオ画像を作成する際の両眼間隔を B_b 、焦点距離を

$$d_b = B_b \frac{f_b}{L} \tag{5}$$

このように、ユーザの視点方向での両眼ステレオ画像を作成することで、ユーザは 3 次元環境の理解を行う上で重要な観測対象の配置、形状などを知覚できる。

6. む す び

本論文では、3 次元環境全体の状況を理解するために、観測位置において全方位の 3 次元情報を同時に獲得する手法を提案した。本手法は、高さの異なる位置で取得した全方位ステレオ画像間の視差を抽出することにより、全方位で対象までの奥行き情報ならびに高さ情報といった 3 次元情報を獲得することが可能である。また、実画像を用いた実験により本手法の有効性を示した。さらに、5 章で示したように、人工現実感などへの応用として、全方位画像から人間が立体視することのできる両眼ステレオ画像を作成できることを示した。全方位における両眼ステレオ画像の提示は、環境全体の状況を必要とする遠隔地でのロボットの操作支援などに有用である。

今後の課題としては以下の点が挙げられる。下側の全方位画像での注目対象は、上側の全方位画像上ではより画像中心近くに存在するために画像中での写像領域が小さくなる。このために、対応点探索を行う際に放射線上での探索位置により窓のサイズを拡大縮小し

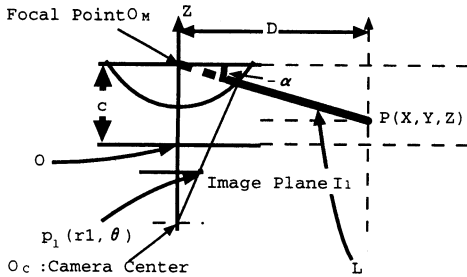


図 16 ミラー焦点 O_M と実対象 P との直線距離 L と奥行き D の関係
Relationship between distance L and depth D .

表 2 両眼ステレオ画像生成におけるパラメータの値
Parameters in computing binocular stereo images.

両眼ステレオ画像作成に用いたパラメータ値	
両眼間隔 B_b	60.0 mm
焦点距離 f_b	300.0 mm

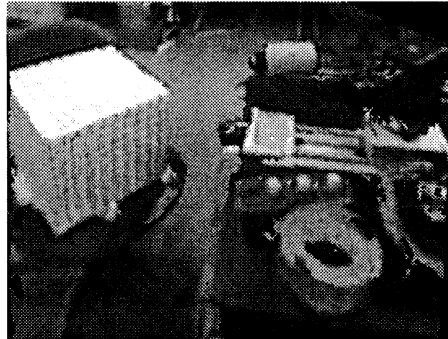
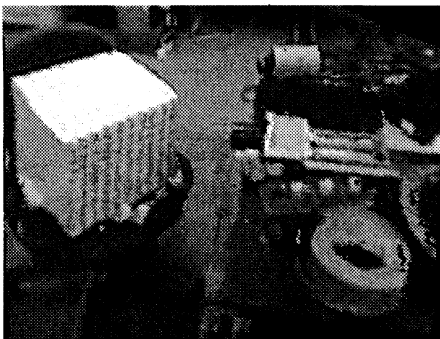


図 17 両眼視差を基に作成した両眼ステレオ画像
A pair of computed binocular stereo images.

ていくなどの探索手法の改良が考えられる。また、対応点探索を行う際に矩形領域の窓ではなく、全方位画像に適した形の探索窓の設定を検討していく必要がある。さらに、実験により奥行きおよび高さが得られることを示したが、定量的な評価は行っていない。得られた奥行きと実際の環境での奥行きから本手法の定量的な評価が必要である。両眼ステレオ画像の提示に関しては、現段階では、3次元情報の抽出を高速に処理することが困難なため、テレプレゼンス等で必要となる、ユーザの視点に追従したリアルタイムでの任意方向のステレオ画像提示には至っていない。しかしながら、3次元情報の抽出が完了した全方位ステレオ画像に対して、ユーザの視点にリアルタイムで追従する両眼ステレオ画像の提示は可能と考えられる。

なお、本研究は、通信・放送機構からの受託研究、電気通信普及財団研究助成および文部省科研費補助金(課題番号: 09480068, 09555127, 09780385)による。

〔参 考 文 献〕

- 1) H. Ishiguro, M. Yamamoto and S. Tsuji: "Omni-directional Stereo for Making Global Map", Proc. IEEE 3rd Int. Conf. on Computer Vision, pp.540-547 (1990)
- 2) J. Hong, X. Tan, B. Pinette, R. Weiss and E.M. Riseman: "Image-based Homing", Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.620-625 (1991)
- 3) 山澤, 八木, 谷内田: "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**, 5, pp.698-707 (1996)
- 4) 井口, 佐藤: 三次元画像計測, 昭晃堂 (1990)
- 5) Y. Ohta and T. Kanade: "Stereo by Intra- and Inter-scanline Search Using Dynamic Programming", IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., **PAMI-7**, 2, pp.139-

154 (1985)

- 6) 横矢: "多重スケールでの正規化によるステレオ画像からの不連続を保存した曲面再構成", 信学論 (D-II), **J76-D-II**, 8, pp.1667-1675 (1993)
- 7) T. Kanade and M. Okutomi: "A Stereo Matching Algorithm with an Adaptive Window: Theory and Experiment", IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., **16**, 9, pp.920-932 (1994)
- 8) 茶園, 山澤, 横矢, 竹村: "HyperOmni Vision による全方位ステレオ視", 信学技報, IE96-122, pp.99-106 (1997)



ちやえん あつし
茶園 篤 1995年, 山口大学工学部知能情報システム工学科卒業。1997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, NEC入社。関西C&C研究所勤務。在学中, 画像処理, コンピュータビジョンの研究に従事。



やまざわ かずまさ
山澤 一誠 1992年, 大阪大学基礎工学部情報工学科卒業。1994年, 同大大学院博士前期課程修了。1996年, 同大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, 仮想現実の研究に従事。



よこや なおかず
横矢 直和 1979年, 大阪大学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年, マツギル大学客員教授(1年間)。1992年, 奈良先端科学技術大学院大学教授(現在, 情報科学研究科)。画像処理, コンピュータビジョン, CGの研究に従事。工学博士。正会員。



たけむら はるお
竹村 治雄 1987年, 大阪大学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。ATR通信システム研究所に勤務。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。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。工学博士。正会員。