距離・色データを用いた 3 次元物体の光線データ取得

竹 内 敬 亮[†], 正会員 苗 村 健[†],
正会員 金 子 正 秀^{†**}, 正会員 原 島 博[†]

Acquisition of Ray Data from Range
and Color Data of 3-D Objects

Keisuke Takeuchi[†], Takeshi Naemura[†], Masahide Kaneko^{††}
and Hiroshi Harashima[†]

Abstract A ray-based method has been proposed as a neutral description method for various kinds of 3-D images. In this paper, we propose a new method for converting a set of range and color data of 3-D objects obtained by a range finder into ray data. This method enables us to handle range data in the same manner as other kinds of 3-D images and to use conventional image processing techniques to improve the quality of reconstructed images. Furthermore, to compensate for the missing of range data caused by some restrictions inherent to a range finder, we examine the ray-based merging method of multiple sets of range and color data of the same object, which are obtained under different conditions. Experimental results show the usefulness of the proposed method to facilitate a range finder as an input device of 3-D information in an integrated 3-D communication system.

1. ま え が き

現在, 3 次元画像の入出力に関しては様々な方式が検討されており, その中のいずれか 1 つが主流になるとは考えにくい. そこで, 3 次元画像情報を個別の入出力方式に依存しない形で記述し, 自由度の高いシステムを実現する, 「3 次元統合画像通信」の概念が提案されている¹⁾. 個別の入出力方式に依存しない 3 次元情報の中間的な記述法としては, 3 次元空間を構成する物体や背景などから発せられる光線を記録する手法が有用である²⁾. これは, 光線の色を通過位置と伝搬

方向の関数と見なし, 位置と方向によって定義されるパラメータ空間に光線の色を記録するものである.

光線に基づく 3 次元情報の記述法は, 従来 CG 主体で進められてきたバーチャルリアリティ (VR) 分野への応用も進められている. VR において, より写実性の高い仮想空間構築のためには, 実空間の取り込みが求められる. しかし, 従来の CG 手法では, 幾何形状モデリングを行う必要があり, これを実写画像から行うことは極めて困難である. これに対し, 光線に基づく 3 次元情報の記述には, 厳密な幾何形状モデルを用いることなく 3 次元空間の再現が可能であるという特

キーワード: 3 次元統合画像通信, 距離画像, 光線データ

1997 年 6 月 3 日受付, 1997 年 8 月 20 日再受付

[†] 東京大学大学院 工学系研究科 (〒113 東京都文京区本郷 7-3-1, TEL 03-3812-2111)

^{**} 現在, KDD 株式会社研究所 (〒356 上福岡市大原 2-1-15, TEL 0492-78-7406)

^{††} School of Engineering, The University of Tokyo (7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan)

^{**} Currently, KDD R&D Laboratories (2-1-15, Ohara, Kamifukuoka-shi, Saitama 356, Japan)

長があるため²⁾、実写画像による仮想空間構築の有力な手段として期待されている。

また、光線記述の特長である、3次元情報に対する個別の入力方式に依存しないという性質を生かし、様々な入力装置からのデータを融合することも可能となる。ただし、そのためには、各種3次元情報を光線データに変換する手法を確立することが必要となる。

3次元物体データの入力手段としては、多眼カメラ撮影、3次元形状計測装置（レンジファインダ）などが考えられる。筆者らのグループはこれまでに、多眼カメラにより撮影した物体の光線記述³⁾、あるいはホログラムデータと光線データとの相互変換⁴⁾に関する研究を進めてきた。さらに、光線記述のVRへの応用として、CGで作成した風景と多眼カメラで撮影した実写オブジェクトとの融合⁵⁾や、別々に多眼カメラで撮影された実写風景と実写オブジェクトとの融合⁶⁾なども行っている。

一方、レンジファインダを用いて得られる距離データについて見ると、もっぱらCGの分野における形状モデル入力や、CV（コンピュータビジョン）の分野における形状認識のためのデータ入力に利用されているのが現状である。しかし、レンジファインダの中には、距離データに加えて物体表面の色も同時に取得できるものもある。この距離・色データを光線データに変換することにより、3次元画像通信システムや仮想空間構築において、距離画像と他の3次元画像とを区別することなく扱うことが可能となる。さらに、光線データは通常の2次元画像と同様に扱うことができるため、様々な画像処理手法の適用による再生像の品質改善を図ることも可能となる。

そこで本論文では、距離と色を同時に計測できるタイプのレンジファインダを、光線記述による3次元物体データの入力に利用することを目的として、距離・色データ（以下、これらを総称して距離画像と呼ぶ）から光線データを取得する手法を検討する。

まず、2章において光線に基づく3次元情報の記述について述べた後、3章で距離画像を光線データに変換する手法について述べる。具体的には、距離画像を、光線の発せられる位置と色を直接記録したものに見なし、球面記録方式に基づいて4次元空間へ記録する。次いで、4章において、レンジファインダの制約によりしばしば生じる距離データの欠損への対策として、物体を様々な位置に置いて取得した距離画像の光線レベルでの統合を考える。その際、距離画像ごとに異なる物体の位置を揃える必要があるため、位置変化を補償した光線データの取得についても検討する。最後に

図1 光線による3次元情報の記述
Description of 3-D information based on rays.

5章の実験において、本手法の有効性を示す。

2. 光線による3次元情報の記述

2.1 4次元空間への光線の記録

従来からのCG手法では、幾何形状モデリングにより3次元空間の構成要素（物体、背景など）を直接記述する。これに対し、我々の眼は光線を観測しているという観点から、3次元空間の構成要素から発せられた光線を記述することを考える。

実空間を伝搬する光線は、通過する位置と伝搬方向、および色を属性として有する（図1）。これらの属性のうち、色を通過位置と伝搬方向の関数と考えると、位置 (X, Y, Z) を通過し、 (θ, ϕ) 方向に伝搬する光線の色は、次式により表すことができる。

$$f(X, Y, Z, \theta, \phi) \quad (1)$$

なお、関数 f の値は、光線の色を一意的に定めることができれば、例えばRGB表色系や光の波長など、どのような表現を用いてもよい。本論文では、RGB各成分の強度を一つの関数 f で表すものとする。

光線に基づく3次元情報記述の立場では、画像情報は1点（ピンホール）を通過する光線の集合と見なすことができる。したがって、カメラ位置 (X_0, Y_0, Z_0) において撮影された画像情報は、次式で表される部分空間に記録すればよい。

$$f(\theta, \phi) \Big|_{X=X_0, Y=Y_0, Z=Z_0} \quad (2)$$

逆に、視点位置 (X_0, Y_0, Z_0) における画像の再構成は、(2)式で表される部分空間の読出しに相当する。

光線が記録される空間は本来5次元空間であるが、これを効率的に記述するため、光線の伝搬に伴う干渉や減衰等の変化が無視できると仮定する。このとき、3次元空間内に仮想的に設定した基準面における光線

データのみで、すべての光線の記述が可能となる。基準面上の位置は2次元で表されるため、光線が記録される空間は、これに伝搬方向を加えた4次元空間となる。

2.2 球面記録方式

光線を4次元空間に記録する手法に関しては、平面記録方式、円筒記録方式、球面記録方式の3通りが検討されている⁷⁾。このうち、平面記録方式ではXY平面に平行な光線が、また円筒記録方式ではY軸に平行な光線が、それぞれ記録できないという制約がある。本論文では、物体の上面を含めた光線データの取得を行うことを考慮し、すべての方向の光線の記述が可能な球面記録方式を用いる。

図2に示すように、 (θ, ϕ) 方向に伝搬する光線に対して、光軸に平行で光線の進行する向きを正の向きとする座標軸をR軸、Y軸を中心にX軸を反時計回りに θ だけ回転した軸をP軸、P軸を中心にY軸を時計回りに ϕ だけ回転した軸をQ軸とする。このとき、光線の色は、Rの値によらず一定となるため、次のように表すことができる。

$$f(P, Q, \theta, \phi) \quad (3)$$

位置ベクトルを $\mathbf{X} = (X, Y, Z)^T$, $\mathbf{P} = (P, Q, R)^T$ とし (ただし T は転置を表す)、行列 $\mathbf{R}(\theta, \phi)$ を

$$\mathbf{R}(\theta, \phi) = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ -\sin \theta \sin \phi & \cos \phi & -\cos \theta \sin \phi \\ \sin \theta \cos \phi & \sin \phi & \cos \theta \cos \phi \end{pmatrix} \quad (4)$$

と定義すると、 $\mathbf{X}$ と $\mathbf{P}$ の間には次の関係が成り立つ。

$$\mathbf{P} = \mathbf{R}(\theta, \phi) \mathbf{X} \quad (5)$$

このようにPQR座標系を設定することにより、PQ

図2 PQR座標の定義
Definition of PQR coordinates.

平面は (θ, ϕ) 方向に伝搬する光線に直交する。PQ平面をすべて集めると球面となるため、この方式は球面記録方式と呼ばれる。

3. 距離画像の光線データへの変換

3.1 レンジファインダと距離画像

本論文では、距離画像を取得する装置として、Cyberware 3030/PS型レンジファインダを使用する。このレンジファインダは円柱型で、物体側面の全周の距離計測が可能である。また、距離データと同時に、被写体の色データも取得することができる。レンジファインダを上から見た模式図を図3に示す。

装置は、レーザ光源とCCDカメラが設置された撮像部、および被写体を設置するステージにより構成される。レーザ光源とカメラの光軸は装置の中心軸を向いており、光源から発した垂直スリット光を物体表面に投影し、その像をCCDカメラに入力することにより、中心軸から物体表面までの距離を計測する。CCDカメラは、物体表面の色も同時に撮影する。

スリット光が照射された部分は、垂直方向に0.8mm間隔で最大512点にサンプリングされ、各点のステージ中心軸からの距離が1 μ m単位で計測される。撮像部が物体の周囲を1周する間に等間隔に512点で順次計測を行うことにより、経度方向に512点、高さ方向に最大512点のサンプル点における距離データが得られる。また、各点の色が、RGB各8bitで記録される。

3.2 光線データへの変換

上述の撮像原理によれば、物体表面の各サンプル点における距離データと色データのセットは、その点から発せられてレンジファインダの撮像素子に至る光線に相当する。しかし、色データの取得が1つの視点位置でしか行われない場合には、各サンプル点から発せられた、ただ1本の光線の情報しか得られないことになる。光線群を密に記録する立場では、このままでは不十分であるため、記録されていない光線を何らかの形で近似する必要がある。

図3 レンジファインダの模式図
Topview of a range finder.

図4 複数の光線が基準面上の同一の点を通過する例 (光線#1と#2は4次元空間内の同一の点に記録される)

Two different ray beams #1 and #2 pass the same point on the PQ plane. These ray beams are thus recorded at the same point in a 4-D parametric space.

ここで、物体表面において、ある点の色がどの視点位置から見た場合でも一定であるという性質（ランパート則）を仮定する。このとき、物体上の各サンプル点から発せられた光線は、すべての方向に、距離画像上に記録されているのと同じ色を有しながら伝搬することになる。この仮定の下で、以下の手順に従って距離画像から光線データへの変換を行う。

- (1) あるサンプル点の位置 (X, Y, Z) を (5) 式に代入し、この点から (θ, ϕ) 方向に伝搬する光線の、基準面上での通過位置 (P, Q) を計算する。
- (2) 4次元空間内の点 (P, Q, θ, ϕ) に、サンプル点の RGB 各成分の値を、光線の色として記録する。
- (3) (1) ~ (2) の操作をすべての (θ, ϕ) について繰り返す。
- (4) (1) ~ (3) の操作をすべてのサンプル点について繰り返す。

ただし、全周型距離画像の場合、例えば図4では、光線#1, #2は、 PQ 平面上の同一の点を通過し、同一方向に伝搬するため、4次元空間内の同一の点に記録される。このような場合には、 R 座標値の大きい光線を選択することにより、記録すべき光線が一意に定まる。

4. 複数の光線データの統合による距離画像上の欠損部分の補間

4.1 距離画像の欠損とその補間

距離画像では、レンジファインダの制約により、部分的にデータが欠落することがある。例えば、本論文で用いる Cyberware 製レンジファインダでは、物体表面でレーザ光の吸収や鏡面反射が発生する場合や、オクルージョンが生じる場合には、物体表面上でスリット像が観測できないため、距離計測が不可能となる。

図5 距離計測が正しく行われない例 (左: 物体が測定可能範囲からはみ出している場合、右: 物体が中心軸より遠くに置かれている場合)

Examples of failure in measurement. (Left: the object is out of measurable area. Right: the object is ahead of the center.)

また、測定可能範囲（装置中心軸から半径 30 cm 以内）の外にある部分や、撮像部から見て中心軸より遠い部分（図5を参照）の距離計測も正しく行われない。

このようなデータの欠損への対策として、物体を設置する位置や向きを変えて取得した複数の距離画像を統合して3次元構造モデルを再構成することにより、欠損部分が補間された物体データを生成するアプローチが考えられている^{8)~10)}。しかし、これらの手法では、複数のモデルを継ぎ合わせることによる違和感をなくし、かつ物体の移動を表すパラメータを、モデルを構成するすべての点に対して矛盾がないように定めなければならないため、複雑な処理を必要とする。

一方、物体を複数の位置から計測した距離画像は、物体から発せられた光線群の異なるサンプルパターンと考えることができる。そのため、ある光線データの欠損部分に、別の光線データを上書きすることにより、欠損部分が補間された光線データが得られる。そこで、構造モデルをベースとした従来の統合処理に代わり、各々の距離画像を前章までに述べた手法で光線データに変換した上で、これらを統合することを考える。

4.2 物体の移動に伴う光線データの変化の補正

データ欠損部分の計測のために、物体の位置や向き、傾きを変えると、それに伴い光線データも変化する。そのため、複数のデータの統合にあたっては、光線データの変化を補正することが必要となる。

ここでは便宜上、 Y 軸を中心として反時計回りに $\Delta\theta$ 、 X 軸を中心として時計回りに $\Delta\phi$ だけ物体を回転させ、さらに $\Delta\mathbf{X} = (\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)^T$ だけ平行移動した場合を考える。この操作により、物体上の点 $\mathbf{X} = (X, Y, Z)^T$ が $\mathbf{X}' = (X', Y', Z')^T$ に移動したとすると、 $\mathbf{X}$ と $\mathbf{X}'$ の間には次の関係が成り立つ。

$$\mathbf{X} = \mathbf{R}(-\Delta\theta, -\Delta\phi)^{-1}(\mathbf{X}' - \Delta\mathbf{X}) \quad (6)$$

ここで、 $R(\theta, \phi)^{-1} = R(\theta, \phi)^T$ であることを利用すると、 P は次式により表される。

$$P = R(\theta, \phi)R(-\Delta\theta, -\Delta\phi)^T(X' - \Delta X) \quad (7)$$

位置・向きを変えた物体の距離計測を行うと、各サンプル点の X' のデータが得られる。そこで、 ΔX および $\Delta\theta, \Delta\phi$ が既知であれば、(5) 式の代わりに (7) 式を用いて P, Q を求め、前章と同様の手順で 4 次元空間に色データを記録していくことにより、物体の移動の影響が補正された光線データを得ることができる。

5. 実 験

5.1 光線データへの変換と画像の再構成

図 6 の原画像から取得した光線データを用いて、物体像の再構成を行う。図 6 で距離データは、レンジファインダの中心からの距離を輝度値と見なし、256 階調グレースケールにより表現してある。

P, Q, θ, ϕ の空間解像度は表 1 のように設定する。この設定では、 P の空間解像度が原画像の解像度を上回るため、光線データに多数の穴が空くことになる。そこで、光線データの 2 次元断面を画像と見なし、穴の空いた部分に対してメディアンフィルタをかけることにより、穴を埋める処理を行う。メディアンフィルタのサイズは $3 \times 3, 5 \times 5, 7 \times 7, 9 \times 9, 11 \times 11$ の

5 種類とし、サイズの小さなフィルタで埋められない穴に対してはサイズを 1 段階大きくして再度フィルタをかけ、穴が完全に埋まるまでこの処理を繰り返す。

図 7 に光線データを用いた物体像の再構成結果を示す。比較のため、従来の CG 手法と同様に、距離データに基づいて得られたポリゴンモデルにテクスチャマッピングを施して再構成した物体像を図 8 に示す。

原画像には、狭い範囲であるが距離データの欠損があり、図 8 の再構成像では、この部分のテクスチャマッピングが正しく行われず、ポリゴンが目立つことになる (図中の円で囲まれた部分を参照)。この問題を回避するためには、距離データの補間、あるいは複数の距離データの統合が必要となる。しかし、距離データの補間の場合、データが欠損している部分のみを補間し、元々穴の空いた構造を持つ部分に対する補間を行わないためには、現状では人手を介した処理が必要である。また、複数の距離データの統合による形状モデルの構成は、4.1 節でも述べたように、複雑な処理を要する。

これに対し、光線データの場合、狭い範囲の欠損であれば、メディアンフィルタを用いることにより、補間することが可能となる。図 7 の円で囲まれた部分は、図 8 と比較して、視覚的により自然な再構成結果となっている。

図 6 原画像 (上: 距離データ, 下: 色データ)
Original data. The upper and lower images represent the range and color data, respectively.

表 1 光線パラメータ P, Q, θ, ϕ の解像度
Resolution of P, Q, θ, ϕ .

P	Q	θ	ϕ
0.26 mm/pixel 384 pixels	0.94 mm/pixel 384 pixels	1°/pixel 60 pixels	2°/pixel 30 pixels

図 7 光線データを用いた再構成結果
Examples of images reconstructed from ray data.

図 8 ポリゴンモデルとテクスチャマッピングによる再構成結果
Reconstructed image by using polygon model and texture mapping.

表2 光線パラメータ P, Q, θ, ϕ の解像度
Resolution of P, Q, θ, ϕ .

P	Q	θ	ϕ
0.39 mm/pixel	1.4 mm/pixel	2.0°/pixel	3.0°/pixel
256 pixels	256 pixels	60 pixels	30 pixels

図9 欠損のある2つの距離画像から得られた光線データ ($P\theta$ 平面における断面)

Ray data sectioned by a $P\theta$ plane. Each data is obtained by a set of range and color data, which includes missing data.

5.2 複数の光線データの統合

まず, P, Q, θ, ϕ の空間解像度を表2のように設定し, 部分的に情報が欠落した2つの距離画像をそれぞれ, (7) 式に基づいて光線データに変換する.

光線データへの変換のためには, $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, \Delta \theta, \Delta \phi$ を求める必要がある. ここでは $\Delta Y = 0, \Delta \phi = 0$ とし, $\Delta X, \Delta Z, \Delta \theta$ については, 距離画像を取得する際に物体を方眼紙上に置き, 物体上に設定した2つの基準点の位置の測定結果から求める. 2つの基準点の位置がそれぞれ $(X_1, Z_1), (X_2, Z_2)$ であるとき, $\Delta X, \Delta Z, \Delta \theta$ は次式により求められる.

$$\Delta X = \frac{X_1 + X_2}{2}, \Delta Z = \frac{Z_1 + Z_2}{2},$$

$$\Delta \theta = \arctan \left(\frac{X_2 - X_1}{Z_2 - Z_1} \right) \quad (8)$$

各々の光線データ (データ1, 2とする) の $P\theta$ 平面における断面を図9に, これらのデータの一つだけを用いて合成した画像を図10にそれぞれ示す. 各々の光線データには, 前節の実験と同様に, メディアンフィルタ処理を施している. 図10を見ると, データ1からの合成結果では後頭部が, またデータ2からの合成結果では胴体下部が, それぞれ部分的に欠損している.

次いで, これらの欠損部分のある2つの光線データを統合する. 4次元空間の各点 (P, Q, θ, ϕ) について, 2つの光線データのいずれか一方にしか色データが記録されていない場合には, その色をそのまま用いる.

図10 単一の光線データから合成した画像 (左: データ1からの合成結果, 右: データ2からの合成結果)

Examples of reconstructed images. The left is obtained by using data 1, and the right is obtained by using data 2.

図11 2つの光線データの統合結果 ($P\theta$ 平面における断面). (a) データ1をデータ2に上書きして得られたデータ, (b) 光線が重複して記録された領域に両者の平均値を記録することによって得られたデータ.

Ray data (sectioned by $P\theta$ plane) integrated by (a) overwriting data 1 on data 2, and (b) using average of two data in overwrapped area.

両方の光線データに重複して記録されている場合には, 比較のため, 次の2通りの手法を適用する.

- (i) 2つのデータのうちの一方だけを用いる. すなわち一方のデータをもう一方に上書きする.
- (ii) 2つのデータの平均値を用いる.

この処理の後, 前節での実験と同様にメディアンフィルタをかけることにより, 統合が完了する.

2つの光線データの統合結果を図11に示す. 図11(a)は(i)の手法に基づき, データ1をデータ2に上書きして得られた光線データ, (b)は, (ii)の手法に基づいて得られた光線データである.

図12(a), (b)はそれぞれ, 図11(a), (b)に示した光線データを用いて画像を合成した結果である. これによると, 2通りの手法のうちのどちらを用いた場合でも, 図10の2つの画像でそれぞれ欠けていた部分がいずれも埋められていることがわかる. 複数の光線データに重複して記録されている部分の色の決定法に

図 12 統合された光線データを用いて合成した画像
(a), (b) はそれぞれ図 11 (a), (b) のデータから合成.)

Examples of images reconstructed from ray data.
Images (a) and (b) are obtained by using ray data
(a) and (b) in Fig. 11, respectively.

についてはまだ検討の余地が残されているが、ここで用いた手法の中では、2つのデータの平均値を用いた方が、撮像条件の違いに起因する色の差が小さくなるため、違和感の少ない画像を得ることができる。

6. む す び

本論文では、レンジファインダを用いた距離計測により得られる3次元物体の距離・色データを、球面記録に基づく光線データに変換する手法を提案した。光線記述を用いることにより、レンジファインダによって入力された物体データを、多眼画像など他の形態の3次元画像と区別することなく、統一的に扱えるようになる。さらに、光線データの2次元断面は画像と見なすことができるため、メディアフィルタ等の画像処理手法により、画質の改善を図ることも可能となる。

また、距離画像でしばしば問題となる、レンジファインダの制約に起因した距離データの欠落に対して、同一物体を複数視点から計測した距離画像の統合による欠損情報の補間を試みた。従来の3次元形状モデルに基づく統合に対し、本論文では各々の距離画像をまず光線データに変換した上で統合するというアプローチをとった。これにより、複数の光線データの上書きや平均といった単純な処理で、視覚的に違和感の少ない統合が可能となることを示した。

今後の課題としては、複数のデータに重複して記録されている光線の色の決定に関するさらなる検討が挙げられる。また、本論文では、各距離画像における物体の位置変化を表すパラメータ $\Delta X, \Delta \theta, \Delta \phi$ を、位置測定により求めた上で統合を行ったが、今後は位置測定を行わずに光線データの変化を補正する手法について考慮する必要がある。

【参 考 文 献】

- 1) 原島 博, 藤井俊彰, 苗村 健: “3次元統合画像通信の構想”, 信学技報, HC92-58 (1993)
- 2) 藤井俊彰: “3次元統合画像符号化の基礎検討”, 東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻博士論文 (1994)
- 3) 苗村 健, 金子正秀, 原島 博: “実空間光線情報に基づくリアルな仮想空間の生成”, 日本バーチャルリアリティ学会第1回大会, pp.35-38 (1996)
- 4) 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, 8-9 (1995)
- 5) 内山晋二, 片山昭宏, 田村秀行, 苗村 健, 金子正秀, 原島 博: “光線空間理論に基づく実写データとCGデータを融合した仮想環境の実現”, 3次元画像コンファレンス'96, 1-3 (1996)
- 6) 苗村 健, 金子正秀, 原島 博: “光線情報に基づく3次元空間記述—物体の記述と空間の記述—”, 画像符号化シンポジウム (PCSJ'96), P.3.14 (1996)
- 7) 苗村 健, 柳澤健之, 金子正秀, 原島 博: “光線情報による3次元実空間の効率的記述へ向けた光線空間射影法”, 信学技報, IE95-119 (1996)
- 8) 河井良浩, 植芝俊夫, 吉見 隆, 大島正毅: “多視点レンジデータからの3次元形状復元”, 信学論 (D-II), J75-D-II, 4, pp.737-748 (1992)
- 9) 樋口和則, M. Hebert, 池内克史: “複数視点レンジデータからの3次元物体モデル構築”, 信学論 (D-II), J79-D-II, 8, pp.1354-1361 (1996)
- 10) R. Pito: “Mesh integration based on co-measurements”, Proc. of IEEE ICIP'96, Vol.II, pp.397-400 (1996)
- 11) 竹内敬亮, 金子正秀, 原島 博: “レンジデータに基づく光線情報の記述と取得”, 画像学第152回研資, 96-02-03 (1996)
- 12) 竹内敬亮, 金子正秀, 原島 博: “複数の距離画像を用いた光線空間における欠損情報の補間”, 信学技報, PRMU96-125 (1996)

たけうち けいすけ
竹内 敬亮 1995年, 東京大学工学部電子情報工学科卒業。1997年, 同大学院修士課程修了。現在, 同大学院博士課程に在学中。光線情報による空間記述, 3次元画像情報処理の研究に従事。

なえむら たけし
苗村 健 1992年, 東京大学工学部電子工学科卒業。1997年, 同大学院博士課程修了。現在, 東京大学工学部助手。3次元画像の構造化と情報圧縮, 光線情報による空間記述, コンピュータビジョン, フラクタル符号化の研究に従事。工学博士。正会員。

かね こ まさひで
金子 正秀 1976年, 東京大学工学部電子工学科卒業。1981年, 同大学院博士課程修了。同年, KDD (株) 入社。研究所に勤務。1994年, 東京大学工学部助教授。1997年, KDD (株) に戻り, 研究所に勤務。現在に至る。画像符号化, 3次元統合画像通信, マルチメディア情報処理, ヒューマンコミュニケーション等の研究に従事。工学博士。正会員。

はらしま ひろし
原島 博 1968年, 東京大学工学部電子工学科卒業。1973年, 同大学院博士課程修了。同年, 東京大学工学部専任講師。1975年, 同助教授。1991年, 同教授。通信理論, 信号処理, マルチメディアと知的通信の融合, 感性コミュニケーションに関連する研究に従事。工学博士。正会員。