

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-63414

(P2017-63414A)

(43) 公開日 平成29年3月30日 (2017.3.30)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 4 N 5/232 (2006.01)	HO 4 N 5/232 Z	5 C 1 2 2
HO 4 N 5/225 (2006.01)	HO 4 N 5/225 Z	

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L 外国語出願 (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願2016-180175 (P2016-180175)
 (22) 出願日 平成28年9月15日 (2016.9.15)
 (31) 優先権主張番号 15306446.4
 (32) 優先日 平成27年9月17日 (2015.9.17)
 (33) 優先権主張国 欧州特許庁 (EP)

(特許庁注：以下のものは登録商標)

1. FIREWIRE

(71) 出願人 501263810
 トムソン ライセンシング
 Thomson Licensing
 フランス国, 92130 イッシー レ
 ムーリノー, ル ジャンヌ ダルク,
 1-5
 1-5, rue Jeanne d' A
 rc, 92130 ISSY LES
 MOULINEAUX, France
 (74) 代理人 100134094
 弁理士 倉持 誠
 (74) 代理人 100123629
 弁理士 吹田 礼子

最終頁に続く

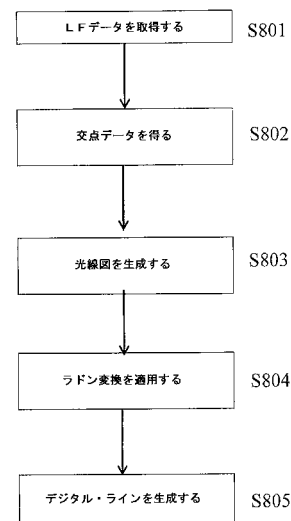
(54) 【発明の名称】 ライト・フィールドを表すデータを生成する方法および装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】ライト・フィールド取得装置において、多次元情報の取得及び伝達をサポートを提供する。

【解決手段】画素ビームを表すライト・フィールド光線と、物体空間における相異なる深度に対応する複数の所与の基準平面との交点を規定する交点データを、光取得システムによって捕捉されたライト・フィールド・データから得ること S 8 0 2 と、4 D 光線図において交点データの図式的な表現を規定する光線図パラメータを得ること S 8 0 3 と、画素ビームを表すデータを提供するために、画素ビームを規定するパラメータに光線図パラメータを関連付けることを含む。

【選択図】 図 8 A



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

光取得システムのセンサの少なくとも 1 つの画素が前記光取得システムの瞳を介して検出できる 1 組の光線によって占められる、前記光取得システムの物体空間におけるボリュームを表すデータを生成する、コンピュータにより実施される方法であって、前記ボリュームは画素ビームと称され、前記方法は、

前記画素ビームを表すライト・フィールド光線と、前記物体空間における相異なる深度に対応する複数の所与の基準平面との交点を規定する交点データを、前記光取得システムによって捕捉されたライト・フィールド・データから得ること (S 803) と、

4 D 光線図において前記交点データの図式的な表現を規定する光線図パラメータを得ること (S 805, S 806) と、

前記画素ビームを表すデータを提供するために、前記光線図パラメータを、前記画素ビームを規定するパラメータに関連付けることと、
を含む、前記方法。

【請求項 2】

前記画素ビームを表すライト・フィールド光線が、前記画素の中心と前記瞳の中心とを通過する直線であり、前記画素ビームを規定するパラメータが、前記物体空間における前記画素の共役の位置およびサイズである、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記ライト・フィールド光線に対応する前記交点データが、前記光線図においてデータ・ラインとして図式的に表され、前記光線図パラメータには、

データ・ラインの傾きと、

データ・ラインと前記光線図の軸との交点と、

のうちの少なくとも一方を表すデータが含まれる、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記データ・ラインは、ラドン変換を適用することによって、2 D 光線図において検出される、請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

前記図式的な表現は、デジタル・データ・ラインを提供するセルのマトリクスとして提供され、各々のデジタル・データ・ラインのフォーマットが、前記ラインと軸との交点を表す少なくとも 1 つの第 1 のセルと、該ラインの傾きを特定し得る少なくとも 1 つの第 2 のセルとの複数のセルによって規定される、請求項 3 又は 4 に記載の方法。

【請求項 6】

各々の前記デジタル・データ・ラインが、プレゼンハムのアルゴリズムの適用によって生成される、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

前記画素ビームを表すデータが、対応する前記ライト・フィールド光線の色を表す色データを更に備えている、請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 8】

前記画素ビームを表すデータが、メタデータとして提供され、前記メタデータのヘッダが、2 D 光線図において前記交点データの図式的な表現を規定する光線図パラメータを備えており、前記メタデータのボディが、光線の色を表すデータと、前記物体空間における前記画素の共役の位置およびサイズを規定するパラメータと、を備えている、請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

光取得システムのセンサの少なくとも 1 つの画素が前記光取得システムの瞳を介して検出できる 1 組の光線によって占められる、前記光取得システムの物体空間におけるボリュームについてのメタデータを提供する装置であって、前記ボリュームは画素ビームと称され、前記装置は、ライト・フィールド・カメラによって捕捉されたライト・フィールド・データを取得するライト・フィールド・データ取得モジュールと、ライト・フィールド・

10

20

30

40

50

データ生成モジュールとを備え、該ライト・フィールド・データ生成モジュールは、

前記画素ビームを表すライト・フィールド光線と、互いに平行でありかつ前記物体空間における相異なる深度に対応する複数の所与の基準平面との交点を規定する交点データを、前記取得されたライト・フィールド・データから得て、

前記取得されたライト・フィールド・データを表すデータを提供するために 2 D 光線図において前記交点データの図式的な表現を規定する光線図パラメータを得て、

前記画素ビームを表すデータを提供するために、前記光線図パラメータを、前記画素ビームを規定するパラメータに関連付ける、
ように構成されている、前記装置。

【請求項 10】

10

規則的な格子構造の状態で配置されたマイクロレンズ・アレイと、

前記マイクロレンズ・アレイから光センサに投影された光を捕捉するように構成された光センサであって、該光センサは複数の画素組を備えており、各々の画素組は、前記マイクロレンズ・アレイのそれぞれのマイクロレンズと光学的に関連付けられている、前記光センサと、

請求項 9 に記載のメタデータを提供する装置と、
を備えた、ライト・フィールド・イメージング装置。

【請求項 11】

請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の方法によって得られたライト・フィールド・データから画像を描画する装置。

20

【請求項 12】

光取得システムのセンサの少なくとも 1 つの画素が前記光取得システムの瞳を介して検出できる 1 組の光線によって占められる、前記光取得システムの物体空間におけるボリュームを表すデータについてのデータ・パッケージであって、前記ボリュームは画素ビームと称され、前記データ・パッケージは、

前記画素ビームを表す光線の交点データの、2 D 光線図における図式的な表現を規定する光線図パラメータであって、前記交点データは、前記画素ビームを表すライト・フィールド光線と、互いに平行でありかつ前記物体空間における相異なる深度に対応する複数の所与の基準平面との交点を規定している、前記光線図パラメータと、

前記画素ビームを表すライト・フィールド光線の色を規定する色データと、

30

前記物体空間における前記画素の共役の位置およびサイズを規定するパラメータと、
を有している、前記データ・パッケージ。

【請求項 13】

プログラム可能な装置用のコンピュータ・プログラム製品であって、該プログラム可能な装置にロードされて実行される際に請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の請求項に記載された方法を実施する一連の命令を備えた前記コンピュータ・プログラム製品。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ライト・フィールド (light field) を表すデータの生成に関する。

40

【背景技術】

【0002】

ECCV2008 の会議の会報において公開された Anat Levin 氏その他による論文である「Understanding camera trade-offs through a Bayesian analysis of light field projections (ライト・フィールド・プロジェクションのベイズ解析によるカメラ・トレードオフの理解)」において、4 D (4 次元) ライト・フィールドのサンプリングとして、すなわち、光線の記録として見ることで見ることのできる 4 D ライト・フィールド・データの取得技術が説明されており、活発な研究課題となっている。

【0003】

カメラから得られる古典的な 2 D (2 次元) 画像と比較して、4 D ライト・フィールド

50

・データは、ユーザが、画像の描画と、ユーザとのインタラクティブ性とを高度化する、より多くの後処理機能を利用することを可能にしている。例えば、4 D ライト・フィールド・データによって、焦点面の位置を事後的に規定、選択できることを意味する、自由に選択された焦点距離による画像の再合焦 (refocusing) と、画像のシーン内での視点の若干の変更とを行うことが可能になる。4 D ライト・フィールド・データを取得するためには、幾つかの技術を用いることができる。例えば、プレノプティック・カメラが、4 D ライト・フィールド・データを取得できる。図 1 A には、プレノプティック・カメラの構造の詳細が示されている。図 1 A は、プレノプティック・カメラ 100 を概略的に表す図である。プレノプティック・カメラ 100 は、メイン・レンズ 101 と、2 次元アレイに配置された複数のマイクロレンズ 103 から成るマイクロレンズ・アレイ 102 と、イメージ・センサ 104 と、を備えている。

10

【0004】

4 D ライト・フィールド・データを取得するもう 1 つの方法は、図 1 B に示されているようなカメラ・アレイを用いることである。図 1 B は、マルチアレイ・カメラ 110 を表している。マルチアレイ・カメラ 110 は、レンズ・アレイ 112 とイメージ・センサ 114 を備えている。

【0005】

図 1 A に示されたプレノプティック・カメラ 100 の例では、メイン・レンズ 101 が、メイン・レンズ 101 のオブジェクト・フィールド (object field) 内のオブジェクト (対象物) (図示せず) から光を受けて、その光を、メイン・レンズ 101 のイメージ・フィールド (image field) を通過させる。

20

【0006】

最後に、4 D ライト・フィールドを取得する更にもう 1 つの方法は、同一シーンの一連の 2 D 画像を種々の焦点面で撮るように構成された従来型カメラを用いることである。例えば、2014 年 10 月に公開された、OPTICS EXPRESS、Vol. 22、No. 21 における J.-H. Park 氏その他による文献である「Light ray field capture using focal plane sweeping and its optical reconstruction using 3D displays (焦点面掃引による光線フィールド撮像、及び、3D ディスプレイによるその光学的復元)」に記載された技術を用いて、従来型カメラによる 4 D ライト・フィールド・データの取得を実現できる。

30

【0007】

4 D ライト・フィールド・データを表す方法は、幾つかある。実際、2006 年 7 月に公開された Ren Ng 氏による「Digital Light Field Photography (デジタル・ライト・フィールド写真技術)」という題目の博士号論文の第 3.3 章においては、4 D ライト・フィールド・データを表す 3 つの相異なる方法が説明されている。第一に、4 D ライト・フィールド・データは、プレノプティック・カメラによって記録する場合、マイクロレンズ画像のコレクション (収集物) によって表せる。その際に表される 4 D ライト・フィールド・データは、生画像 (raw image)、或いは、生 4 D ライト・フィールド・データ (raw 4D light-field data) と呼ばれる。第二に、4 D ライト・フィールド・データは、プレノプティック・カメラ又はカメラ・アレイによって記録する場合、1 組のサブ・アパチャ (sub-aperture) 画像によって表せる。サブ・アパチャ画像は、ある視点から撮られた、あるシーンの画像に相当し、この視点は、2 つのサブ・アパチャ画像間で少し異なる。これらのサブ・アパチャ画像は、撮像されたシーンの視差と奥行きとについての情報を提供する。第三に、4 D ライト・フィールド・データは、1 組のエピポーラ画像 (epipolar image) によって表せるが、これについては、例えば、ISVC 2011 の会議の会報内で公開された S. Wanner 氏その他による「Generating EPI Representation of a 4D Light Fields with a Single Lens Focused Plenoptic Camera (単一レンズ合焦プレノプティック・カメラによる 4 D ライト・フィールドの EPI 表象の生成)」という表題の論文を参照されたい。

40

【0008】

50

ライト・フィールド・データは大量の記憶領域を占めることがあり、これは、記憶（格納）を厄介にし、かつ処理効率を低下させ得る。また、ライト・フィールド取得装置は、極めて異種混交的である。種々のライト・フィールド・カメラは、例えば、ブレノプティック、或いは、カメラ・アレイといった互いに異なるタイプである。更に、各々のタイプ内で、例えば、相異なる光学的構成、或いは、相異なる焦点距離のマイクロレンズのような多くの相違点がある。各々のカメラは、自己の固有のファイル・フォーマットを有している。現在のところ、ライト・フィールドが依存する種々のパラメータの包括的な概要について、多次元情報の取得と伝送とをサポートする規格がない。従って、相異なるカメラについて取得されたライト・フィールド・データは、様々なフォーマットを有している。本発明は、これらのことを念頭において、考案された。

10

【発明の概要】

【0009】

本発明の第1の態様によれば、光取得システムのセンサの少なくとも1つの画素が光取得システムの瞳を介して検出できる1組の光線によって占められる、光取得システムの物体空間におけるポリウムを表すデータを生成する、コンピュータにより実施される方法であって、ポリウムは画素ビームと称され、

画素ビームを表すライト・フィールド光線と、物体空間における相異なる深度に対応する複数の所与の基準平面との交点を規定する交点データを、光取得システムによって捕捉されたライト・フィールド・データから得ること（S803）と、

4D光線図において交点データの図式的な表現を規定する光線図パラメータを得ること（S805, S806）と、

20

画素ビームを表すデータを提供するために、画素ビームを規定するパラメータに光線図パラメータを関連付けることと、
を含む、上記方法が提供される。

【0010】

本発明の一態様によれば、画素ビームを表すライト・フィールド光線は、画素の中心と上記瞳の中心とを通過する直線であり、画素ビームを規定するパラメータは、物体空間における画素の共役の位置およびサイズである。

【0011】

本発明の一態様によれば、ライト・フィールド光線に対応する交点データは、光線図においてデータ・ラインとして図式的に表され、上記光線図パラメータには、

30

データ・ラインの傾きと、

データ・ラインと光線図の軸との交点と、

のうちの少なくとも一方を表すデータが含まれる。

【0012】

本発明の一態様によれば、データ・ラインは、ラドン変換を適用することによって、2D光線図において検出される。

【0013】

本発明の一態様によれば、図式的な表現は、デジタル・データ・ラインを提供するセルのマトリクスとして提供され、各々のデジタル・データ・ラインのフォーマットが、ラインと軸との交点を表す少なくとも1つの第1のセルと、ラインの傾きを特定し得る少なくとも1つの第2のセルとの複数のセルによって規定される。

40

【0014】

本発明の一態様によれば、各々のデジタル・データ・ラインは、プレゼンハムのアルゴリズムの適用によって生成される。

【0015】

本発明の一態様によれば、画素ビームを表すデータは、対応するライト・フィールド光線の色を表す色データを更に備えている。

【0016】

本発明の一態様によれば、画素ビームを表すデータは、メタデータとして提供され、メ

50

タデータのヘッダが、２Ｄ光線図において交点データの図式的な表現を規定する光線図パラメータを備えており、メタデータのボディが、光線の色を表すデータと、物体空間における画素の共役の位置およびサイズを規定するパラメータと、を備えている。

【００１７】

本発明のもう１つの対象は、光取得システムのセンサの少なくとも１つの画素が光取得システムの瞳を介して検出できる１組の光線によって占められる、光取得システムの物体空間におけるボリュームについてのメタデータを提供する装置であって、ボリュームは画素ビームと称され、ライト・フィールド・カメラによって捕捉されたライト・フィールド・データを取得するライト・フィールド・データ取得モジュールと、ライト・フィールド・データ生成モジュールとを備え、ライト・フィールド・データ生成モジュールが、

10

画素ビームを表すライト・フィールド光線と、互いに平行でありかつ物体空間における相異なる深度に対応する複数の所与の基準平面との交点を規定する交点データを、取得されたライト・フィールド・データから得て、

取得されたライト・フィールド・データを表すデータを提供するために２Ｄ光線図において交点データの図式的な表現を規定する光線図パラメータを得て、

画素ビームを表すデータを提供するために、画素ビームを規定するパラメータに光線図パラメータを関連付ける、

ように構成されている、上記装置である。

【００１８】

本発明のもう１つの対象は、

20

規則的な格子構造の状態で配置されたマイクロレンズ・アレイと、

マイクロレンズ・アレイから光センサに投影された光を捕捉するように構成された光センサであって、光センサは複数の画素組を備えており、各々の画素組は、マイクロレンズ・アレイのそれぞれのマイクロレンズと光学的に関連付けられている、上記光センサと、

請求項９に記載のメタデータを提供する装置と、

を備えた、ライト・フィールド・イメージング装置である。

【００１９】

本発明のもう１つの対象は、請求項１から８のいずれか１項に記載の方法によって得られたライト・フィールド・データから画像を描画する装置に関する。

【００２０】

30

本発明のもう１つの態様によれば、光取得システムのセンサの少なくとも１つの画素が光取得システムの瞳を介して検出できる１組の光線によって占められる、光取得システムの物体空間におけるボリュームを表すデータについてのデータ・パッケージであって、ボリュームは画素ビームと称され、データ・パッケージは、画素ビームを表す光線の交点データの、２Ｄ光線図における図式的な表現を規定する光線図パラメータであって、交点データは、画素ビームを表すライト・フィールド光線と、互いに平行でありかつ物体空間における相異なる深度に対応する複数の所与の基準平面との交点を規定している、光線図パラメータと、画素ビームを表すライト・フィールド光線の色を規定する色データと、物体空間における画素の共役の位置およびサイズを規定するパラメータと、を有している、上記データ・パッケージが提供される。

40

【００２１】

本発明の要素によって実施される一部の処理は、コンピュータによって実施されることがある。従って、このような要素は、一般的に、ここで「回路」、「モジュール」又は「システム」と称されることがある完全なハードウェア実施形態、完全なソフトウェア実施形態（ファームウェア、常駐型ソフトウェア、マイクロコードなどを含む）、或いは、ソフトウェアとハードウェアの態様を組み合わせた実施形態の形を取ることがある。更に、このような要素は、表現式を備えた任意の有形媒体において具現されるコンピュータ・プログラム製品の形を取ることがあり、その表現式は、その媒体において具現されるコンピュータ使用可能プログラム・コードを有する。

【００２２】

50

本発明の要素がソフトウェアの状態で実施できるので、本発明は、任意の適当な搬送媒体を介してプログラム可能装置に提供されるコンピュータ可読コードとして、具現できる。有形搬送媒体は、例えばフロッピーディスク、ＣＤＲＯＭ、ハードディスク装置、磁気テープ装置、或いは、ソリッド・ステート・メモリ装置などのような記憶媒体で構成されることがある。一時的な搬送媒体には、電気的信号、電子的信号、光学的信号、音響的信号、磁気的信号、或いは、電磁的信号、例えばマイクロ波又はＲＦ信号、のような信号が含まれることがある。

【図面の簡単な説明】

【００２３】

以下、下記の図面を参照して、本発明の実施形態を、単に例として、説明する。

10

【図１Ａ】プレノプティック・カメラを概略的に表す図である。

【図１Ｂ】マルチアレイ・カメラを表す図である。

【図２Ａ】本発明の一実施形態によるライト・フィールド・カメラの機能的な図である。

【図２Ｂ】本発明の一実施形態によるライト・フィールド・データ・フォーマッタ（formator）とライト・フィールド・データ・プロセッサの機能的な図である。

【図３】光センサ・アレイ上に形成された２Ｄライト・フィールド画像の一例を示す図である。

【図４】カメラ又は光取得システムの光学系の物体空間において１組の光線によって占められるボリュームを表す図である。

【図５】一葉双曲面を表す図である。

20

【図６Ａ】本発明の１つ又は複数の実施形態によるライト・フィールド・データのパラメータ化のための基準平面の使用を図式的に例示する図である。

【図６Ｂ】本発明の１つ又は複数の実施形態によるライト・フィールド・データのパラメータ化のための基準平面の使用を図式的に例示する図である。

【図７】本発明の実施形態による基準平面についてのライト・フィールド光線の表現を概略的に例示する図である。

【図８Ａ】本発明の１つ又は複数の実施形態による方法のステップを例示するフローチャートを示す図である。

【図８Ｂ】本発明の１つ又は複数の実施形態による、光データ・フォーマットを提供する装置のモジュールを例示する機能的なブロック図である。

30

【図９】本発明の実施形態によるライト・フィールド光線の表現のためのパラメータを概略的に例示する図である。

【図１０】本発明の実施形態による、交点データを図式的に例示する２Ｄ光線図である。

【図１１】本発明の実施形態によって生成された１つのデジタル・ラインを図式的に例示する図である。

【図１２】本発明の実施形態によって生成された複数のデジタル・ラインを図式的に例示する図である。

【図１３Ａ】本発明の実施形態によってデジタル・ラインに適用されたラドン変換を図式的に例示する図である。

【図１３Ｂ】本発明の実施形態によってデジタル・ラインに適用されたラドン変換を図式的に例示する図である。

40

【図１３Ｃ】本発明の実施形態によってデジタル・ラインに適用されたラドン変換を図式的に例示する図である。

【図１４】本発明の実施形態による、複数のカメラについての交点データを図式的に例示する２Ｄ光線図である。

【発明を実施するための形態】

【００２４】

当業者であれば理解できるように、本原理の態様は、システム、方法、或いは、コンピュータ可読媒体として実施できる。従って、本原理の態様は、一般的に、ここで「回路」、「モジュール」又は「システム」と称することができる完全なハードウェア実施形態、

50

完全なソフトウェア実施形態（ファームウェア、常駐型ソフトウェア、マイクロコードなどを含む）、或いは、ソフトウェアとハードウェアの態様を組み合わせた実施形態の形を取ることができる。更に、本原理の態様は、コンピュータ可読記憶媒体の形態を取ることができる。１つ又は複数のコンピュータ可読記憶媒体の任意の組み合わせを利用してもよい。

【００２５】

本発明の実施形態は、例えばフォーマット変換、再合焦、視点変更、及び、３Ｄ画像生成のような更なる処理用途のためのライト・フィールド・データのフォーマット化を提供する。

【００２６】

図２Ａは、本発明の一実施形態によるライト・フィールド・カメラ装置のブロック図である。このライト・フィールド・カメラは、図１Ａのライト・フィールド・カメラに合わせて、アパチャ／シャッタ２０２、メイン・レンズ（対物レンズ）２０１、マイクロレンズ・アレイ２１０及び光センサ・アレイ２２０を備えている。一部の実施形態において、ライト・フィールド・カメラには、被写体またはシーンのライト・フィールド画像を撮るために起動されるシャッタ・リリースが含まれている。これらの機能的特徴が図１Ｂのライト・フィールド・カメラにも適用されることは理解されるであろう。

【００２７】

光センサ・アレイ２２０はライト・フィールド画像データを提供し、ＬＦデータ取得モジュール２４０がこのライト・フィールド画像データを取得し、これにより、ライト・フィールド（ＬＦ）データ・フォーマット化モジュール２５０がライト・フィールド・データ・フォーマットを生成し、及び／又は、ライト・フィールド（ＬＦ）データ・プロセッサ２５５がこのライト・フィールド画像データを処理する。ライト・フィールド・データは、取得の後、及び、処理の後にサブ・アパチャ画像として又はサブ・フォーカル・スタック（sub focal stack）として生データ・フォーマットで、或いは、本発明の実施形態による１つのライト・フィールド・データ・フォーマットでメモリ２９０に記憶されてもよい。

【００２８】

図示の例では、ライト・フィールド・データ・フォーマット化モジュール２５０とライト・フィールド・データ・プロセッサ２５５は、ライト・フィールド・カメラ２００内に配置又は組み込まれている。本発明のその他の実施形態において、ライト・フィールド・データ・フォーマット化モジュール２５０及び／又はライト・フィールド・データ・プロセッサ２５５は、このライト・フィールド・キャプチャ・カメラの外部の別個の構成部分内に設けてもよい。この別個の構成部分は、このライト・フィールド・イメージ・キャプチャ装置に対してローカルであっても、或いは、リモートであってもよい。尚、任意の適切な有線又は無線プロトコルを用いてライト・フィールド画像データをフォーマット化モジュール２５０又はライト・フィールド・データ・プロセッサ２５５に送信してもよく、例えば、ライト・フィールド・データ・プロセッサは、取り込まれたライト・フィールド画像データ及び／又はその他のデータを、インターネット、セルラー・データ・ネットワーク、ＷｉＦｉネットワーク、Ｂｌｕｅｔｏｏｔｈ（登録商標）通信プロトコル、及び／又は、その他の任意の適切な手段を介して、伝送してもよいことが理解されるであろう。

【００２９】

ライト・フィールド・データ・フォーマット化モジュール２５０は、本発明の実施形態に従って取得されたライト・フィールドを表すデータを生成するように構成されている。ライト・フィールド・データ・フォーマット化モジュール２５０は、ソフトウェア、ハードウェア、或いは、それらの組み合わせで実施されてもよい。

【００３０】

ライト・フィールド・データ・プロセッサ２５５は、ＬＦデータ取得モジュール２４０から直接受信された生ライト・フィールド画像データを処理して、例えば、本発明の実施形態に従って、フォーカル・スタックを生成する、或いは、ビューのマトリクスを生成す

10

20

30

40

50

るように構成されている。例えば、撮像されたシーンの静止画像、２Ｄビデオ・ストリームなどのような出力データが生成されてもよい。このライト・フィールド・データ・プロセッサは、ソフトウェア、ハードウェア、或いは、それらの組み合わせで実施されてもよい。

【００３１】

少なくとも１つの実施形態において、ライト・フィールド・カメラ２００は、ユーザ・インタフェース２６０も備えていることがあり、このユーザ・インタフェース２６０は、ユーザがコントローラ２７０によりカメラ２００の動作を制御するためのユーザ入力を与えることを可能にする。カメラの制御には、例えばシャッタ速度のようなカメラの光学的パラメータの制御が１つ又は複数含まれることがあり、或いは、調節可能ライト・フィールド・カメラの場合、マイクロレンズ・アレイと光センサとの間の相対的な距離、又は、対物レンズとマイクロレンズ・アレイとの間の相対的な距離の制御が含まれることがある。一部の実施形態では、ライト・フィールド・カメラの光学的素子相互間の相対的な距離は、手動で調節されることがある。また、カメラの制御には、カメラのその他のライト・フィールド・データ取得パラメータ、ライト・フィールド・データ・フォーマット化パラメータ、或いは、ライト・フィールド処理パラメータも含まれることがある。ユーザ・インタフェース２６０は、例えばタッチスクリーン、ボタン、キーボード、及び／又は、ポインティング装置などのような任意の適切なユーザ入力装置で構成されてもよい。このようにして、ユーザ・インタフェースによって受信された入力を用いて、ＬＦデータ・フォーマット化モジュール２５０を制御及び／又は環境設定してデータ・フォーマット化を制御でき、また、ＬＦデータ・プロセッサ２５５を制御及び／又は環境設定して取得済みライト・フィールド・データの処理を制御でき、また、コントローラ２７０を制御及び／又は環境設定してライト・フィールド・カメラ２００を制御できる。

【００３２】

ライト・フィールド・カメラは、例えば１つ又は複数の交換可能な、或いは、再充電可能なバッテリーのような電力供給源２８０を含んでいる。ライト・フィールド・カメラは、取り込まれたライト・フィールド・データ及び／又は描画された最終画像を記憶する、或いは、例えば、本発明の実施形態の方法を実施するためのソフトウェアのようなその他のデータを記憶するためのメモリ２９０を備えている。このメモリには、外部メモリ及び／又は内部メモリが含まれ得る。少なくとも１つの実施形態において、このメモリは、カメラ２００とは別の装置、及び／又は、別の場所に設けることができる。また、一実施形態において、このメモリには、例えばメモリスティックのような取り外し可能／交換可能な記憶装置が含まれる。

【００３３】

また、ライト・フィールド・カメラには、カメラの前に在るシーンを撮像前に見るための、及び／又は、以前に撮像された画像及び／又は描画された画像を見るための表示部２６５（例えば、ＬＣＤスクリーン）も含まれることがある。このスクリーン２６５は、ユーザに対して１つ又は複数のメニュー、或いは、その他の情報を表示するために用いられることもある。更に、ライト・フィールド・カメラには、例えば、FireWire又はユニバーサル・シリアル・バス（USB）のインタフェースのような、或いは、インターネット、セルラー・データ・ネットワーク、WiFiネットワーク、Bluetooth（登録商標）通信プロトコル、及び／又は、その他の任意の適切な手段を介するデータ通信の有線又は無線通信のインタフェースのような１つ又は複数のＩ／Ｏインタフェース２９５が含まれることがある。Ｉ／Ｏインタフェース２９５は、例えばコンピュータ・システム又は表示装置のような外部装置との間で、描画用途のために、例えばＬＦデータ・フォーマット化モジュールが本発明の実施形態に従って生成したライト・フィールドを表すデータのようなデータと、例えば生ライト・フィールド・データ又はＬＦデータ・プロセッサ２５５が処理したデータのようなライト・フィールド・データと、を送受信するために用いられることがある。

【００３４】

10

20

30

40

50

図 2 B は、ライト・フィールド・データ・フォーマット化モジュール 2 5 0 とライト・フィールド・データ・プロセッサ 2 5 5 の実施可能な特定の実施形態を例示するブロック図である。

【 0 0 3 5 】

回路 2 0 0 0 には、メモリ 2 0 9 0 と、メモリ・コントローラ 2 0 4 5 と、1 つ又は複数の処理装置 (C P U) から成る処理回路網 2 0 4 0 と、が含まれている。1 つ又は複数の処理装置 2 0 4 0 は、メモリ 2 0 9 0 に記憶された種々のソフトウェア・プログラム及び / 又は複数組の命令を実行して、ライト・フィールド・データ・フォーマット化とライト・フィールド・データ処理とを含む種々の機能を実施するように構成されている。上記メモリに記憶されたソフトウェア・コンポーネント (ソフトウェア構成要素) には、本発明の実施形態に従って取得済み光データを表すデータを生成するためのデータ・フォーマット化モジュール (1 組の命令) 2 0 5 0 と、本発明の実施形態に従ってライト・フィールド・データを処理するためのライト・フィールド・データ処理モジュール (1 組の命令) 2 0 5 5 と、が含まれている。上記メモリには、ライト・フィールド・カメラ装置のアプリケーションのためにその他のモジュールが含まれていることがあり、例えば、一般的なシステム・タスク (例えば電源管理、メモリ管理) を制御する、及び、装置 2 0 0 0 の種々のハードウェアとソフトウェアの構成要素相互間の通信を容易にするためのオペレーティング・システム・モジュール 2 0 5 1 と、I / O インタフェース・ポートを介するその他の装置との通信を制御及び管理するためのインタフェース・モジュール 2 0 5 2 と、が含まれていることがある。

【 0 0 3 6 】

図 3 には、図 1 A の光センサ・アレイ 1 0 4 又は図 1 B の光センサ・アレイ 1 1 4 上に形成された 2 D 画像の一例が示されている。この 2 D 画像は、生 4 D ライト・フィールド画像と呼ばれることが多いが、マイクロ画像 M I のアレイで構成されており、各々のマイクロ画像は、マイクロレンズ・アレイ 1 0 2 , 1 1 2 のそれぞれのマイクロレンズ (i , j) によって生成されている。マイクロ画像は、軸 i と軸 j によって規定される矩形格子構造のアレイに配置されている。マイクロレンズ画像は、それぞれのマイクロレンズの座標 (i , j) によって参照されることがある。また、光センサ 1 0 4 , 1 1 4 の画素 P I は、その空間座標 (x , y) によって参照されることがある。所与の画素に関連付けられた 4 D ライト・フィールド・データは、(x , y , i , j) として参照されることがある。

【 0 0 3 7 】

4 D ライト・フィールド画像を表す (又は規定する) 方法は、幾つかある。例えば、4 D ライト・フィールド画像は、図 3 を参照して説明したようにマイクロレンズ画像の集合によって表せる。また、4 D ライト・フィールド画像は、プレノプティック・カメラによって記録される場合、1 組のサブ・アパチャ画像によっても表せる。各々のサブ・アパチャ画像は、各々のマイクロレンズ画像から選択された同じ位置の画素から構成される。更に、4 D ライト・フィールド画像は、1 組のエピポーラ画像 (epipolar image) によっても表せるが、これは画素ビームの場合ではない。

【 0 0 3 8 】

本発明の一部の実施形態によれば、ライト・フィールド・データは、画素ビームの概念に基づいて表される。この点で、フォーマット及びライト・フィールド装置における多様性を考慮することがある。実際、光線に基づくフォーマットの 1 つの欠点は、画素のフォーマット及びサイズを表すために、パラメータ化平面 (parametrization plane) をサンプリングする必要がある。それ故、物理的な重要な情報を復元するために、このサンプリングをその他のデータに従って規定する必要がある。

【 0 0 3 9 】

図 4 に示されている画素ビーム 4 0 は、カメラの光学系 4 1 の物体空間 (object space) において 1 組の光線によって占められるボリューム (volume) を表している。この 1 組の光線は、上記光学系 4 1 の瞳 4 4 を介して、カメラのセンサ 4 3 の画素 4 2 によって感

10

20

30

40

50

知される。光線とは反対に、画素ビーム 40 は、自由にサンプリングしてもよく、その理由は、画素ビームが、それ自体、物理的な光線の断面中のエネルギーの保存に相当する「エテンデュ (etendue)」を伝えるためである。

【0040】

光学系の瞳は、アパチャ・ストップ (開口絞り) の前に在る光学系、すなわちカメラのレンズ、を介して見られる該アパチャ・ストップの像として定義される。アパチャ・ストップは、カメラの光学系を通過する光の量を制限する開口である。例えば、カメラ・レンズの前面付近に配置された調節可能ダイアフラム (レンズ絞り) は、そのレンズについてのアパチャ・ストップである。このダイアフラムを通過する光の量は、カメラのユーザが通過させたい光の量に従って適合化され得るダイアフラムの開口の直径によって、制御される。例えば、この開口を小さくすることによって、ダイアフラムを通過する光の量は低減されるが、焦点の深度は増大される。ストップ (絞り) の有効サイズは、レンズの屈折作用のために、そのストップの物理的サイズよりも大きい又は小さいことがある。正式には、瞳は、カメラの光学系の一部を介するアパチャ・ストップの像である。

【0041】

画素ビーム 40 は、入射瞳 44 を介して光学系 41 を伝播して通り抜ける場合に所与の画素 42 に到達する光線束として定義される。光は自由空間において直線上を進むので、このような画素ビーム 40 の形状は、2つの断面、すなわち、一方が画素 42 の共役 45 であり、他方が入射瞳 44 である、2つの断面によって規定できる。画素 42 は、非ヌル (non-null) 表面とその感度マップとによって規定される。

【0042】

従って、画素ビームは、図 5 に示されているように、2つの要素、すなわち、カメラの物体空間における瞳 54 と画素 42 の共役 55 とによってサポートされる一葉双曲面 50 によって表されることがある。

【0043】

一葉双曲面は、光線束の概念をサポートでき、且つ、物理的な光ビームの「エテンデュ」の概念と適合する線織面である。

【0044】

本発明の一実施形態において、画素ビーム 40, 50 は、4つの独立したパラメータ、すなわち、瞳 44, 54 の前方における画素共役 45, 55 の位置とサイズとを規定する z_p, x, y, a によって、規定される。

【0045】

画素ビームを表す一葉双曲面は、次式によって規定されることがある。

【数 1】

$$\frac{(x - z \cdot t_x)^2}{a^2} + \frac{(y - z \cdot t_y)^2}{a^2} - \frac{(z - z_p)^2}{c^2} = 1 \quad (1)$$

ここでは、 $t_x = \tan x$, $t_y = \tan y$ である。

【0046】

画素ビーム 40, 50 のパラメータが規定される座標系 (x, y, z) の原点 O は、図 4 に示されているように、瞳 44 の中心に対応しており、ここで、z 軸は、瞳 44, 54 の表面に対して垂直な方向を規定している。

【0047】

パラメータ x, y は、瞳 44 の中心の入口に対する主光線の方向を規定している。これらは、センサ 43 上の画素 42 の位置と光学系 41 の光学的要素とに依存する。更に正確に述べると、パラメータ x, y は、瞳 44 の中心から画素 42 の共役 45 の方向を規定するずれ角 (shear angle) を表している。

【0048】

パラメータ z_p は、z 軸に沿う、画素ビーム 40, 50 のウエスト (waist) 55、或いは、画素 42 の共役 45、の距離を表している。

【 0 0 4 9 】

パラメータ a は、画素ビーム 4 0 , 5 0 のウエスト 5 5 の半径を表し、 c は、次式によって与えられる。

【 数 2 】

$$c^2 = \frac{a^2 z_p^2}{r^2 - a^2} \quad (2)$$

ここで、 r は、瞳 4 4、5 4 の半径である。

【 0 0 5 0 】

パラメータ z_p 、 a 及び c の値の算定は、所与のカメラの各々の画素ビームについて、そのカメラのキャリブレーション (calibration) (較正) 段階中に、実現される。このキャリブレーション段階は、例えば、カメラの光学系を通り抜ける光線の伝播をモデル化できるプログラムを実行することに本質がある。このようなプログラムは、例えば、Z e m a x (コピーライト)、A S A P (コピーライト)、又は、C o d e V (コピーライト) のような光学的設計プログラムである。光学的設計プログラムは、光学系を設計して分析するために用いられる。光学的設計プログラムは、光学系を通り抜ける光線の伝播をモデル化し、例えば、単体レンズ、非球面レンズ、屈折率分布型レンズ (gradient index lens)、ミラー、回折性光学的要素などのような光学的要素の効果をモデル化できる。

10

【 0 0 5 1 】

従って、画素ビーム 4 0 , 5 0 は、その主光線とパラメータ z_p 、 a 及び c とによって規定されることがある。

20

【 0 0 5 2 】

しかしながら、画素ビーム 4 0 , 5 0 をこのように表したものは、大量の記憶領域を占有することになり、その理由は、光線を記憶するための古典的ファイル・フォーマットの本質が 3 D 空間における位置と方向とを記憶することにあるためである。

【 0 0 5 3 】

必要とする記憶領域がより少ない光線記憶用ファイル・フォーマットを提案するために、ライト・フィールド放射輝度の 4 つの次元をパラメータ化する (parametrizing) 方法が、図 6 A に例示された立方体を基準にすることがある。この立方体の全ての 6 つの表面を用いてライト・フィールドをパラメータ化することがある。方向をパラメータ化するために、この立方体の表面に対して平行な第 2 の一組の平面が追加されることがある。このようにして、ライト・フィールドは、軸方向に沿う垂線を

30

$$\vec{i}, -\vec{i}, \vec{j}, -\vec{j}, \vec{k}, -\vec{k}$$

とする 6 対の平面について規定されることがある。

【 0 0 5 4 】

図 6 B には、パラメータ化用に使用され、互いに平行に配置され、それぞれ、既知の深度 z_1 及び z_2 に位置する 2 つの基準平面 P_1 及び P_2 を通過するライト・フィールド光線が例示されている。このライト・フィールド光線は、深度 z_1 に位置する第 1 の基準平面 P_1 と交点 (x_1, y_1) で交差し、深度 z_2 に位置する第 2 の基準平面 P_2 と交点 (x_2, y_2) で交差している。このようにして、ライト・フィールド光線が、4 つの座標 (x_1, y_1, x_2, y_2) によって識別されることがある。従って、ライト・フィールドは、1 対の、ここでパラメータ化平面とも称される、パラメータ化用基準平面 P_1 、 P_2 によってパラメータ化でき、各々のライト・フィールド光線は、4 D 光線空間において点

40

$$(x_1, y_1, x_2, y_2) \in \mathbb{R}^4$$

50

として表される。

【 0 0 5 5 】

例えば、基準座標系の原点が、座標軸系の基底ベクトル

$$(\vec{i}_1, \vec{j}_1)$$

によって生成される平面 P_1 の中心に置かれることがある。

$$\vec{k}$$

軸は、生成された平面 P_1 に対して垂直であり、第 2 の平面 P_2 は、簡単明解にするために、平面 P_1 から

$$\vec{k}$$

軸に沿った距離 $z =$ に置ける。伝播の 6 つの相異なる方向を考慮に入れるために、全体のライト・フィールドを 6 対のそのような平面によって特徴づけることがある。ライト・スラブ (light slab) と呼ばれることの多い 1 対の平面が、伝播の方向に沿ってライト・フィールド・カメラのセンサ又はセンサ・アレイと相互作用するライト・フィールドを特徴づける。

【 0 0 5 6 】

パラメータ化用基準平面の位置は、

【 数 3 】

$$\vec{x}_0 = d\vec{n}$$

として与えることができ、ここで、

$$\vec{n}$$

は垂線であり、 d は垂線の方に沿っての 3 D 座標系の原点からのオフセットである。

【 0 0 5 7 】

パラメータ化用基準平面のデカルト方程式 (Cartesian equation) は、

【 数 4 】

$$\vec{n}(\vec{x} - \vec{x}_0) = 0$$

として与えることができる。

【 0 0 5 8 】

ライト・フィールド光線が、既知の位置、すなわち、

$$\vec{x}_i(x_i, y_i, z_i)$$

と、正規化された伝播ベクトル、すなわち、

$$\vec{u}(u_1, u_2, u_3)$$

とを有する場合、3 D における光線の一般的な媒介変数方程式は、

【 数 5 】

$$\vec{x} = t\vec{u} + \vec{x}_i$$

として与えられることがある。

【 0 0 5 9 】

ライト・フィールド光線と基準平面との交点

10

20

30

40

$\vec{x_1}$

の座標は、

【数 6】

$$\vec{x_1} = \vec{x_i} + \vec{u} \frac{\vec{n}(\vec{x_0} - \vec{x_i})}{\vec{u}\vec{n}} \quad (A)$$

として与えられる。

【0060】

10

次の条件が満たされない場合、ライト・フィールド光線と基準パラメータ化との交点は無い。

【数 7】

$$(\vec{x_1} - \vec{x_0})\vec{u} > 0$$

【0061】

ライト・フィールドをパラメータ化するために用いられる基準平面のペア（対）が系の軸の1つに対して垂直であるので、光線交点の成分の1つは、各々の平面について常に一定である。従って、ライト・フィールド光線の第1の基準平面との交点

20

 $\vec{x_1}$

と、該ライト・フィールドの第2の基準平面との交点

 $\vec{x_2}$

と、がある場合、4つの座標が変化し、等式Aを用いてライト・フィールド光線の4つのパラメータを算出できる。これらの4つのパラメータを用いて、ライト・フィールドの4D光線図を作ることができる。

【0062】

30

2つのパラメータ化基準平面を基準とするライト・フィールドのパラメータ化の場合、ライト・フィールドを表すデータは、次のように得られることがある。基準系が、図7に描かれているように設定されると、第1のパラメータ化平面P1は、 $z = z_1$ においてz軸に対して垂直であり、第2のパラメータ化平面P2は、 $z = z_2$ においてz軸に対して垂直に配置されており、ライト・フィールド・パラメータが $L(x_1; y_1; x_2; y_2)$ である光線が、ライト・フィールド・カメラの光センサ・アレイが置かれている位置 $z = z_3$ において描画される。等式Aから

【数 8】

$$\vec{x_3} = \vec{x_2} + \vec{u} \frac{\vec{n}(z_3\vec{n} - \vec{x_2})}{\vec{u}\vec{n}}$$

40

$$\vec{x_3} = \vec{x_1} + \vec{u} \frac{\vec{n}(z_3\vec{n} - \vec{x_1})}{\vec{u}\vec{n}}$$

with

$$\vec{u} = \frac{\vec{x_2} - \vec{x_1}}{\|\vec{x_2} - \vec{x_1}\|} = (u_x, u_y, u_z)$$

$$\vec{n}(0, 0, 1)$$

が得られる。

50

【 0 0 6 3 】

上記の式を展開すると、

【 数 9 】

$$x_3 = x_2 + \frac{u_x}{u_z}(z_3 - z_2)$$

$$y_3 = y_2 + \frac{u_y}{u_z}(z_3 - z_2)$$

$$z_3 = z_3$$

10

$$x_3 = x_1 + \frac{u_x}{u_z}(z_3 - z_1)$$

$$y_3 = y_1 + \frac{u_y}{u_z}(z_3 - z_1)$$

$$z_3 = z_3$$

が与えられる。

【 0 0 6 4 】

20

両方の組の等式によって、新たな位置における描画されるライト・フィールド光線と同じ点

 $\overline{x_3}$

が与えられるはずである。

 $\overline{x_1}$

と

 $\overline{x_2}$

30

の関数として、 u_x , u_y , u_z をそれらの対応する式に置き換えて、上に記したブロックの 2 番目の組の等式を用いて、 x_3 と y_3 とを加算すると、

【 数 1 0 】

$$x_1 + \frac{z_3 - z_1}{z_2 - z_1}(x_2 - x_1) + y_1 + \frac{z_3 - z_1}{z_2 - z_1}(y_2 - y_1) = x_3 + y_3$$

が得られる。

【 0 0 6 5 】

これから下記の式が導かれる。

40

【 数 1 1 】

$$(z_2 - z_3)(x_1 + y_1) + (z_3 - z_1)(x_2 + y_2) = (z_2 - z_1)(x_3 + y_3) \quad (B)$$

【 0 0 6 6 】

下付き数字₃を有する座標は、ライト・フィールドが描画される既知の点(x_3 , y_3 , z_3)に関係する。全ての深度座標 z_1 は、既知である。パラメータ化平面は、伝播の、或いは、描画の方向にある。ライト・フィールド・データ・パラメータLは、(x_1 , y_1 , x_2 , y_2)である。

【 0 0 6 7 】

50

点 (x_3, y_3, z_3) において画像を形成するライト・フィールド光線は、
 \mathbb{R}^4

において超平面を規定する式 B によって、リンクされる（関連付けられる）。

【0068】

これは、画像が 2 平面パラメータ化済みライト・フィールドから描画される場合、超平面付近の光線のみを描画すればよく、それらをトレースする要求はない。図 8 A は、本発明の 1 つ又は複数の実施形態に従ってライト・フィールドを表すデータを生成する方法のステップを例示するフローチャートである。図 8 B は、本発明の 1 つ又は複数の実施形態に従ってライト・フィールドを表すデータを生成するシステムの主要モジュールを概略的に例示するブロック図である。

10

【0069】

この方法の準備ステップ S 8 0 1 において、カメラのセンサの画素に関連付けられた相異なる画素ビームを規定するパラメータが、カメラを較正することによって取得されるか、或いは、遠隔サーバに記憶されたデータ・ファイルから、或いは、例えばカメラのメモリ 2 9 0 又はカメラに接続されたフラッシュ・ディスクのようなローカル記憶装置に記憶されたデータ・ファイルから、上記パラメータを取り出すことによって取得される。

【0070】

上記パラメータは、相異なる画素ビームの主光線の座標であり、瞳の前方における画素共役の位置とサイズとを規定するパラメータ z_p 及び a は、カメラのキャリブレーション（較正）期間中に、各々の画素ビームについて、得られる。画素ビームの主光線は、その画素ビームをサポートする画素の中心と瞳の中心とを通過する直線である。もう 1 つの準備ステップ S 8 0 2 において、生ライト・フィールド・データが、ライト・フィールド・カメラ 8 0 1 によって取得される。この生ライト・フィールド・データは、例えば、図 3 を参照して説明したようなマイクロ画像の形態であってもよい。また、このライト・フィールド・カメラは、図 1 A 又は 1 B と 2 A 及び 2 B に示されたようなライト・フィールド・カメラ装置であってもよい。

20

【0071】

ステップ S 8 0 3 において、取得されたライト・フィールド・データが、光線パラメータ・モジュール 8 0 2 によって処理され、これによって、画素ビーム 4 0 , 5 0 の主光線に相当する捕捉されたライト・フィールド光線と、それぞれ深度 z_1, z_2 における 1 対のパラメータ化用基準平面 P_1, P_2 と、の交点を規定する交点データ (x_1, y_1, x_2, y_2) とが提供される。

30

【0072】

カメラのキャリブレーションから、次記のパラメータ、すなわち、投影の中心 (x_3, y_3, z_3) と、カメラの光軸の向きと、カメラのピンホールから光センサの平面までの距離 f と、が特定できる。これらのライト・フィールド・カメラのパラメータが、図 9 に例示されている。光センサの平面は、深度 z_p に配置されている。光センサの画素出力は、ライト・フィールド光線の幾何学的表現に変換される。2 つの基準平面 P_1 と P_2 を備えるライト・スラブが、それぞれ深度 z_1 と z_2 において、 z_3 を越えて、光センサに対するカメラの投影の中心の向こう側において、配置されている。光線に三角形の原理を適用することによって、マイクロレンズのアレイから投影された光を記録する画素座標 (x_p, y_p, z_p) は、次の式の適用により、光線パラメータ、すなわち、基準平面交点 (x_1, y_1, x_2, y_2) にマッピングできる。

40

【数 1 2】

$$x_1 = \frac{z_3 - z_1}{z_3 - z_p} x_p + \frac{z_1 - z_p}{z_3 - z_p} x_3$$

$$y_1 = \frac{z_3 - z_1}{z_3 - z_p} y_p + \frac{z_1 - z_p}{z_3 - z_p} y_3$$

$$x_2 = \frac{z_3 - z_2}{z_3 - z_p} x_p + \frac{z_2 - z_p}{z_3 - z_p} x_3$$

$$y_2 = \frac{z_3 - z_2}{z_3 - z_p} y_p + \frac{z_2 - z_p}{z_3 - z_p} y_3$$

10

【0073】

上記の計算は、相異なるペア（対）のトリプレット（ x_p, y_p, z_p ）（ x_3, y_3, z_3 ）を有する複数のカメラに拡張してもよい。

【0074】

ブレノプティック・カメラの場合、アパチャを有するカメラ・モデルが用いられ、ライト・フィールド光線が、位相空間において、原点（ x_p, y_p, z_p ）と方向（ $x'_3, y'_3, 1$ ）とを有するものとして記述される。深度 z_3 における平面（ x_3, y_3 ）へのその伝播は、行列変換として記述できる。レンズが、A B C D 行列として作用して光線を屈折させ、もう1つの A B C D 伝播行列が、光線をライト・スラブ基準平面 P_1 と P_2 に導く。

20

【0075】

このステップから、ライト・フィールド光線と基準平面 P_1, P_2 との交点を幾何学的に規定する交点データ（ x_1, y_1, x_2, y_2 ）が得られる。

【0076】

ステップ S 8 0 4 において、交点データ（ x_1, y_1, x_2, y_2 ）をグラフィック的に（図式的に）表す 2 D 光線図が、光線図生成モジュール 8 0 3 によって、得られる。

30

【0077】

図 1 0 は、カメラによって位置 $x_3 = 2$ 、深度 $z_3 = 2$ 、アパチャ $|A| < 0.5$ で捕捉されたライト・フィールド光線の交点データ（ x_1, x_2 ）を図式的に表す 2 D 光線図である。パラメータ化に用いられる光線図のデータ・ラインが、 256×256 個の画素の画像を提供する 256 個のセルによって、サンプリングされる。

【0078】

図 1 0 に例示された光線図をマトリクス（行列）として解釈すると、その密度が疎らであると分かる。光線を 4 D 位相空間行列の代わりにファイルに個々に保管しようとするならば、各々の光線について、各々の位置 x_1 又は x_3 についての少なくとも 2 バイト（ $\text{int } 16$ ）と色についての 3 バイトとの合計、すなわち、2 D スライス・ライト・フィールドについて光線毎に 7 バイト、そして、そのフル（full）の 4 D 表現について光線毎に 11 バイトを保管する必要がある。たとえそうであっても、光線は、表現を巧みに操作する必要があるアプリケーションにとって不適当であるかもしれないファイルにランダムに記憶されることになる。本発明の発明者は、どのようにして、光線図マトリクスから代表的なデータのみを抽出して、そのデータを構造化された方法でファイルに記憶すべきかを突き止めた。

40

【0079】

2 D スライス・ライト・フィールド光線が 2 D 光線図のデータ・ラインに沿ってマッピングされるので、ライン値自身ではなく、データ・ラインを規定するパラメータを記憶す

50

る方がより効率的である。例えば傾きを規定するパラメータ s と軸交点（切片） d のようなデータ・ラインを規定するパラメータが、そのデータ・ラインに属する 1 組のライト・フィールド光線と共に、記憶されることがある。

【0080】

これによって、例えば、傾きパラメータ s について僅か 2 バイト、傾きパラメータ d について 2 バイト、従って、光線毎に 3 バイトのみを必要とすることができる。更に、光線は、ファイル内でラインに沿って配列されることがある。マトリクス・セルを通じてラインを設定するために、最小の誤差で光線ラインに近似する、所謂、デジタル・ラインが生成される。

【0081】

ステップ S 805 でデータ・ラインの位置を特定し、且つ、傾きパラメータ s と切片パラメータ d とを得るために、ステップ S 804 で生成された光線図についてラドン変換 (Radon transform) がライン検出モジュール 804 によって行われる。

【0082】

ステップ S 806 において、代表的なデジタル・ラインが、得られた傾きパラメータ s と切片パラメータ d から、デジタル・ライン生成モジュール 805 によって、生成される。このステップにおいて、デジタル・ラインは、例えばブレゼンハムのアルゴリズム (Bresenham's algorithm) を適用して、分析ラインをその最も近くの格子点に近づけることによって、生成される。実際に、ブレゼンハムのアルゴリズムは、最小限の演算で、デジタル・ラインを提供する方法を提供する。ブレゼンハムのアプリケーション（適用）の一例は、次の参考資料、すなわち、<http://www.cs.helsinki.fi/group/goa/mallinnus/lines/bresenh.html> から適合化されたものである。

【0083】

デジタル・フォーマットは、格子 $(0, d)$ と $(N-1, s)$ の 2 点によってデータ・ラインを規定し、ここで、 d は、 $x_1 = 0$ である時の x_2 の値に対応する交点（切片）であり、 s は、 $x_1 = N-1$ である時の x_2 の値に対応する傾きパラメータである。この生成されたデジタル・フォーマットから、各々の個別のラインの傾き a は、 d と s との関数として、

【数 13】

$$a = \frac{s - d}{N - 1}$$

と表されることがあり、ここで、

$s \in \{0, 1, \dots, N-1\}$ 、 $d \in \{0, 1, \dots, N-1\}$

である。

【0084】

図 11 には、ブレゼンハムのアルゴリズムの適用によって生成されたデジタル・ラインの一例が例示されている。

【0085】

図 12 には、同一の傾き a （又は、 $s - d$ ）及び相異なる切片 d を有し、互いに隣接する一群のデジタル・ライン（データ・ライン）が例示されている。この一群のデータ・ラインは、ここでは「ラインのバンドル（束）(bundle of lines)」と呼ぶが、理想的に精密ではないカメラから得られるビームに相当する。各々のラインは、相異なる画素を取り扱う。換言すれば、1 つの画素は、同一の傾き及び相異なる切片を有する 1 つのバンドルのうちの 1 つの固有のラインのみに属する。軸交点（切片） d の上側及び下側の境界は、それぞれ、 d_{max} 及び d_{min} として与えられる。

【0086】

サンプリングされた（2Dにおける）1 対のラインによってパラメータ化され、且つ、1 つのカメラに属する光線データは、そのデータを表すための位相空間において、デジタ

10

20

30

40

50

ル・ラインの1つのファミリー（ビーム）に属する。ビームのヘッダは、単に、傾き a と、軸交点（切片）の上側及び下側の境界 d_{max} 及び d_{min} によって規定されるビームの厚さと、で構成できる。光線の値は、ヘッダが d 及び s であり得るデジタル・ラインに沿った RGB 色として、記憶される。サンプリングされた空間における光線図の空のセルは、記憶される必要はない。光線の座標 x_1 、 x_2 は、パラメータ d 及び s と、デジタル・ラインに沿ったセルの位置と、から推定できる。

【0087】

ライト・フィールドから、或いは、カメラのジオメトリ（幾何学的な位置関係）から推定されるパラメータは、傾き a 、デジタル・ライン交点（切片）の下側及び上側の境界（ d_{min} 、 d_{max} ）、及び、デジタル・ライン・パラメータ（ d_i 、 s_i ）である。離散ラドン変換（discrete Radon transform）は、光線図においてライト・フィールドのサポート位置を測定する手段として、既に述べている。

【0088】

図13Bには、図13Aのデータ・ラインのデジタル・ライン・パラメータ空間（ d 、 s ）における離散ラドン変換（Discrete Radon Transform）が示されている。図13Cは、図13Bに含まれている対象領域のズーム（zoom）である。デジタル・ラインのビームの位置は、最大値パラメータの検索によって特定される。画像内容に因り、DRTの幾何学的な対称の中心と最大値の実際の位置との間にある程度のオフセットがあり得るので、後で、最大値の代わりに、1つのアルゴリズムを用いて対称の中心を正確に特定する。次に、図13Cに示されているようなビーム変換のウエストは容易に見つかり、値（ d_{min} 、 d_{max} ）が得られる。点（ $d_{min} = 74$ 、 $s = 201$ ）が、図13Aから得られるデジタル・ラインのビームの下側エンベロープ（envelope）であり、点（ $d_{max} = 81$ 、 $s = 208$ ）が、そのデジタル・ラインのビームの上側エンベロープである。

【0089】

等式Bから2つの直交する2Dスライス空間の等式は、

【数14】

$$(z_2 - z_3)(x_1 + y_1) + (z_3 - z_1)(x_2 + y_2) = (z_2 - z_1)(x_3 + y_3) \quad (C)$$

として与えられる。

【0090】

x_i 座標についての2Dスライスを求める場合、（ x_3 、 y_3 、 z_3 ）におけるサイズAのアパチャを介する光線データが位置するラインのビームの等式は、

【数15】

$$x_2 = \frac{(z_3 - z_2)}{(z_3 - z_1)} x_1 + \frac{(z_2 - z_1)}{(z_3 - z_1)} (x_3 \pm A) = mx_1 + (d_{max_x} - d_{min_x}) \quad (D)$$

として与えられる。

【0091】

同様に、2Dスライスを y_i 座標について求める場合は、

【数16】

$$y_2 = \frac{(z_3 - z_2)}{(z_3 - z_1)} y_1 + \frac{(z_2 - z_1)}{(z_3 - z_1)} (y_3 \pm A) = my_1 + (d_{max_y} - d_{min_y}) \quad (E)$$

となる。

【0092】

前述のように、 m 及び

10

20

30

40

d_{max_x}

,

 d_{min_x}

,

 d_{max_y}

,

 d_{min_y}

10

の値を離散領域において求めて、前述のフォーマットによって規定されるようなライト・フィールドの特徴をローカライズすることがあり、4 D 離散ラドン変換を行なう要求はない。2つの直交する2 D DRTを得る場合、超平面の傾き m と、全てのデータが4 D 光線図において集中するデジタル超平面のビーム幅と、についての測定を行うことができる。

【0093】

このより簡単な位置特定方法は、

 d_{max_x}

20

,

 d_{min_x}

,

 d_{max_y}

,

 d_{min_y}

30

が全ての超平面交点を包含するように、且つ、このフォーマットで書かれた一部の値には値が含まれないように、円形入射瞳 A を前提としている。

【0094】

2 D のケースについて提案したものに類似する4 D のケースについてのフォーマットを得ることは興味深いであろう。そうする場合、

 $\Pi(x_1, x_2)$

平面上に在る2 D ラインを、

 $\Pi(y_1, y_2)$

40

平面上に在るラインに、すなわち、対応する超平面と

 $\Pi(x_1, x_2)$

及び

 $\Pi(y_1, y_2)$

の2つの直交するスライスとの交差の結果であるラインに、関連付けることは興味深いであろう。式DとEから、対応するラインが同じ傾き m を有することが分かる。これは、カメラについて、ある深度において、

50

$\Pi(x_1, x_2)$

内の各々のラインを

$\Pi(y_1, y_2)$

内のラインに関連付ける第 1 のパラメータである。複数のカメラが同じ深度にある場合（すなわち、図 13A のケース）、

$\Pi(x_1, x_2)$

内に 3 つのラインと

$\Pi(y_1, y_2)$

内に 3 つのラインが、同じ推定された傾き m で、存在する。そのとき、これらの 2 つの平面内のライン相互間のライン・オフセットの対応関係が特定される。これを行うために、式 D と E におけるラインの式を利用する。詳しくは、

【数 17】

$$k = \frac{z_2 - z_1}{z_3 - z_1}$$

として、オフセットは、

【数 18】

$$\begin{cases} kx_3 + kA = d_{max_x} \\ kx_3 - kA = d_{min_x} \end{cases} \quad (F)$$

及び

【数 19】

$$\begin{cases} ky_3 + kA = d_{max_y} \\ ky_3 - kA = d_{min_y} \end{cases} \quad (G)$$

となる。

【0095】

これらの組の方程式は、 k 、 x_3 及び y_3 について解ける。尚、 (x_3, y_3, z_3) は、カメラの座標、換言すれば、対応する光のバンドル（光束）が半径 A の円にフォーカス（focus）されるボクセル（voxel）の座標に相当する。 z_3 に位置する平面上のアパチャが円形であると仮定しているので、

【数 20】

$$d_{max_x} - d_{min_x} = d_{max_y} - d_{min_y} = 2kA$$

となり、上記の組の方程式を解くことによって、

【数 21】

$$k = \frac{d_{max_x} - d_{min_x}}{2A} \quad (G)$$

【数 22】

$$x_3 = A \frac{d_{max_x} + d_{min_x}}{d_{max_x} - d_{min_x}} \quad (H)$$

10

20

30

40

【数 2 3】

$$y_3 = A \frac{d_{maxy} + d_{miny}}{d_{maxy} - d_{miny}} \quad (I)$$

【数 2 4】

$$z_3 = \frac{z_2 + (k-1)z_1}{k} \quad (J)$$

が得られる。

10

【0 0 9 6】

デジタル・ラインは、プレゼンハムのデジタル・ラインを用いて、

 $\Pi(x_1, x_2)$

上で、従来通りにスキャンしてもよい。各々の個別の (x_1, x_2) の値について、ライト・フィールドで捕捉された対応する (y_1, y_2) の値が記憶される。これらのような値を求めるために、式Cが利用される。 x_3, y_3, z_3, z_1 及び z_2 の全ては、既知であるか、或いは、式FとGから推定される。

【0 0 9 7】

 $\Pi(x_1, x_2)$

20

内の各々のラインに関して、各々の

 (x_1^q, x_2^q)

について、 (y_1, y_2) における下記の関係が得られる。

【数 2 5】

$$y_2 = \frac{z_3 - z_2}{z_3 - z_1} y_1 + \frac{z_3 - z_2}{z_3 - z_1} x_1^q + \frac{z_2 - z_1}{z_3 - z_1} (x_3 + y_3) - x_2^q$$

又は、

30

【数 2 6】

$$y_2 = my_1 + mx_1^q + k(x_3 + y_3^*) - x_2^q = my_1 + d_{off}(x_1^q, x_2^q, x_3, y_3^*)$$

【0 0 9 8】

 $\Pi(x_1, x_2)$

内の各々の点について、

 $\Pi(y_1, y_2)$

内のラインのコレクションが保管される。 d_{off} は、

40

 (x_1^q, x_2^q)

についてスキャンされ保管されるラインのオフセットに相当する。尚、

【数 2 7】

$$d_{off}(x_1^q, x_2^q) = mx_1^q + k(x_3 + y_3^*) - x_2^q$$

である。

【0 0 9 9】

図12を参照すると、各々の正方形は、

$(\mathbf{x}_1^q, \mathbf{x}_2^q)$

の点であり、これらの点の各々について、下記の式

【数 2 8】

$$y_2 = my_1 + d_{off}(\mathbf{x}_1^q, \mathbf{x}_2^q, x_3, y_3^*) \quad (K)$$

によって規定され、且つ、4 D 空間において図示のデータ・ラインに対して垂直なデジタル・バンドルに沿って図面の平面から出るようにして進む 1 組のプレゼンハムのデジタル・ラインが存在する。

【0 1 0 0】

表 1 には、カメラ毎のデータ・ラインのバンドルについての代表的なデータ・フォーマットが例示されている。

【表 1】

タグ			データ			
ライト・スラブの向き 1			(-x,+x,-y,+y,-z,+z)からの1タグw			
パラメータ化平面オフセット w_2-w_1 (w_3 は w_1 と相関関係がある) (フロート(float))			Δe			
u_1 のセル数の幅 (整数)	最小 u_1 値 (フロート)	最大 u_1 値 (フロート)	N	u_{1min}	u_{1Max}	
u_2 のセル数の幅 (整数)	最小 u_2 値 (フロート)	最大 u_2 値 (フロート)	M	u_{2min}	u_{2Max}	
v_1 のセル数の幅 (整数)	最小 v_1 値 (フロート)	最大 v_1 値 (フロート)	P	v_{1min}	v_{1Max}	
v_2 のセル数の幅 (整数)	最小 v_2 値 (フロート)	最大 v_2 値 (フロート)	Q	v_{2min}	v_{2Max}	
カメラ数 (整数)			n			
cam ₁ についてのアパチャ・サイズ			A_1			
cam ₁ のフォーカス (3 フロート)			$u3_1$	$v3_1$	$w3_1$	
cam ₁ の (u_1, u_2) における 最も低い交点 (切片)	cam ₁ の傾き	cam ₁ の u_1, u_2 にお けるデジタル・ラ イン数	d_1	m_1	l^x_1	
		cam ₁ の v_1, v_2 にお けるデジタル・ラ イン数			l^y_1	
データ・ライン ($end_1=l^x_1*N*l^y_1*P$) * (3 bytes + 2floats)			(RGB $Z_p a$) ₀	(RGB $Z_p a$) ₁	...	(RGB $Z_p a$) _n
...				
...		
Cam _n についてのアパチャ・サイズ			A_n			
Cam _n のフォーカス (3 フロート)			$u3_n$	$v3_n$	$w3_n$	
Cam _n の (u_1, u_2) にお ける最も低い交点	Cam _n の傾き	Cam _n の u_1, u_2 にお けるデジタル・ラ イン数	d_n	m_n	l^x_n	
		Cam _n の v_1, v_2 にお けるデジタル・ラ イン数			l^y_n	
データ・ライン ($end_n=l^x_n*N*l^y_n*P$) * (3 bytes + 3floats)			(RGB $Z_p a$) ₀	(RGB $Z_p a$) ₁	...	(RGB $Z_p a$) _n

【 0 1 0 1 】

先ず、4つの軸 x_1, x_2, y_1, y_2 の境界とそれらの対応するサンプリングとを含む、4D空間の一般的なメタデータが規定される。カメラ(バンドル)の数も規定される。各々のカメラ j について、下記のパラメータが保管される。

10

20

30

40

50

- ・ アパチャのサイズ A_j (これは画素ビームの瞳の直径に相当する)
- ・ カメラ cam_j のフォーカス点 (合焦点)、すなわち、 $focusPoint = (u_3, u_3, w_3)$
 - ・ (x_1, x_2) における最も低い交点 (切片) $d = d_j$
 - ・ (x_1, x_2) におけるデジタル・ライン数 =

$$l_j^x$$

- ・ (y_1, y_2) におけるデジタル・ライン数 =

$$l_j^{xy}$$

【 0 1 0 2 】

各々のカメラにおいて、各々の

$$(x_1^q, x_2^q)$$

について、スキャンが、式 K に関してプレゼンハムのデジタル・ラインを用いて (y_1, y_2) 上で開始されて、各々のライト・フィールド光線の RGB 値が保管される。詳しくは、

$$y_3^* - A$$

から

$$y_3^* + A$$

、及び、対応する d_{off} が、式 K に従って計算される。

【 0 1 0 3 】

ライト・フィールド光線が画素ビームの主光線に相当するので、所与の画素ビームのパラメータ z_p 、 a の値は、表 1 に示されているように、対応するライト・フィールド光線の RGB 値と並んで記憶される。

【 0 1 0 4 】

復号ステップにおいて、同じ計算が、記憶済みメタデータを用いて行われる。特に、 k が、等式 G を用いて求められる。従って、フォーマットは、コンパクトなままである。系 (system) において、各々の光線について、4 つのインデックス (指標) を記憶する必要はない。尚、前述の超平面のサンプリングは、4 D 光線空間のサンプリングであり、従って、1 つの x_1 、 y_1 、 x_2 、 y_2 の位置は、逃されない。これは、全てのデータを非常にコンパクトな形態で保管するための 4 D 光線空間のシステムティックなスキャンの一例に過ぎない。当然、その他のプロセス (処理工程) を適用してもよい。パラメータ形態は、インタリーブされた空間の探究を可能にするので、超平面を探究するのに適合していると考えられる。

【 0 1 0 5 】

幾つかの超平面のバンドル (複数のカメラのためにラドン変換における幾つかの最大値) を含むデータに取り組む複数のカメラの場合、更に複雑なアルゴリズムが用いられることがある。前処理ステップとして、パラメータ (m, k) が、

$$\Pi(x_1, x_2)$$

のラドン変換において、全てのピークについて、求められて、1 つの組に入れられる。同じことが (y_1, y_2) におけるピークについて行われて、パラメータが別の 1 つの組に入れられる。貪欲なアルゴリズムの各々の繰返しにおいて、最大ピーク強度が、 (x_1, x_2) の 2 D ラドン変換において求められて、 (y_1, y_2) における対応するピークが、前に求められたパラメータ (m, k) と一致させることによって、求められる。データが前述の如く保管された後に、これらのピークがラドン変換から取り除かれて、ライト・フィールドに重要なものが残らなくなるまで、次の繰返しが開始される。

【 0 1 0 6 】

10

20

30

40

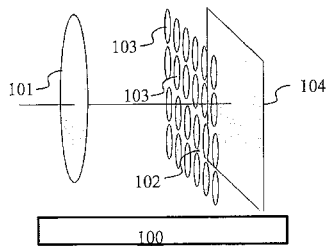
50

以上、具体的な実施形態を参照して本発明を説明したが、本発明は、これらの具体的な実施形態には限定されず、本発明の有効範囲内に在る修正は、当業者に明らかであろう。

【 0 1 0 7 】

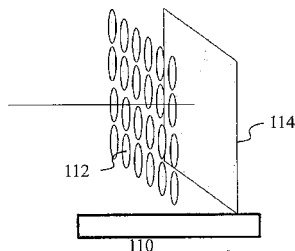
上述の実施例を参照すれば、多数の更なる修正と変形が当業者の心にひとりでに浮かぶであろうし、また、これらの実施例は、単に例として記載されており、本発明の有効範囲を制限する意図はなく、本発明の有効範囲は、後述の特許請求の範囲のみによって決定される。特に、相異なる実施形態から得られる相異なる特徴は、適切な場合、入れ替えてもよい。

【 図 1 A 】



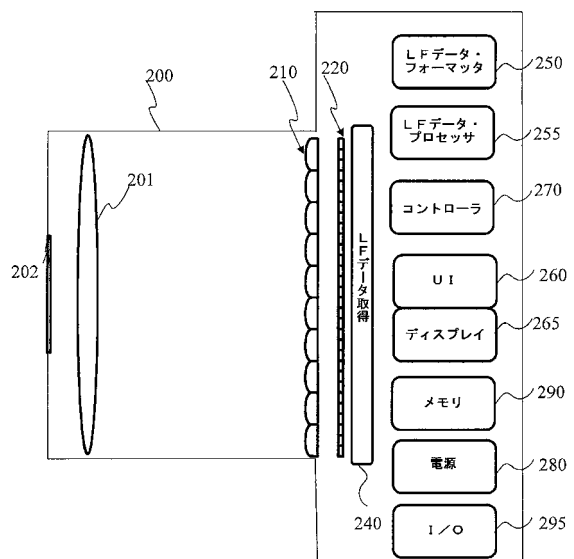
(従来技術)

【 図 1 B 】

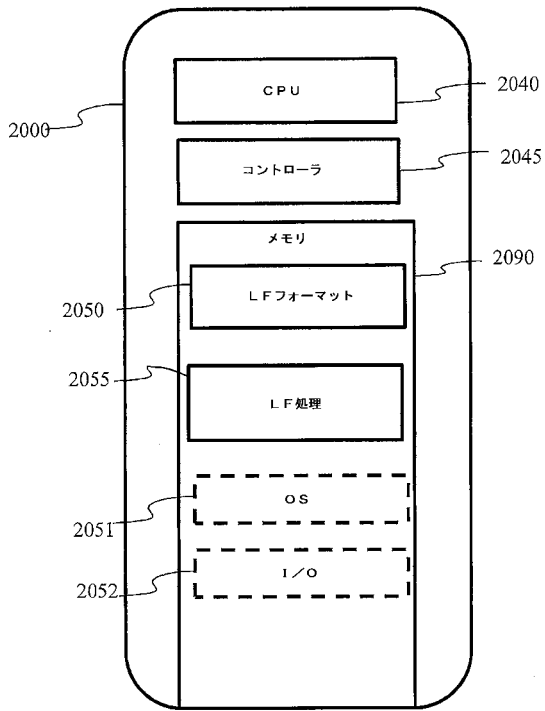


(従来技術)

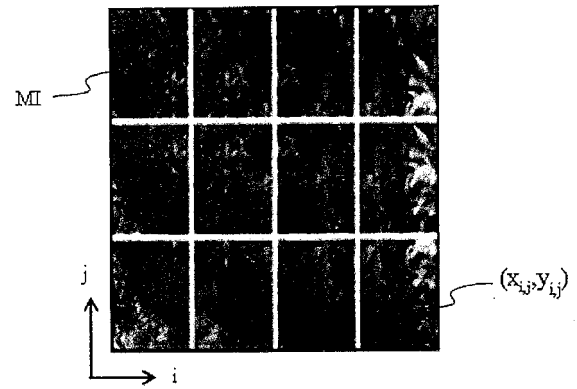
【 図 2 A 】



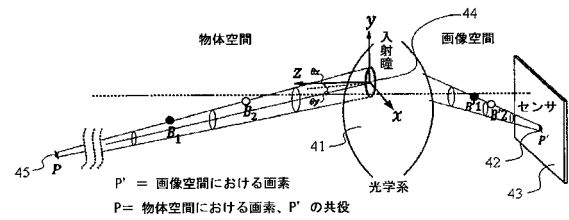
【図 2 B】



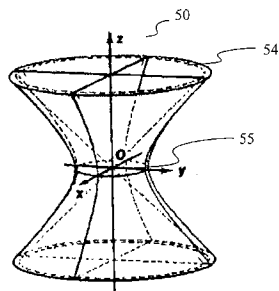
【図 3】



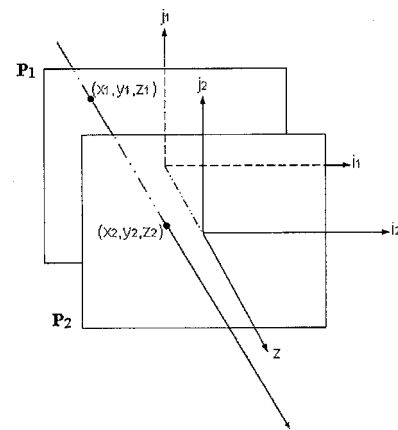
【図 4】



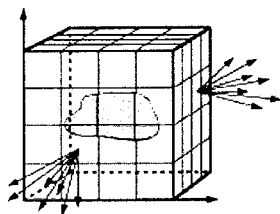
【図 5】



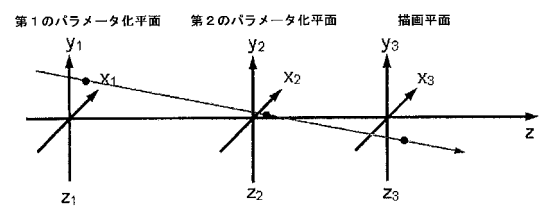
【図 6 B】



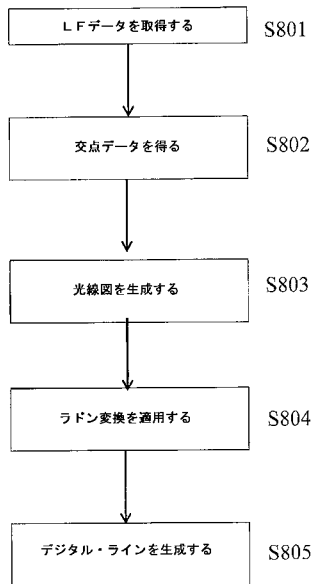
【図 6 A】



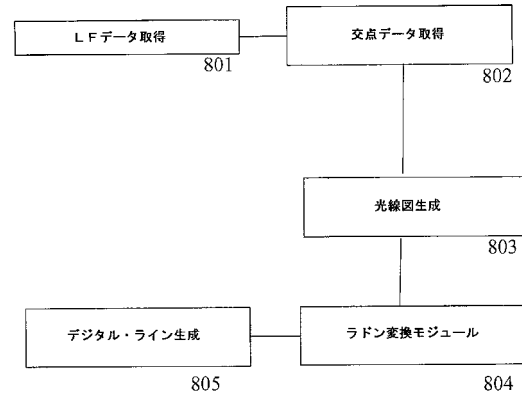
【図 7】



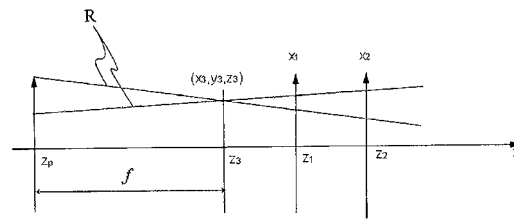
【図 8 A】



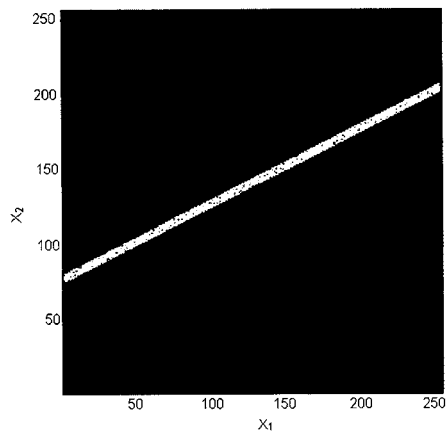
【図 8 B】



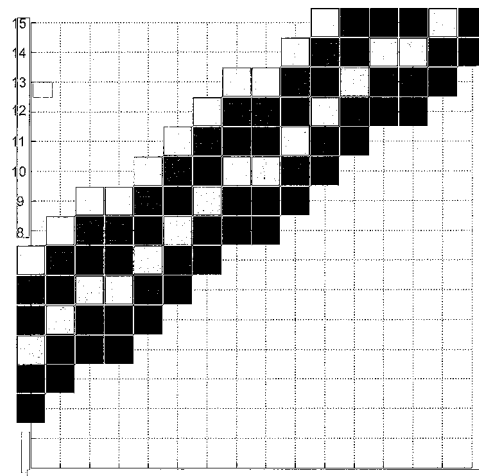
【図 9】



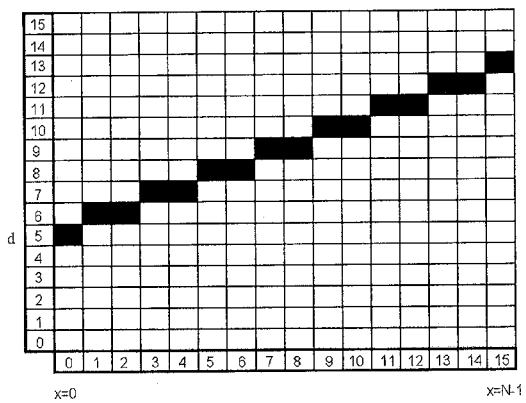
【図 10】



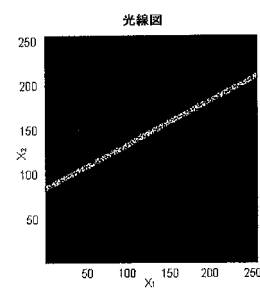
【図 12】



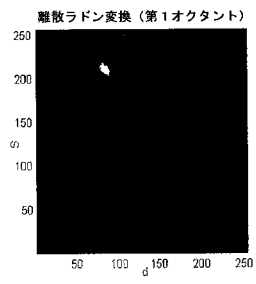
【図 11】



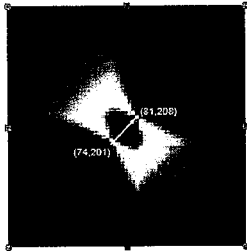
【図 13 A】



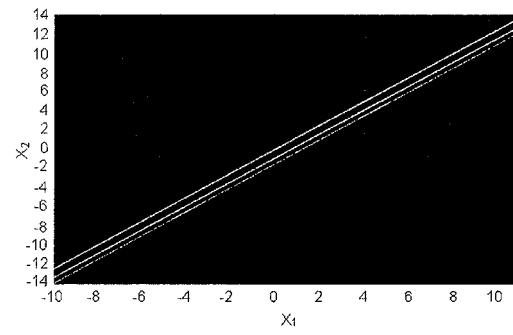
【図 1 3 B】



【図 1 3 C】



【図 1 4】



フロントページの続き

(72)発明者 ドラジツク, バルター

フランス国 3 5 5 7 6 セゾン セビニエ セーエス 1 7 6 1 6 ゼドアーサー・デ・シヤン
・ブラン アベニユー・デ・シヤン・ブラン 9 7 5 テクニカラー・アール・アンド・デー
フランス

(72)発明者 ブロンデ, ローレント

フランス国 3 5 5 7 6 セゾン セビニエ セーエス 1 7 6 1 6 ゼドアーサー・デ・シヤン
・ブラン アベニユー・デ・シヤン・ブラン 9 7 5 テクニカラー・アール・アンド・デー
フランス

(72)発明者 シューベルト, アルノ

フランス国 3 5 5 7 6 セゾン セビニエ セーエス 1 7 6 1 6 ゼドアーサー・デ・シヤン
・ブラン アベニユー・デ・シヤン・ブラン 9 7 5 テクニカラー・アール・アンド・デー
フランス

F ターム(参考) 5C122 EA68 FB05 FG03 FH11 FH18 GA23 GA34 HA01 HA88 HB06
HB10

【外国語明細書】
2017063414000001.pdf