光線空間を用いた 3 次元物体の操作

柳 澤 健 之[†], 学生会員 苗 村 健[†],
正会員 金 子 正 秀[†], 正会員 原 島 博[†]

Handling of 3-D Objects using Ray Space

Takeyuki Yanagisawa[†], Takeshi Naemura[†], Masahide Kaneko[†],
and Hiroshi Harashima[†]

Abstract Reconstruction of virtual space has become very important in various applications. Computer graphics methods based on geometric models have been studied for this purpose. To obtain more natural representation, this paper proposes a new method which represents and handles 3-D objects using the concept of "ray space." Ray space is a space that stores the rays reflected by 3-D objects. Handling objects in real space is equivalent to getting a sliced image with an appropriate plane in the ray space.

1. ま え が き

近年、さまざまな画像関連技術の進歩、計算機の処理能力の向上に支えられて、Virtual Reality (VR) 分野における研究がめざましい進展を遂げている。VR空間の構築には、これまで主として幾何モデルをベースとしたCG (Computer Graphics) 技術が用いられてきた。CGにおいては、生成画像のリアリティを高めるための工夫が各種試みられてきているが、現状では、現実的な処理負荷の範囲内で、実写に近い自然な画像を生成できるまでには至っていない。

より現実感のあるVR空間を構築するためには、被写体空間そのものを計算機内に取り込むことが究極的目標となる。被写体空間から計算機への入力として実写画像を利用する方法が考えられるが、この場合被写体を幾何モデルに変換する必要があった¹⁾。しかし、幾何モデルに変換することによって、実写画像により取得したテクスチャ情報、幾何形状が一部損なわれ、

これがCG独特の人工的な感触を生じさせる原因となる。そこで、ありのままの実写画像を利用したVR空間の構築が望まれる。

本論文では、多眼3次元画像を用いて、被写体空間内の3次元物体を「光線空間」を介して操作する手法について述べる。ここで「光線空間」とは、被写体空間内において物体から反射される光線を記述した空間²⁾である。「光線空間」は特定の3次元入力方式には依存しないため、カメラ配置に応じて定義されるエピソード平面画像³⁾とは異なり、3次元画像情報の中立的記述方法⁴⁾として利用することができる。光線空間内からある平面上の点を取り出して表示することによって、任意視点からの被写体空間の3次元物体像を再構成することができる。実写画像を利用して被写体空間を円筒に記録し、任意視点からの被写体空間画像を合成する手法も提案されている⁵⁾が、本論文の手法はより簡潔であり、合成するというよりも「光線空間」から所望の画像を「取り出す」という表現が適切なもの

キーワード 光線空間, 3次元物体, 仮想現実, 多眼3次元画像, 物体操作

1996年2月29日受付, 1996年5月28日再受付

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

[†] Faculty of Engineering, The University of Tokyo (7-3-1 Hongo, Bunkyo ku, Tokyo 113, Japan)

である。剛体としての物体操作を、視点と物体の相対的位置関係の変化と捉えれば、物体に対する操作は、物体を移動回転させる代わりに、それに対応する視点から物体を観測することと等価になる。すなわち光線空間をある平面にしたがって切り出すことによって3次元物体の操作が可能になる。

2. 光線空間と被写体空間の対応

2.1 光線空間

被写体空間は時間軸を考慮することがなければ、 x, y, z の3次元空間で表現される。従来からのCG手法ではこの観点に基づく幾何形状モデリングを行っている。

これに対し、我々の眼は「光線」を観測しているという見方の下に、被写体空間内の物体を直接記述するのではなく、被写体空間内の物体から反射（放射）された光線を記述するという捉え方も考えられる。被写体空間内の光線群を記述した空間が「光線空間」である。

被写体空間内の物体から反射（放射）される光線はさまざまな属性を持っている。すなわち、光線が通過する位置、その位置での光線の向きおよび輝度である。ある被写体空間内の一点を通過する光線の輝度を記録するためには、位置情報として3次元、傾き情報として2次元の合わせて5次元空間が必要である。

光線空間は光線の記述の仕方、例えば被写体空間の座標のとり方、によって変化し、さまざまな形態のものが存在する。本論文では被写体空間内に「基準面 (Reference Plane)」という仮想平面を仮定し、この平面を通過する光線を記述した光線空間を扱うことにする。図1を用いて、被写体空間内の情報を光線群により記述する考え方を説明する。

まず、被写体空間内に適当に基準面を置き、基準面に垂直な軸を z 軸とする。基準面は $z = k$ (constant) という方程式で表される平面になる（以下、 z 軸方向

のことを奥行き方向と表現することもある）。物体から放射された光線がこの基準面を通過する際の位置 (x, y) 、基準面と光線のなす角——緯度 θ 、経度 ϕ ——をパラメータとして輝度 $f(x, y, \theta, \phi)$ が記録される。基準面を導入することによって、本来5次元の光線空間が4次元で表現できることになる。

基準面を導入することは、光線の進行方向を直線と仮定した場合、その直線に沿っては光線の輝度値がほとんど変化しないという性質に着目して、光線空間の冗長性を省いた記述を行うことに相当する。ただし、5次元光線空間から4次元光線空間に次元を落とすことによって、奥行きの異なる位置にある2物体が観測者から見て重なり合っている（オクルージョンが生じている）場合、手前にあるものを取り除いたときの被写体空間像は原則として表現できなくなる。一方、5次元の光線空間を構築するためには2物体の間についてもカメラを移動させながら撮影する必要がある、簡単な撮影とはいえない。このように、オクルージョンへの対処の問題はあるが、5次元から4次元へ次元を落とすことによって、撮影を簡易なものとすると同時に大幅に冗長性を削減した簡潔な光線空間表現を得ることが可能となる。

2.2 垂直方向の視差を有しない光線空間

被写体空間から光線空間への入力としては、3次元物体の中心から一定距離 D だけ離れた水平な直線上でカメラを逐次等間隔に移動して撮影される多眼画像を用いることにする。ヒトの目は水平方向に並んでいるので、垂直方向の視差よりも水平方向の視差の方が立体感を与える要因としては大きい。また、撮影に際しても水平方向の視差像のみの記録であれば、水平な台やレールの上をカメラを移動させながら撮影すればよいので比較的簡便である。このように、多眼画像として垂直方向の視差のないものを用いるので、特別な処理を施さない限り、多眼画像から構成される光線空間も垂直方向の視差を持たないものとなる。これは図1で緯度に相当する ϕ を記録しないことになり、ある1本の光線は $f(x, y, \theta)$ で表現される。4次元から3次元に次元を落とすことによって、さらに簡単な撮影で簡潔な光線空間を構築することが可能となるが、反面、被写体空間内の3次元物体像の再構成に際して、4章で述べるような垂直方向の拡大率が問題になってくる。

以下では、簡単のため基準面が $z = 0$ となるように z 軸の原点を定め、 z 軸の向きについては、 z 軸の正の方向を観測者側と定める。 x 軸、 y 軸の方向については、観測者からみて、水平方向左から右を x 軸の正方向、垂直方向下から上を y 軸の正方向と定める。

図1 光線群による空間情報の記述
Description of real space with ray information.

図2 被写体空間と光線空間の対応
Relation between real space and ray space.

図3 光線空間の獲得
Acquisition of ray space.

このようにすることによって一般性は失われない．また θ の取り方は y 軸の正の方向から眺めて z 軸の正方向から反時計回りに測るものとする．

さて、図2は被写体空間と光線空間の対応を、ある $y = \text{constant}$ となる平面による断面図として示したものである．ここで $u = \tan \theta$ なる関係式を導入する．被写体空間内の点 (X, Z) から放射される光線が $z = 0$ なる基準面を通過する際の x 座標を x 、向きを θ とする．図2の RealSpace の部分を参照すると、簡単な幾何学的関係によって

$$u = -\frac{1}{Z}(x - X) \quad (1)$$

という基本方程式が得られる．この方程式の意味するところは、被写体空間内のある一点からあらゆる向きに発せられる光線群は、光線空間の $y = \text{constant}$ の断面では直線になることである．また直線(1)の傾きは被写体空間内の一点の奥行きを表現している．

一方、被写体空間内のある一点にあらゆる方向から入射する光線群についても同様に基本方程式(1)が成り立つ．これは、被写体空間内の任意の視点 (X', Z') で観測される(透視投影)画像を得るためには、光線空間内の方程式(1) $|_{x=X', z=Z'}$ で表現される平面上の点を読み出して表示すればよいことを示す．多眼画像による光線空間の構築の際には、カメラの位置がこの平面の方程式を、また、カメラの向きおよび画角がその平面の範囲を決定する．このように撮影された画像によって、図3のように光線空間が満たされていくことになる．図3は平面 $y = \text{constant}$ での断面図を

表している．被写体空間(Real Space)のカメラ1~5が撮影する太線部分に対応して光線空間(Ray Space)の直線1~5の太線部分が得られている．

3. 3次元物体の操作

3次元物体を剛体として仮定した場合、被写体空間 (X, Y, Z) の座標系における操作としては、並進運動として3自由度、回転運動として3自由度の計6自由度の操作が考えられる．本論文では、垂直方向の視差を記録していない光線空間を扱うので、操作の種類としては、(a) X 軸方向の平行移動、(b) Y 軸方向の平行移動、(c) Z 軸方向の平行移動、(d) Y 軸まわりの回転、の4種類に限定される．(e) X 軸まわりの回転、(f) Z 軸まわりの回転を扱わないのは、もしこれらの操作を加えると、ほんの僅かな操作であっても光線空間にどこにも記録されていない情報が必要になってくるからである．

同様の理由で、上下への平行移動については光線群をまとめて上下に動かしているにすぎないので、厳密な意味での上下への平行移動ではない．つまり、物体を下(上)の方に動かしていても今まで見えなかったものが現れるということはない．

本論文では、物体に対して平行移動、あるいは回転の操作を加えるということは、物体、観測者、光源の相対的位置関係を変化させることに相当することに着目する．光源として半径無限大の円筒面光源のような「鉛直軸まわりに等方的な光源」を仮定すれば、物体を操作するということは、観測者と物体との相対位

図4 光線空間からの画像再構成
Reconstruction of images from ray space.

置が変化することにほかならない。任意視点 (X', Z') からの画像を得るためには、図4のように、式(1) $|x=x', z=z'|$ で表される平面上の点を読み出してくればよく、相対的に3次元物体を操作することが可能である。

したがって視域、視野により限定されるが、任意の視点からの、任意の視線方向の画像が光線空間から再構成できればよいことになる。具体的には、3次元物体を右に動かしたい時は視点を左に移動させたり、物体を時計回りに角度 $\Delta\Omega$ だけ回転したい時には視点位置を物体を中心として反時計回りに角度 $\Delta\Omega$ だけ回転させた後、視線方向を反時計回りに角度 $\Delta\Omega$ だけ回転させればよい。複数の物体を操作する場合は、被写体空間をいくつかの物体に分割し、それぞれの物体ごとに視点を変えた画像を合成することにより、3次元物体に対するインタラクティブ操作が可能となる。この手法においても、画素値を読み出す（視点を表す）直線とそれと交わる光線群の傾きを知ることができれば、2つの3次元物体が交差する様子などを表現することも可能である。なお、たとえすべての光線の傾きを知らなくても5.3節で検討するように、2つの3次元物体の属する光線空間の原点を基準とする奥行きの比較により、複数物体のおおまかな前後記述が可能である。

4. 垂直方向視差の欠如による問題

(1) 式では、Y軸方向の読み出し方については特に規定していない。このため、撮影時とZ座標が異なる視点から3次元物体を観察する場合に問題が生じる。垂直方向の視差が取り扱われていないため、正確なY軸方向の読み出し方についての情報が得られない。すなわち、(1)式で表される平面上の画素を読み出してくるだけでは、基準面から距離D（撮影時のカメラ位置）だけ離れた点で観測される画像と常と同じ

図5 画素値の読み出し：水平方向
Reading pixels: horizontal.

垂直方向拡大率（つまり1倍）になってしまうため、得られる画像は歪んだものとなる。

ここでは、被写体空間のX軸を多眼画像撮影時にカメラを移動させた直線と平行に、Z軸をその直線と垂直に設定する。また3次元物体が平面 $Z=0$ 、すなわち基準面に乗るようにZ軸の原点を定める。

この時、全体として歪みが目立たない3次元物体の被写体空間像を再構成するためには、垂直方向の拡大率として、平面 $Z=0$ （すなわち基準面）上の図形の縦横比が正しくなるような値を再構成画像に適用すればよい。

5. 光線空間からの3次元物体像再構成

5.1 観測者の視線方向が基準面に垂直な場合

(1) 水平方向の画素値の読み出し・前後左右への平行移動

図5を用いて、基準面と視線方向が垂直である場合の画素値の読み出し方法を検討する。以下、平面 $y=k$ (constant) による断面で考える。光線空間のx軸方向の解像度（x軸方向の範囲）を S_x 、観測する際の仮想的な焦点距離を F 、画素サイズを s 、視点から S_{x0} 個の画素を見込む角度を a とする。 S_{x0} は再構成画像の水平方向の解像度、 a は水平方向の画角である。角度のとり方は視線方向から反時計回りを正にとつてある。再構成画像の左から第 i ($i=0, 1, 2, \dots, S_{x0}-1$) 番目の画素値について、 $u(i) = \tan(\theta(i))$, $U = \tan \frac{a}{2}$ とおくと、図5より以下の関係が成り立つ。

$$2FU = (S_{x0} - 1)s \quad (2)$$

$$\left(i - \frac{S_{x0} - 1}{2}\right)s = -Fu(i) \quad (3)$$

(2), (3) 式から s を消去すると、同時に F も消去され

$$u(i) = -\frac{2U}{S_{x0} - 1} \left(i - \frac{S_{x0} - 1}{2}\right) \quad (4)$$

が得られる。図4に示すように光線空間内の座標をと

ると、(1) 式は

$$x(i) = -u(i)Z + X + \frac{S_x - 1}{2} \quad (5)$$

となり、平行移動させたものになる。(4)、(5) 式から $x(i)$ が求まるので、光線空間から $(x(i), k, u(i))$ の画素値を読み出してあげればよい。

また、 u 軸方向のスケーリングを考慮する必要がある。図 4 には光線空間が u 軸方向に N 枚の画像として蓄えられていることを示してある。 u について等しい間隔 Δu で N 枚の画像が並んでいるとすると

$$u(i) = \left(n(i) - \frac{N-1}{2} \right) \Delta u \quad (6)$$

(4)、(6) 式から

$$n(i) = -\frac{2U}{S_{xo}-1} \left(i - \frac{S_{xo}-1}{2} \right) \frac{1}{\Delta u} + \frac{N-1}{2} \quad (7)$$

(7) 式から第 $n(i)$ 番目の画像の、(4)、(5) 式から第 $x(i)$ 番目の画素値を光線空間から読み出してあげればよい。前後方向の平行移動については Z の増減によって、左右方向の平行移動については X の増減によって操作できる。

これによって基準面と平行な方向、基準面に垂直な方向への平行移動を扱うことができるが、単に平面が平行移動するのとは異なり、少し回り込んだ状態の再生像を得ることができる。

(2) 垂直方向の拡大率と垂直方向の平行移動

任意の視点（前後左右）からの画像の水平方向の画素値は、(4)、(5)、(7) 式に従って読み出せばよい。

しかし、図 4 の Y 軸方向については、扱っている光線空間では垂直方向の視差が欠けているため、単純に読み出してくるだけでは左右方向に広がった画像や狭まった画像が得られてしまう。光線空間における直線の傾き、すなわち被写体空間での奥行き（この方向の座標を Z とする）を利用すれば、視点に近いものを垂直方向に拡大し、遠いものは垂直方向に縮小することによって再構成画像の歪みをとることは理論的には可能である。

しかし、奥行き検出は一般に困難な問題であり、また奥行き情報の利用は演算量の増加にもつながる。ここでは、奥行きを検出するというアプローチをとらずに歪みを目立たなくする方法をとることにする。このような簡易な手法で被写体空間像が再構成できるのも光線空間の 1 つの利点である。

一般の多眼画像の撮影においては対称性を考え、被写体空間の原点を注目している（獲得しようとしてい

図 6 画素値の読み出し：垂直方向
Reading pixels: vertical.

る）3次元物体の内部に取る。これによって、3次元物体の情報、すなわち光線群は u 軸近辺に集まることになる。このように撮影した3次元物体は平面 $Z=0$ によって切断されているので、平面 $Z=0$ （基準面に相当する）上の図形をどこから観測しても合同な図形として観測できるように、垂直方向に拡大すれば全体としての歪みは目立たなくなると考えられる。図 6 を参照して、 $Z=0$ を基準面とし、視点の Z 座標を Z とすると

$$y(j) = \frac{Z}{F} \left(j - \frac{S_{yo}-1}{2} \right) s + \frac{S_y-1}{2} \quad (8)$$

となる。この式と、(2) 式から

$$y(j) = \frac{2ZU}{S_{xo}-1} \left(j - \frac{S_{yo}-1}{2} \right) + \frac{S_y-1}{2} \quad (9)$$

にしたがって垂直方向に拡大することになる。

また、垂直方向の平行移動については移動量を Y とすると、(9) 式の右辺に Y を加えた式に従って、光線空間から $y(j)$ 位置の画素値を読み出してくことで、垂直方向の平行移動および拡大が可能となる。

(9) 式は画面中央に視点を置き、画面に垂直な方向に注視する透視投影図を構成していることに相当する。

5.2 観測者の視線方向が基準面に垂直ではない場合

左右方向の平行移動、前後方向の平行移動、垂直方向の平行移動、そして 4 つめの操作として、鉛直軸回りの回転がある。3次元物体を時計回りに角度 $\Delta\Omega$ だけ回転させるということは、視点を反時計回りに角度 $\Delta\Omega$ だけ回転させることになるが、このとき視線方向も角度 $\Delta\Omega$ だけ反時計回りに回転することを忘れてはならない。したがって、基準面と視線方向が垂直ではなくなり、そのまま画像を利用すると歪んだものになっている。これに対してはキーストン歪みをかける

図7 実験に用いた多眼画像 (一部)
Part of the original multi-view images.

図8 実験結果：犬のぬいぐるみ (前後移動)
Result: dog (back and forth).

図9 実験結果：犬のぬいぐるみ (左右移動)
Result: dog (left and right).

図10 実験結果：犬のぬいぐるみ (上下移動)
Result: dog (up and down).

図11 実験結果：犬のぬいぐるみ (回転)
Result: dog (rotation).

(視点に近い部分を垂直方向に拡大し、遠いものは垂直方向に縮小する) ことによって、補正を行うことができる。

5.3 複数物体の操作

複数の物体を操作する場合は、被写体空間をいくつかの3次元物体に分割し、それぞれの物体ごとに視点を変えた画像を合成することにより、3次元物体のインタラクティブ操作が可能となる。全体で1つの光線空間ではなく、物体ごとに光線空間を持つようにする。それぞれの光線空間を異なる(視点を表す)直線で切り出し、画素値を読み出す。さらに、切り出す直線の傾き(視点の奥行きを表す)に従って、物体のおおよその奥行きが判明する。なぜならば、物体は被写体空間の原点付近に置かれて撮影されていると仮定しているので、視点を表す直線の傾きがそのまま物体の奥行きに依存しているからである。

物体の奥行きに注意して、得られた複数の画像をひとつに重ね合わせることによって合成画像を得ることができる。これら一連の作業によって、等価的に複数の物体を操作していることになる。

6. 実験結果

実験に用いたのは17枚の「犬のぬいぐるみ」の多眼画像とCGで作成した51枚からなる「立方体」の多眼画像である。図7にその例を示す。いずれもカメラの移動とともに常に光軸が被写体に向くように調整しながら撮影(輻輳撮影)したものである。「犬のぬいぐるみ」については多眼画像の領域分割⁶⁾結果とマニユ

アルによる小領域指定で「犬」の部分だけ切り出すと共に、領域分割結果の中央の15枚の多眼画像を用いた。なお、3次元物体の操作には6自由度の操作ができる3次元マウスを用いた。そのうちの4自由度を用いていることになる。図8~図10は3次元物体を5.1節の手法によって、それぞれ観測者から見て奥行き方向、水平方向、垂直方向に平行移動させたものである。さらに図11では5.2節の手法により鉛直軸回りに回転させた様子を示している。水平方向の平行移動では5.1節でも述べたように犬のぬいぐるみの2次元画像の平行移動とは異なり、回りこんだ様子が表示されている。図12はCGで作成した立方体に対して、同様な手法により、奥行き方向に平行移動と鉛直軸回りの回転操作を行った様子を示している。また、図13は5.3節の考え方にに基づき、犬のぬいぐるみとCGによる立方体を操作している様子を示している。簡単な奥行き比較により犬のぬいぐるみと立方体との前後関係を記述している。

このように各々の3次元物体の幾何形状を知らなくても操作が可能であることが判明したが、同時に3次

図 12 実験結果：立方体（前後移動+回転）
Result: cube (back and forth + rotation).

図 13 実験結果：複数物体の操作
Result: handling of two objects.

図 14 2 物体の相貫
Two dogs intersected each other.

元物体を観測者の方へ近付けてきた時に歪みの問題が生じている。この問題に対しては文献 7) で検討を行っている。そこでは、奥行き情報を前処理で抽出しておき、抽出された奥行き情報に従って垂直方向の拡大率を変化させている。単一の 3 次元物体を再構成する場合、処理負担としては、本論文で提案した手法に比べ、フレーム描画時間が約 1.2 倍増加する程度である。その手法の延長としてピクセルごとの奥行きを比較することにより複数の物体が相貫する様子も表現可能である (図 14)。

7. む す び

被写体空間から獲得した 3 次元物体を光線空間を用いて見通し良く操作する手法について検討した。垂直方向の視差のない光線空間において、基準面上の図形の縦横比が保たれるように垂直方向に拡大することによって、比較的歪みの少ない 3 次元物体の再構成画像が得られることを示した。また、複数物体の操作手法についても検討した。本手法では 3 次元物体の幾何形

状を知らなくても操作可能であるという特徴がある。

今後は、本論文で用いた光線の通過する平面によって定義される光線空間以外の光線空間における 3 次元物体の操作手法に対する検討が考えられる。これにより、平面型以外の 3 次元ディスプレイでの 3 次元物体の操作も扱うことが可能となる。さらに、物体の剛体としての仮定を取り除いた操作、光源に対する考慮も検討課題である。

〔参 考 文 献〕

- 1) 岡田勝行, 村山陽司, 本田捷夫: “VR による視差画像からの立体計測”, 3D Image Conference '95, pp.202-207 (Jul. 1995)
- 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 (1995)
- 3) R.C. Bolles, H.H. Baker, and D.H. Marimont, “Epipolar-Plane Image Analysis: An Approach to Determining Structure from Motion”, International Journal of Computer Vision, 1, pp.7-55 (1987)
- 4) 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 (Jan. 1993)
- 5) L. McMillan and G. Bishop: “Plenoptic Modeling: An Image-Based Rendering System,” Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, ACM SIG-GRAPH, Los Angeles, pp.39-47 (1995)
- 6) T. Naemura, M. Kaneko and H. Harashima: “3-D Segmentation of Multi-View Images Based on Disparity Estimation”, Proc. of SPIE Visual Communications and Image Processing '96, pp.1173-1184 (Mar. 1996)
- 7) 柳澤健之, 苗村健, 金子正秀, 原島博: “光線空間を利用した 3 次元物体の自然な表現とその操作手法”, 信学技報, IE95-120, pp.57-64 (Feb. 1996)

やなぎさわ たけゆき
柳澤 健之 1994 年, 東京大学工学部電子工学科卒業。1996 年, 同大学院修士課程修了。現在, 東京通信ネットワーク (株) に勤務。在学中に, 光線情報による空間記述, 人工現実感の研究に従事。

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。1994 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。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。学生会員。

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, 国際電信電話 (株) 入社。研究所に勤務。1994 年, 東京大学工学部助教授。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。