平行配置カメラアレイと奥行き推定を用いた高密度指向性画像生成用3次元カメラ

Three-dimensional Camera Using Parallel-aligned Camera Array and Depth Estimation for Generating High-density Directional Images

吉川 博 志[†], 正会員 高木 康 博[†]

Hiroshi Yoshikawa[†] and Yasuhiro Takaki[†]

Abstract Natural 3-D images can be generated by displaying high-density directional images. The 3-D camera technique that generates high-density directional images can be implemented by interpolating images that were captured by a horizontally-aligned camera array using image-based rendering techniques. Three cameras in the camera array that was located in front of an object were used to obtain right- and left-side depth maps of the object. Using these depth maps in the image interpolation process enabled us to fix the camera pitch independently of the depth of the object. We found that when numerous cameras were aligned horizontally and the cameras in front of the object were selectively used, movements of the object in the horizontal and depth directions were allowed because the camera pitch did not have to be changed. The preliminary experimental results indicated that 64 directional images were generated from eight captured images.

キーワード: 3次元カメラ, 3次元ディスプレイ, 画像補間, ステレオマッチング

1. ま え が き

われわれは、指向性画像の高密度表示を用いた自然な3次元表示方式を提案している¹⁾。指向性画像の高密度表示とは、3次元物体を特定の方向へ正射影した指向性画像をその投影方向を微妙に変えて多数用意し、これらに対応する方向に同時に平行投影する3次元表示方式である。これには、特殊な眼鏡の装着を必要としない、観察位置が限定されず多人数で観察可能、人間の視機能に矛盾しない、運動視差があり高い臨場感を提供するなどの特徴がある。われわれは、既に、64枚の指向性画像を表示するプロトタイプシステムを試作し、その有用性を示している¹⁾。この3次元ディスプレイに実在の物体を3次元表示するためには、指向性画像を高密度に生成する3次元カメラが必要である。なお、本研究で言う3次元カメラとは、多数の2次元画像(指向性画像)を同時に出力するものを言う。

われわれは、既に、平行配置したカメラアレイを用いて、指向性画像を高密度に生成する3次元カメラ技術について

報告している²⁾。カメラアレイで撮影した画像に対してイメージベースレンダリング法を用いることで、高密度指向性画像を生成した。3次元カメラの実現方法としては、他に、3次元形状計測により、物体の3次元形状を数値モデル化して、コンピュータグラフィックス技術を用いて画像生成を行う、モデルベースレンダリング法を用いる方法があるが、処理の高速性とフォトリアリスティック性を重視して、イメージベースレンダリング法を用いた。イメージベースレンダリング法は、元来は任意視点カメラ技術として考案されたものであるが、同時に多数の画像を生成するようにして、一点透視投影画像ではなく平行投影画像を生成するように変更することで高密度指向性画像を生成可能にした。ただし、カメラアレイのカメラ間隔と撮影できる3次元物体の奥行きの間トレードオフの関係があった。すなわち、奥行きが大きい物体を撮影するためには、カメラ間隔を小さくする必要があり、カメラ数が増加することが問題点であった。

本研究では、従来の研究で用いた Epipolar Plane Image³⁾(以下、EPI と略す) 上での画像補間に物体の奥行き推定を導入することで、カメラ間隔を一定に保つことを可能にする。奥行き推定を導入すると、撮影物体の奥行きや撮影距離に応じて、カメラ間隔を変える必要がなくなる。カメラ間隔を動的に変える必要がなければ、多数のカメラを等間隔に平行配置して撮影物体の正面付近の複数のカメラ

2005 年 2 月 18 日受付, 2005 年 10 月 13 日再受付, 2005 年 11 月 25 日採録

[†] 東京農工大学 大学院 共生科学技術研究部

(〒184-8588 小金井市中町 2-24-16, TEL 042-388-7923)

[†] Institute of Symbiotic Science and Technology, Tokyo University of Agriculture & Technology

(2-24-16, Naka-cho, Koganei-shi, Tokyo 184-8588, Japan)

図 1 円弧配置したカメラアレイ
Circularly aligned camera array.

を選択的に用いることで、物体の水平方向の移動にも対応できるようになる。以上のように、奥行き推定の導入により、物体の水平方向と奥行き方向への移動に対応できる3次元カメラが実現できる。

イメージベースレンダリングに奥行き推定を導入することは、任意視点カメラ技術では既に行われている。光線空間上での補間を用いた方法では、 4×4 の2次元カメラアレイを用いた方法が報告されている⁴⁾。ここでは、カメラアレイ中の 3×3 個のカメラ出力を用いて、高速ステレオビジョン装置で1枚の奥行き画像の推定を行っている。EPI上での補間を用いた方法では、EPIに対する空間フィルタ群との相関値をもとに、暗に奥行き推定を導入する方法が提案されている⁵⁾。本研究では、EPI上での補間において、1次元配置されたカメラアレイ中の物体正面付近の3台のカメラから得られた二つの奥行き推定画像をもとに補間を行う。また、奥行き推定はステレオマッチングにより明示的に行う。

2. カメラアレイの構成法

3次元カメラに用いるカメラアレイの構成方法としては、図1に示す円弧配置と図2に示す平行配置がある。円弧配置は、すべてのカメラが物体を注視しているため、撮影画像に占める撮影物体の割合が高く、撮影画像データの利用効率が高いことが特徴である。しかし、円弧の中心に常に物体が存在する必要があるため、移動する物体を撮影するためには、カメラ位置やカメラ間隔だけでなく、円弧の曲率も変える必要があり、実際の撮影に用いるのは難しい。そのため、本研究では、多数のカメラを等間隔で平行配置したカメラアレイを用いる。そして、多数のカメラの中から、撮影物体正面付近にある複数台のカメラの撮影画像を用いて、指向性画像の生成を行うことを考えた。すなわち、図2に示すように、撮影物体の移動とともに利用するカメラを動的に切り替えることを考えた。

われわれが以前に実現した方法²⁾では、物体のもつ奥行きによってカメラ間隔を変える必要があった。これは、補間処理に必要な物体の奥行き分布を一つの奥行き値で代表させたことに起因する。そこで本研究では、3次元物体の奥行き分布の推定を導入する。これにより、物体のもつ奥

図 2 多数のカメラを平行配置したカメラアレイ
A camera array consisted of a number of parallel aligned cameras.

図 3 平行配置したカメラアレイによる撮影系
Image capturing using a parallel aligned camera array.

行きによって、カメラ間隔を変える必要がなくなり、一定に保つことが可能になる。また、奥行き推定には特別なカメラを用意せず、撮影物体正面付近にある3台のカメラの撮影画像を用いることにした。

3. 指向性画像の生成

図3に、カメラアレイによる撮影系を示す。仮想スクリーンは、3次元ディスプレイの3次元スクリーンに対応する。仮想スクリーンの水平幅を W で、カメラから仮想スクリーンまでの奥行き距離を z_s で、3次元ディスプレイの水平視域角を Θ で表す。平行配置した多数のカメラの中から撮影に利用するカメラを動的に切り替えて利用するが、撮影物体を中心とした $L = W + 2z_s \tan(\Theta/2)$ の幅の中にあるカメラを撮影に用いる。カメラ間隔を p とすると、この幅の中にあるカメラ数 N は $N = L/p + 1$ となる。なお、撮影に利用するカメラの動的な切り替え方法は、利用形態に依存するが、撮影物体の手動追尾や自動追尾に連動して切り替える方法が考えられる。

EPIでの画像補間について簡単に説明する。図4(a)に撮影系の水平断面図を示す。レンズが並ぶ直線上に x 軸をとり、撮影に用いるカメラ群の中心を原点 O として、 x 軸と垂直方向に z 軸をとる。通常のカメラで撮影した画像には、さまざまな方向に進む光線の情報が含まれている。 x 軸上の位置 x_c にあるカメラで撮影される光線が仮想スクリーンを通過する位置 x と、光線が仮想スクリーンを通過する角度 θ との間には、つぎの関係がある。

$$\tan \theta = (x - x_c)/z_s \quad (1)$$

図4 カメラアレイによる撮影画像と EPI の関係: (a) 多数のカメラによる撮影, (b) 対応する EPI

Relationship between images captured by camera array and EPI. (a) image capturing by multiple cameras, (b) corresponding EPI.

したがって、図 4(b) に示す横軸に x を縦軸に $\tan \theta$ をとった座標系では、撮影画像の水平走査線上の画像データは、傾きが $1/z_s$ で x 軸と x_c で交わる直線上に並ぶ。このように、画像データを $x - \tan \theta$ 座標で表したものを EPI という³⁾。間隔 p で平行配置した複数のカメラで撮影した撮影画像データは、EPI 上で間隔 p の平行な直線上に並ぶ。平行投影角 ϕ の指向性画像を生成するためには、EPI 上で縦軸の値が $\tan \phi$ で、 x 軸に平行な直線上の画像データを求めれば良い。しかし、カメラ数は有限であるため、この直線上には離散的な撮影データしか存在しないため、補間処理が必要となる。

EPI には、1) 3 次元物体の一点から発せられる光線データは直線上に並ぶ、2) その点の奥行き距離で直線の傾きが決まる、3) 手前にある点に対応する直線が後ろにある点に対応する直線を隠蔽する、という三つの性質がある。³⁾ $x-z$ 平面上のある点 (x_o, z_o) を考え、この点から発せられる光線の強度は、隣接するカメラではほぼ均一と近似できるとする。これらの光線が仮想スクリーンと交わる位置 x と角度 θ の間には、

$$\tan \theta = (x - x_o) / (z_s - z_o) \quad (2)$$

で表される関係があるため、これらの光線は EPI 上では傾きが $1/(z_s - z_o)$ で x 軸と x_o で交わる直線上に並ぶ。したがって、物体の奥行き位置 z_o に応じた傾きをもつ直線上に、ほぼ均一な強度が並ぶことになる。逆に、3 次元物体の位置 x と奥行き z_o が既知の場合、物体が EPI 上でどのような直線を構成するのがわかる。

われわれが以前に報告した方法²⁾では、3 次元物体の奥行き分布をひとつの奥行き距離 z_m で代表させ、 $1/(z_s - z_m)$ の傾きを持つ直線上で補間処理を行った。しかし、奥行き分布をもつ 3 次元物体をひとつの奥行き距離で代表させると、画像補間に誤りが生じ、生成画像に 2 重像やぼけが生じる。従来法では、このようなエラーを小さくするために、カメラ間隔を小さくしてカメラ数を増やす必要があった。

奥行き推定を導入することで、EPI 上で補間を行う直線の方向が既知になるため、カメラ間隔を大きくしてカメラ

図5 画像データの流れ
Image data flow.

数を減らしても、高精度な画像補間が実現できる可能性がある。ただし、3 次元表示においては、左右の眼で見える画像の間に正しい対応関係があることが重要になる。このため、従来の任意視点カメラ技術のように正面から見た奥行き推定画像を 1 枚だけ用いたのでは、オクルージョン等の問題により、不自然な 3 次元像になる可能性がある。そこで、本研究では、物体を右から見た奥行き推定画像と左から見た奥行き推定画像を用いることにした。また、画像間の類似度が高い方が、奥行き推定のエラーが少ないため、奥行き推定に用いる 2 台のカメラの間隔は、あまり大きくない方が好ましい。そこで、物体の中心付近にあるカメラとその右隣のカメラの間、および、中心付近にあるカメラとその左隣のカメラの間でステレオマッチングを行い、左右 2 方向から 2 枚の奥行き推定画像を求める。画像生成の流れを図 5 に示す。

奥行きの推定後は、図 6(a) に示すように、奥行き分布が求まった直線の各点から、その奥行きに対応する方向に直線を伸ばし、求めたい指向性画像に対応する水平線との交点にその奥行き値を与える。これを、2 本の奥行き分布を求めた直線に対して行う。オクルージョンがある場所の付近では、指向性画像の同一画素に二つ以上の奥行き値を与えられるが、EPI の三つ目の性質から最小の奥行き値を採用する。

つぎに、図 6(b) に示すように、指向性画像から、各画素の奥行き値に対応する方向に直線を伸ばし、交わった撮影データの値を、その指向性画像の画素値とする。撮影データとの交点が 2 点以上となった場合には、最短距離の 2 点の値に対して、EPI 上の距離に応じた線形補間を行い画素値を決定した。これは、前節で仮定した 3 次元物体の一点から発せられる光線の強度が、隣接するカメラ間でほぼ均一であるという条件が満たされるからで、この仮定が成り立たない場合には、生成される画像は不自然な画像になる。また、線形補間に用いる 2 点が、奥行き分布を求めた画像データ内にある場合には、その奥行き値を参照して、対応しない場合には補間に用いないようにした。このようにす

図 6 奥行き推定を用いた画像補間: (a) 奥行きマッピング, (b) 画像補間
Image interpolation using depth estimation. (a) depth mapping, and (b) image interpolation.

ることで、奥行き推定を行った中心部の2台のカメラの撮影データが補間に使用される場合には、オクルージョンによる画質低下が抑制されることが期待できる。

4. 実験

今回は、原理検証を目的とするため、多数のカメラを平行配置してその中から複数のカメラを選択して用いる代わりに、水平電動ステージに乗せた1台のCCDカメラを用いて実験を行った。カメラレンズの焦点距離は16 mmで、撮像素子の大きさは1/2インチで、カメラの水平画角は 22.6° である。カメラの水平画角は、3次元ディスプレイの水平視域角である 21.8° 以上になるようにした。撮影画像の解像点数は 640×480 とした。指向性画像は、3次元ディスプレイの表示パラメータ²⁾に合わせて、解像点数を 320×240 とし、正射影方向を水平方向に 0.33° ピッチで変化させて64枚生成した。テストチャートを用いて、撮影画像をもとにカメラの視線方向を調整した。水平電動ステージの繰り返し位置決め精度は ± 0.010 mmであった。レンズ歪みは無視して、焦点は仮想スクリーン位置に合わせた。

奥行き推定には、ブロックマッチングに基づくステレオマッチング法⁶⁾を用いた。ブロックマッチングにはフルピクセル検索やサブピクセル検索があるが、今回は、精度は高くないが、処理が高速なフルピクセル検索を用いた。さらに、高速化のために、階層的ブロックマッチングを用いた⁷⁾。この手法では、撮影画像の解像度を 2^{-m} 倍した縮小画像($m = 0, 1, 2, \dots$)を作成し、エピポーラ線に沿って全探索を行い、対応点を決める。そして、1段階解像度を大きくした $2^{-(m-1)}$ 倍の縮小画像において、1段階低い解像度の結果をもとにその周辺部のみで対応点探索を行い、この処理を元の撮影画像の解像度まで繰り返し行う。初期探索画像の解像度は撮影画像のサイズの $1/8$ ($m = 3$)とした。また、ブロックマッチングのブロックサイズは、初期探索画像では 3×3 とし、それ以降は 7×7 とした。以上の階層的ブロックマッチングの検索条件は、経験的に決定した。

指向性表示3次元ディスプレイでは、スクリーンの前後でばけの少ない3次元像が表示される。そのため、被写体は仮想スクリーン付近に置いた。したがって、指向性画像の各画素の奥行き値の決定時に、奥行き値が与えられなかった画素については、仮想スクリーンの奥行き値を与えた。

最初に、撮影物体として、幅約80 mmで奥行き約60 mmの動物のフィギュアを用いた結果を示す。仮想スクリーンの幅 W を112 mmとして、仮想スクリーンの奥行き位置 z_s を280 mmとした。物体は、仮想スクリーン上に中心がくるように置いた。カメラアレイの幅 L は219 mmである。カメラ数 N は32, 16, 8とした。対応するカメラ間隔 p は7.1, 14.6, 31.3 mmである。 N を8より小さくすると、奥行き推定に用いるカメラに物体全体が映らなくなるため、 N を8以上とした。ちなみに、 $N = 8$ とした場合の撮影画像を図7に示す。また、左から $N/2 - 1$ 番目と $N/2$ 番目のカメラの撮影画像から左側からの奥行き推定画像を求め、 $N/2$ 番目と $N/2 + 1$ 番目のカメラの撮影画像から、右側からの奥行き推定画像を求めた。それぞれのカメラ数で得られた奥行き推定画像を図8に示す。手前の物体を明るく、奥の物体を暗く表示している。それぞれの場合で、左側からと右側からの2枚の奥行き推定画像を示している。さらに、求めた奥行き推定画像を基にして、指向性画像に与えられた奥行き分布を図9に示す。ただし、投影角が 0° の指向性画像のみを示している。つぎに、与えられた奥行き値をもとに、画像補間して生成した指向性画像の例を図10に示す。比較のために、従来の奥行き推定なしで求めた指向性画像の例を図11に示す。従来の補間処理に必要な物体の奥行き距離は、カメラから物体中心までの距離とした。従来法では $N = 32$ のときに良好な指向性画像が得られているが、 $N = 8, 16$ のときには2重像が見られる。一方、提案手法では、 $N = 8$ でも良好な指向性画像が得られていることがわかる。 $N = 8$ のときに得られた投影方向の異なる指向性画像の例を図12に示す。生成した指向性画像の正射影方向の角度範囲が 21.8° であるため、両端を含むよう

図 7 8 枚の撮影画像
8 captured images.

図 8 奥行き推定画像の例: (a) 撮影枚数 8 枚, (b) 撮影枚数 16 枚, (c) 撮影枚数 32 枚
Examples of estimated depth maps obtained by (a) 8 captured images, (b) 16 captured images, and (c) 32 captured images.

に角度をほぼ 4 分割した $\pm 10^\circ$ と $\pm 3^\circ$ について示した. それぞれの投影方向に対して奥行き分布を求めた際に, 奥行き値が与えられなかった割合は, 投影方向が -10° , -3° ,

$+3^\circ$, $+10^\circ$ の順で 7.7%, 3.8%, 1.8%, 3.8% で, 生成した 64 枚の指向性画像全体での平均値は 3.7% であった. 投影角が大きい場合には, オクルージョンにより正しい奥行

図 9 指向性画像に与えられた奥行き分布の例: (a) 撮影枚数 8 枚, (b) 撮影枚数 16 枚, (c) 撮影枚数 32 枚
Examples of depth maps of directional images obtained by (a) 8 captured images, (b) 16 captured images, and (c) 32 captured images.

図 10 提案手法で生成した指向性画像の例: (a) 撮影枚数 8 枚, (b) 撮影枚数 16 枚, (c) 撮影枚数 32 枚
Examples of directional images generated by proposed method for (a) 8 captured images, (b) 16 captured images, and (c) 32 captured images.

図 11 従来法で生成した指向性画像の例: (a) 撮影枚数 8 枚, (b) 撮影枚数 16 枚, (c) 撮影枚数 32 枚
Examples of directional images generated by previous method for (a) 8 captured images, (b) 16 captured images, and (c) 32 captured images.

きが与えられない部分が生じ、この部分に仮想スクリーンの奥行きを与えることに起因して2重像になる等の画像劣化が生じることがある。このことは、投影方向が -10° の指向性画像で、フィギュア頭部付近で特に顕著に現れている。実際には、投影角が約 -10° ～約 -8° の間で、フィギュア頭部付近と前足付近が2重像になった。

つぎに、撮影物体の奥行きを大きくして実験を行った。撮影物体は恐竜のフィギュアで、幅は約100 mmで奥行きは約120 mmである。物体は、仮想スクリーン上に中心がくるように置いた。 W , z_s , L の値は最初の実験と同様であり、カメラ間隔も同様である。生成した指向性画像の例を

図13に示す。この場合も、 $N = 8$ で良好な指向性画像が得られていることがわかり、物体の奥行きを拡大しても本手法が有効であることがわかる。

さらに、撮影物体の数を二つに増やし、撮影シーンの奥行きをさらに拡大した。用いた二つの物体は両方とも人物のフィギュアである。手前の物体は、幅が50 mmで奥行きが40 mmである。奥の物体は、幅が25 mmで奥行きは20 mmである。手前の物体をカメラから220 mmの距離に、奥の物体を400 mmの距離に配置したため、撮影シーン全体の奥行き幅は180 mmである。 W , z_s , L の値は以前と同様であり、カメラ間隔も同様である。生成した指向

(a)

(b)

(c)

(d)

図 12 投影方向の異なる幾つかの指向性画像：投影方向 (a) -10° , (b) -3° , (c) $+3^\circ$, (d) $+10^\circ$
Some directional images having different projection angles of (a) -10° , (b) -3° , (c) $+3^\circ$, and (d) $+10^\circ$.

(a)

(b)

(c)

図 13 提案手法により生成した奥行き 120 mm の物体の指向性画像：(a) 撮影枚数 8 枚，(b) 撮影枚数 16 枚，(c) 撮影枚数 32 枚
Directional images of an object having 120 mm depth by proposed method using (a) 8 captured images, (b) 16 captured images, and (c) 32 captured images.

性画像の例を図 14 に示す。この場合も、 $N = 8$ で良好な指向性画像が得られていることがわかる。また、カメラアレイから物体までの距離が変化しても、良好な結果が得られることがわかる。

5. 考 察

必要なカメラ間隔について考察する。提案方法では、中心部 3 台のカメラを用いて左右方向からの 2 枚の奥行き推定画像を得るが、この 2 枚の奥行き推定画像で、撮影シー

ン全体の奥行き分布が得られることが重要である。カメラ間隔を大きくすると、図 7 からわかるように、この条件が満たされなくなる。また、撮影物体とカメラアレイの距離が小さくなると、この条件が満たされなくなる。したがって、撮影シーンの幅と物体までの最短距離によって、カメラ間隔を適切に設定する必要がある。また、撮影物体までの距離が大きくなっても、奥行き推定精度は低下するものの、上記条件は満たされる。したがって、物体の奥行き方向への移動に対して、最短距離に関する制限はあるもの

図 14 提案手法により生成した奥行き 180 mm のシーンの指向性画像: (a) 撮影枚数 8 枚, (b) 撮影枚数 16 枚, (c) 撮影枚数 32 枚
Directional images of a scene having 180 mm depth by proposed method using (a) 8 captured images, (b) 16 captured images, and (c) 32 captured images.

表 1 64 枚の指向性画像を生成するのに要した時間
Calculation time required for generating 64 directional images.

Number of captured images	Conventional method [sec]	Proposed method [sec] (depth estimation/interpolation)
8	5.7	16.4(2.2 / 14.2)
16	5.7	17.4(2.3 / 15.2)
32	5.8	17.7(2.3 / 15.3)

の, 本手法は有効であることがわかる. このことは, 図 14 に示した実験結果からも確認できる. また, 撮影に用いるカメラ台数は, 仮想スクリーンの幅 W , 仮想スクリーンまでの距離 z_s , 3 次元ディスプレイの水平視域角 Θ によって決まる撮影幅 L をカメラ間隔 p で割ったものになる.

図 7 から, 実質的に画像補間に用いた画像のデータ量は, 4 枚程度であることがわかる. したがって, 円弧配置したカメラアレイを用いれば, カメラ数は 4 台程度まで減らせる可能性がある. しかし, この場合は, 物体の移動に対応できなくなる. 平行配置したカメラアレイから, 補間に必要な画像データのみを伝送するようにして, カメラアレイから出力されるデータ量の削減を図るほうが有効であると考ええる.

表 1 に 64 枚の指向性画像を生成するのに要した時間をまとめた. これは, 図 10 に示す実験結果の場合である. 計算には CPU が Pentium 4 2.53 GHz でメモリーが 512 MB の PC を用いた. 提案手法は従来法の約 3 倍の計算時間を必要とすることがわかる. このように奥行き推定の導入は, イメージベースレンダリング法の特徴である処理の単純性, 高速性を損ねるものであるが, 専用ハードウェアによる奥行き推定の実時間処理の報告がある⁸⁾. また, 最近では, ベクトル演算ユニットの画像処理装置への実装や SIMD 演算ユニットの CPU への実装が行われており, これらを活用することで実時間処理が可能になると考える.

6. む す び

平行配置したカメラで構成されるカメラアレイを用いて,

指向性画像を高密度に生成する 3 次元カメラ技術において, 物体正面の 3 台のカメラの撮影画像を用いて, 物体の奥行き推定を行うことで, 物体の奥行きや距離によらずにカメラ間隔を一定に保つことを可能にした. カメラ間隔を変える必要がないため, 多数のカメラを平行配置し, 撮影物体の位置に応じて, その正面の数台のカメラを用いて撮影を行うことで, 撮影物体の水平移動に対応できるようになる. 実際に, 奥行き推定を導入することで, 8 枚の撮影画像から 64 枚の指向性画像の生成に成功した. また, 最短距離に制限があるが, カメラアレイに対する物体の奥行き方向への移動に関しても, 本手法が有効であることを示した.

今後は以下の点について, 検討を行う予定でいる. (1) ブロックマッチングにサブピクセル検索を用いた奥行き推定精度の向上, (2) 階層的ブロックマッチングにおける初期探索画像の解像度等の検索パラメータの最適化, (3) 奥行き値が得られない部分に対する周囲の奥行き値で内挿するなどの処理方法の改善, (4) 内挿された指向性画像の定量的, 主観的評価, (5) リアルタイム画像取得を可能にするカメラアレイの構築と処理のハードウェア化.

【文 献】

- 1) 高木: “変形 2 次元配置した多重テレセントリック光学系を用いた 3 次元ディスプレイ”, 映像学誌, **57**, 2, pp.293-300 (Feb. 2003)
- 2) 吉川, 高木: “高密度指向性画像を生成する 3 次元カメラの基礎実験”, 映像学誌, **58**, 1, pp.75-81 (Jan. 2004)
- 3) R. Bolles, H. Baker, and, D. Marimont: “Epipolar-Plane Image Analysis: An Approach to Determining Structure from Motion”, Int. J. of Computer Vision, 1, pp.7-55 (1987)
- 4) T. Naemura, J. Tago and, H. Harashima: “Real-Time Video-Based Modeling and Rendering of 3D scenes”, IEEE Comput. Graphics & Appl., **22**, 2, pp.66-73 (2002)
- 5) 中西, 藤井, 木本, 谷本: “EPI 上の対応点軌跡を用いた適応フィルタによる光線空間データ補間”, 映像学誌, **56**, 8, pp.1321-1327 (Aug. 2002)
- 6) 安居院, 長尾: “C 言語による画像処理入門”, 昭晃堂, pp.125-137 (2000)
- 7) 今泉, 片山, 岩館: “任意視点画像表示を目的とした多眼画像からの奥行き推定”, 信学技報, PRMU2001-79, pp.109-116 (2001)
- 8) 三輪, 新保, 山口: “リアルタイム多眼ステレオシステム”, O plus E, **20**, 11, pp.1259-1264 (Nov. 1998)

よしかわ ひろし
吉川 博志 2003 年，東京農工大学工学部卒業。同年，同大学院工学研究科博士前期課程入学。現在，3 次元映像技術に関する研究に従事。

たかき やすひろ
高木 康博 1992 年，早稲田大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。1991 年，同大学助手。1994 年，日本大学文理学部専任講師。1998 年，同助教授。2000 年，東京農工大学工学部助教授。主として，3 次元映像技術，回折光学素子，デジタルホログラフィ，高精細画像処理，光情報処理に関する研究に従事。博士（工学）。正会員。