

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6832919号
(P6832919)

(45) 発行日 令和3年2月24日 (2021.2.24)

(24) 登録日 令和3年2月4日 (2021.2.4)

(51) Int. Cl.

F I

H O 4 N 5/232 (2006.01)

H O 4 N 5/232 2 9 0

G O 3 B 15/00 (2021.01)

G O 3 B 15/00 B

H O 4 N 5/225 (2006.01)

H O 4 N 5/225 4 1 0

請求項の数 15 (全 32 頁)

(21) 出願番号 特願2018-514443 (P2018-514443)
 (86) (22) 出願日 平成28年9月16日 (2016.9.16)
 (65) 公表番号 特表2019-502277 (P2019-502277A)
 (43) 公表日 平成31年1月24日 (2019.1.24)
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2016/072071
 (87) 国際公開番号 W02017/046396
 (87) 国際公開日 平成29年3月23日 (2017.3.23)
 審査請求日 令和1年9月2日 (2019.9.2)
 (31) 優先権主張番号 15306449.8
 (32) 優先日 平成27年9月17日 (2015.9.17)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関
 欧州特許庁 (EP)

(73) 特許権者 518338149
 インターデジタル ヴイシー ホールディ
 ングス、 インコーポレイテッド
 アメリカ合衆国、デラウェア州 1980
 9、ウィルミントン、ベルビュー パーク
 ウェイ 200、 スイート 300
 (74) 代理人 100079108
 弁理士 稲葉 良幸
 (74) 代理人 100109346
 弁理士 大貫 敏史
 (74) 代理人 100117189
 弁理士 江口 昭彦
 (74) 代理人 100134120
 弁理士 内藤 和彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ピクセルビームを表すデータを生成する装置および方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光学的撮像システムのオブジェクト空間において、光学的撮像システムの瞳と、前記光学的撮像システムのセンサの少なくとも1つのピクセルの共役とを通る光線のセットにより占められ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、前記光線のセットにより占められるボリュームはピクセルビームと呼ばれ、前記方法は、

光線の集まりを取得することであって、前記集まりの各光線はピクセルビームを表し、少なくとも第1のパラメータが前記ピクセルの共役を確定する、ことと、

前記ピクセルビームを表す光線の、複数の基準面との交点を確定する交点データを取得することであって、前記基準面は互いに平行であり、前記オブジェクト空間における異なる深度に対応する、ことと、

2次元光線図において前記交点データの図式的表現を規定する光線図パラメータを取得することと、

前記光線図パラメータを、ピクセルの共役を確定する前記少なくとも第1のパラメータと関連付け、前記ピクセルビームを表すデータを提供することを含む、

方法。

【請求項 2】

前記ピクセルの共役を確定する第1のパラメータの第1の値と第2の値との差分を符号化することであって、前記差分は前記光線図パラメータに関連付けられ、前記ピクセルビ

10

20

ームを表すデータを提供する、ことをさらに含む、
請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記ピクセルビームを表す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現され、前記光線図パラメータは、
データラインの傾斜、及び
データラインの、前記光線図の軸との切片
のうち少なくとも 1 つを表すデータを含む、
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り、前記 2 次元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】

前記図式的表現はデジタルデータラインを提供するセルのマトリックスとして提供され、各デジタルデータラインフォーマットは、前記データラインの軸との交点を表す少なくとも 1 つの第 1 のセルと、前記データラインの傾斜を決定する少なくとも 1 つの第 2 のセルとである複数のセルにより確定される、
請求項 3 または 4 に記載の方法。

【請求項 6】

各デジタルデータラインは B r e s e n h a m アルゴリズムの適用により生成される、
請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

前記ピクセルビームを表すデータは、さらに、前記ピクセルビームを表す対応する光線の色を表す色データを含む、
請求項 1 ないし 6 のうち何れか一項に記載の方法。

【請求項 8】

前記ピクセルビームを表すデータはメタデータとして提供され、前記メタデータのヘッダは、2 次元光線図における交点データの図式的表現を確定する光線図パラメータを含み、前記メタデータのボディは、光線の色を表すデータと、前記オブジェクト空間におけるピクセルの共役の位置とサイズを確定するパラメータとを含む、
請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

光学的撮像システムのオブジェクト空間において、光学的撮像システムの瞳と、前記光学的撮像システムのセンサの少なくとも 1 つのピクセルの共役とを通る光線のセットにより占められるボリュームを表すデータを生成するデバイスであって、前記光線のセットにより占められるボリュームはピクセルビームと呼ばれ、前記デバイスはプロセッサを有し、該プロセッサは、

光線の集まりを取得し、前記集まりの各光線はピクセルビームを表し、少なくとも第 1 のパラメータが前記ピクセルの共役を確定し、

前記ピクセルビームを表す光線の、複数の基準面との交点を確定する交点データを取得し、前記基準面は互いに平行であり、前記オブジェクト空間における異なる深度に対応し、

2 次元光線図において前記交点データの図式的表現を規定する光線図パラメータを取得し、

前記光線図パラメータを、ピクセルの共役を確定する前記少なくとも第 1 のパラメータと関連付け、前記ピクセルビームを表すデータを提供する、
デバイス。

【請求項 10】

前記プロセッサは、さらに、

10

20

30

40

50

前記ピクセルの共役を確定する第1のパラメータの第1の値と第2の値との差分を符号化し、前記差分は前記光線図パラメータに関連付けられ、前記ピクセルビームを表すデータを提供する、

請求項9に記載のデバイス。

【請求項11】

規則的な格子構造で構成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投影された光をキャプチャするように構成されたフォトセンサであって、複数のピクセルのセットを有し、各ピクセルセット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に光学的に関連付けられている、フォトセンサと、

請求項9に記載のメタデータを提供するデバイスと、を有する、

ライトフィールドイメージングデバイス。

【請求項12】

請求項1ないし8のうち何れか一項に記載の方法により取得されたライトフィールドデータから画像をレンダリングするデバイス。

【請求項13】

光学的撮像システムのオブジェクト空間において、光学的撮像システムの瞳と、前記光学的撮像システムのセンサの少なくとも1つのピクセルの共役とを通る光線のセットにより占められるボリュームを表すデータを含むデジタルファイルを生成するように構成されたデバイスであって、前記光線のセットにより占められるボリュームはピクセルビームと呼ばれ、前記デバイスは、

ピクセルビームを表す光線の交点データの2次元光線図における図式的表現を確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ピクセルビームを表すライトフィールド光線の、複数の基準面との交点を確定し、前記基準面は互いに平行であり、前記オブジェクト空間における異なる深度に対応する、光線図パラメータと、

前記ピクセルビームを表すライトフィールド光線の色を確定する色データと、

前記光学的撮像システムのオブジェクト空間におけるピクセルの共役の位置とサイズを確定するパラメータとを生成するように構成されている、デバイス。

【請求項14】

請求項1ないし8のうち何れか一項に記載の方法により前記デジタルファイルを生成するように構成されている、請求項13に記載のデバイス。

【請求項15】

プログラマブル装置のコンピュータプログラムであって、前記プログラマブル装置にロードされ実行されたとき、請求項1ないし8のうち何れか一項に記載の方法を実施する命令シーケンスを含む、コンピュータプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ライトフィールドを表すデータの生成に関する。

【背景技術】

【0002】

4次元または4Dのライトフィールドデータの取得については、これは4Dのライトフィールドのサンプリングと見なせ、すなわち光線の記録と見なすことができるが、これは Anat Levin and al. 著「Understanding camera trade-offs through a Bayesian analysis of light field projections」(published in the conference proceedings of ECCV 2008)に説明されており、活気のある研究課題である。

【0003】

カメラから得られる古典的な2次元すなわち2D画像と比較して、4Dライトフィール

10

20

30

40

50

ドデータにより、ユーザは、より多くの後処理機能にアクセスできるようになり、画像のレンダリングおよびユーザとのインタラクティブ性が向上する。例えば、4 D ライトフィールドデータがあれば、自由に選択された焦点距離で画像の再焦点合わせを行うことができ、これは、焦点面の位置を事後的に指定/選択すること、及び画像のシーンにおいて視点を少し変えることができることを意味する。4 D ライトフィールドデータを取得するために、いくつかの技術を使用することができる。例えば、プレノプティックカメラは4 D ライトフィールドデータを撮影することができる。Plenopticカメラのアーキテクチャの詳細を図1 Aに示す。図1 Aは、プレノプティックカメラ100を概略的に示す図である。プレノプティックカメラ100は、主レンズ101と、2次元配列に配列された複数のマイクロレンズ103を含むマイクロレンズアレイ102と、イメージセンサ104とを備える。

10

【0004】

4 D ライトフィールドデータを取得する別の方法は、図1 Bに示すようなカメラアレイを使用することである。図1 Bは、マルチアレイカメラ110を示している。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とを含む。

【0005】

図1 (a) に示すプレノプティックカメラ100の例では、主レンズ101は、主レンズ101の物体視野内の被写体(図示せず)からの光を受けて、その光を主レンズ101の像視野を通す。

【0006】

20

最後に、4 D ライトフィールドを取得する別の方法は、異なる焦点面で同じシーンの2 D 画像のシーケンスを取得するように構成された従来のカメラを使用することである。例えば、文献J. H. Park et al. 著「Light ray field capture using focal plane sweeping and its optical reconstruction using 3D displays」(OPTICS EXPRESS, Vol. 22, No. 21, in October 2014) に記載された手法を用いて、従来のカメラにより4 D ライトフィールドデータの取得を実現できる。

【0007】

4 D ライトフィールドデータを表現するにはいくつかの方法がある。実際、2006年7月に公表されたRen Ng 著「Digital Light Field Photography」というタイトルの博士論文の第3.3章には、4 D ライトフィールドデータを表現する3つの異なる方法が説明されている。第1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されたときに、マイクロレンズ画像の集まりによって表現することができる。この表現における4 D ライトフィールドデータは、生画像または生4 D ライトフィールドデータと呼ばれる。第2に、4 D のライトフィールドデータは、プレノプティックカメラまたはカメラアレイによって記録されたときは、サブアパーチャ画像(sub-aperture images)のセットによって表すことができる。サブアパーチャ画像は、2つのサブアパーチャ画像の間で視点がわずかに異なる視点からのシーンの撮影画像に対応する。これらのサブアパーチャ画像は、撮影されたシーンの視差および深度に関する情報を与える。第3に、4 D ライトフィールドデータは、エピポーラ画像(epipolar images)のセットによって表すことができる。例えば、ISVC 2011の会議議事録で発表されたWanner et al. 著「Generating EPI Representation of a 4D Light Fields with a Single Lens Focused Plenoptic Camera」を参照されたい。

30

【0008】

ライトフィールドデータは、大きなストレージスペースを占有する可能性があり、ストレージを煩雑にし、処理効率が低下する可能性がある。さらに、ライトフィールド取得装置は極めて異質である。ライトフィールドカメラは、例えば、プレノプティック(plen

40

50

n o p t i c) またはカメラレイのような異なるタイプのものである。各タイプには、異なる光学構成、焦点距離が異なるマイクロレンズなど、多くの違いがある。各カメラには独自のファイル形式がある。現時点では、ライトフィールドが依存する様々なパラメータを完全に概観するための多次元情報の取得および伝送をサポートする標準は存在しない。このように、異なるカメラで取得されたライトフィールドデータには、多様なフォーマットがある。本発明は、上記の点を考慮して案出されたものである。

【発明の概要】

【 0 0 0 9 】

本発明の第 1 の態様によると、光学的撮像システムのオブジェクト空間において、光学的撮像システムの瞳と、前記光学的撮像システムのセンサの少なくとも 1 つのピクセルの共役とを通る光線のセットにより占められ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が提供される。前記光線のセットにより占められるボリュームはピクセルビームと呼ばれ、前記方法は、

光線の集まりを取得するステップであって、前記集まりの各光線はピクセルビームを表し、少なくとも第 1 のパラメータが前記ピクセルの共役を確定する、ステップと、

前記ピクセルビームを表す光線の、複数の基準面との交点を確定する交点データを取得するステップであって、前記基準面は互いに平行であり、前記オブジェクト空間における異なる深度に対応する、ステップと、

2 次元光線図において前記交点データの図式的表現を規定する光線図パラメータを取得するステップと、

前記光線図パラメータを、ピクセルの共役を確定する前記少なくとも 1 つのパラメータと関連付け、前記ピクセルビームを表すデータを提供するステップとを含む。

【 0 0 1 0 】

本発明の一実施形態では、前記方法はさらに、前記ピクセルの共役を確定する第 1 のパラメータの第 1 の値と第 2 の値との差分を符号化するステップであって、前記差分は前記光線図パラメータに関連付けられ、前記ピクセルビームを表すデータを提供する、ステップを含む。

【 0 0 1 1 】

本発明の一実施形態では、前記ピクセルビームを表す光線に対応する交点データは、前記光線図においてデータラインとして図式的に表現され、前記光線図パラメータは、

- データラインの傾斜、及び
 - データラインの、前記光線図の軸との切片
- のうち少なくとも 1 つを表すデータを含む。

【 0 0 1 2 】

本発明の一実施形態では、前記データラインは、ラドン変換を適用することにより、前記 2 次元光線図において検出される。

【 0 0 1 3 】

本発明の一実施形態では、前記図式的表現はデジタルデータラインを提供するセルのマトリックスとして提供され、各デジタルデータラインフォーマットは、前記データラインの軸との交点を表す少なくとも 1 つの第 1 のセルと、前記データラインの傾斜を決定する少なくとも 1 つの第 2 のセルとである複数のセルにより確定される。

【 0 0 1 4 】

本発明の一実施形態では、各デジタルデータラインは B r e s e n h a m アルゴリズムの適用により生成される。

【 0 0 1 5 】

本発明の一実施形態では、前記ピクセルビームを表すデータは、さらに、前記ピクセルビームを表す対応する光線の色を表す色データを含む。

【 0 0 1 6 】

本発明の一実施形態では、前記ピクセルビームを表すデータはメタデータとして提供され、前記メタデータのヘッダは、2 次元光線図における交点データの図式的表現を確定す

10

20

30

40

50

る光線図パラメータを含み、前記メタデータのボディは、光線の色を表すデータと、前記オブジェクト空間におけるピクセルの共役の位置とサイズを確定するパラメータとを含む。

【0017】

本発明の他の目的は、光学的撮像システムのオブジェクト空間において、光学的撮像システムの瞳と、前記光学的撮像システムのセンサの少なくとも1つのピクセルの共役とを通る光線のセットにより占められるボリュームを表すデータを生成するデバイスに関し、前記光線のセットにより占められるボリュームはピクセルビームと呼ばれ、前記デバイスは、

光線の集まりを取得し、前記集まりの各光線はピクセルビームを表し、少なくとも第1のパラメータが前記ピクセルの共役を確定し、

前記ピクセルビームを表す光線の、複数の基準面との交点を確定する交点データを取得し、前記基準面は互いに平行であり、前記オブジェクト空間における異なる深度に対応し、

2次元光線図において前記交点データの図式的表現を規定する光線図パラメータを取得し、

前記光線図パラメータを、ピクセルの共役を確定する前記少なくとも1つのパラメータと関連付け、前記ピクセルビームを表すデータを提供する。

【0018】

本発明の一実施形態では、前記プロセッサは、さらに、前記ピクセルの共役を確定する第1のパラメータの第1の値と第2の値との差分を符号化し、前記差分は前記光線図パラメータに関連付けられ、前記ピクセルビームを表すデータを提供する。

【0019】

ライトフィールドイメージングデバイスであって、

規則的な格子構造で構成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投影された光をキャプチャするように構成されたフォトセンサであって、複数のピクセルのセットを有し、各ピクセルセット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に光学的に関連付けられている、フォトセンサと、

請求項11に記載のメタデータを提供するデバイスとを有する。

【0020】

本発明の他の目的は、光学的撮像システムのオブジェクト空間において、光学的撮像システムの瞳と、前記光学的撮像システムのセンサの少なくとも1つのピクセルの共役とを通る光線のセットにより占められるボリュームを表すデータを含むデジタルファイルに関し、前記光線のセットにより占められるボリュームはピクセルビームと呼ばれ、前記データは、

ピクセルビームを表す光線の交点データの2次元光線図における図式的表現を確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ピクセルビームを表すライトフィールド光線の、複数の基準面との交点を確定し、前記基準面は互いに平行であり、前記オブジェクト空間における異なる深度に対応する、光線図パラメータと、

前記ピクセルビームを表すライトフィールド光線の色を確定する色データと、

前記光学的撮像システムのオブジェクト空間におけるピクセルの共役の位置とサイズを確定するパラメータとを含む、本発明の要素によって実現されるいくつかのプロセスは、コンピュータによって実施されてもよい。したがって、かかる要素は、完全にハードウェアによる実施形態、(ファームウェア、常駐ソフトウェア、マイクロコードなどを含む)完全にソフトウェアによる実施形態、また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式を取り得る。これらはすべてここでは概して「回路」、「モジュール」または「システム」と呼ぶ。さらに、そのような要素は、媒体に組み込まれたコンピュータ使用可能プログラムコードを有する表現の任意の有形媒体に具体化されたコンピュータプログラム製品の形式を取ることができる。

【0021】

本発明の要素はソフトウェアで実施することができるので、本発明は、任意の適切なキャリア媒体上のプログラム可能な装置に提供するためのコンピュータ可読コードとして実施することができる。有形のキャリア媒体は、フロッピーディスク、CD-ROM、ハードディスクドライブ、磁気テープ装置または固体メモリ装置などのような記憶媒体を含むことができる。過渡キャリア媒体は、電気信号、電子信号、光信号、音響信号、磁気信号または電磁信号、例えばマイクロ波またはRF信号などの信号を含むことができる。

【図面の簡単な説明】

【0022】

ここで、以下の図面を参照して、例として、本発明の実施形態を説明する。

【図1A】ブレノプティックカメラを示す概略図である。

10

【図1B】マルチアレイカメラを示す図である。

【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を示す機能図である。

【図2B】本発明の一実施形態によるライトフィールドフォーマッタとライトフィールドプロセッサとを示す機能図である。

【図3】フォトセンサアレイ上に形成された2Dライトフィールドイメージの一例を示す図である。

【図4】カメラまたは光学撮影システムの光学系のオブジェクト空間において、光線のセットにより占められたボリュームを示す図である。

【図5】一葉の双曲面を示す図である。

【図6A】本発明の一以上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面の使用を図式的に示す図である。

20

【図6B】本発明の一以上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面の使用を図式的に示す図である。

【図7】本発明の複数の実施形態による基準面に対するライトフィールド光線を示す概略図である。

【図8A】本発明の一以上の実施形態による方法のステップを示すフローチャートである。

【図8B】本発明の一以上の実施形態によるライトデータフォーマットを提供するデバイスのモジュールを示す機能ブロック図である。

【図9】本発明の複数の実施形態によるライトフィールド光線を示すパラメータを示す概略図である。

30

【図10】本発明の複数の実施形態による交点データをグラフィカルに示す2D光線図である。

【図11】本発明の複数の実施形態に従って生成されたデジタルライン(digital line)を図式的に示す図である。

【図12】本発明の複数の実施形態に従って生成されたデジタルライン(digital line)を図式的に示す図である。

【図13A】本発明の複数の実施形態によるデジタルラインを適用したRadon変換を図式的に示す図である。

【図13B】本発明の複数の実施形態によるデジタルラインを適用したRadon変換を図式的に示す図である。

40

【図13C】本発明の複数の実施形態によるデジタルラインを適用したRadon変換を図式的に示す図である。

【図14】本発明の複数の実施形態による複数のカメラの交点データをグラフィカルに示す2D光線図である。

【図15A】本発明の一以上の実施形態による方法のステップを示すフローチャートである。

【図15B】本発明の一以上の実施形態による方法のステップを示すフローチャートである。

【図16】ガウシアンビームの幾何学的形状を示す図である。

50

【発明を実施するための形態】

【0023】

本技術分野の当業者には言うまでもないが、本原理の諸態様はシステム、方法、またはコンピュータ読み取り可能媒体として実施され得る。したがって、本原理の諸態様は、完全にハードウェアによる実施形態、完全にソフトウェアによる実施形態（ファームウェア、常駐ソフトウェア、マイクロコードなど）、また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式を取り得る。これらはここでは概して「回路」、「モジュール」または「システム」と呼ぶ。さらにまた、本原理の諸態様はコンピュータ読み取り可能記憶媒体の形式を取り得る。一以上のコンピュータ読み取り可能記憶媒体の任意の組み合わせを利用できる。

10

【0024】

本発明の実施形態は、フォーマット変換、リフォーカス、視点変更および3D画像生成などのさらなる処理アプリケーションのためのライトフィールドデータのフォーマットを提供する。

【0025】

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デバイスを示すブロック図である。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したがって、アパーチャ/シャッタ202、メイン（対物）レンズ201、マイクロレンズアレイ210、およびフォトセンサアレイ220を備える。いくつかの実施形態では、ライトフィールドカメラは、被写体またはシーンのライトフィールド画像を取得するように作動するシャッターリリース（shutter release）を含む。言うまでもなく、機能的特徴はまた、図1Bのライトフィールドカメラにも適用され得る。

20

【0026】

フォトセンサアレイ220は、ライトフィールドデータフォーマットモジュール250によるライトフィールドデータフォーマットの生成、および/またはライトフィールドデータプロセッサ255による処理のために、LFデータ取得モジュール240によって取得されるライトフィールド画像データを提供する。ライトフィールドデータは、取得後および処理後に、生データフォーマットで、サブアパーチャ画像または焦点スタックとして、または本発明の実施形態によるライトフィールドデータフォーマットで、メモリ290に格納することができる。

30

【0027】

図示した例では、ライトフィールドデータフォーマッティングモジュール150および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内に配置されるか、または一体化される。本発明の他の実施形態では、ライトフィールドデータフォーマットモジュール250および/またはライトフィールドデータプロセッサ255は、ライトフィールドキャプチャカメラの外部の別個のコンポーネントに設けられてもよい。別個のコンポーネントは、ライトフィールド画像キャプチャデバイスに対してローカルであってもリモートであってもよい。言うまでもなく、任意の好適な有線または無線の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ティングモジュール250やライトフィールドデータプロセッサ255に送信してもよい。例えばライトフィールドデータプロセッサは、キャプチャされたライトフィールド画像データおよび/またはその他のデータを、インターネット、セルラ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、および/またはその他の任意の適切な手段を介して転送してもよい。

40

【0028】

ライトフィールドデータフォーマッティングモジュール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る。ライトフィールドデータフォーマッティングモジュール250は、ソフトウェア、ハードウェア、またはそれらの組み合わせで実施することができる。

【0029】

50

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 から直接受け取った生のライトフィールド画像データに対して作用して、例えば、本発明の実施形態による焦点スタックまたはビューマトリックスを生成するように構成される。キャプチャされたシーンの静止画像、2D ビデオストリームなどの出力データを生成することができる。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、またはそれらの組み合わせで実施することができる。

【0030】

少なくとも 1 つの実施形態では、ライトフィールドカメラ 200 は、ユーザがコントローラ 270 によるカメラ 100 の動作を制御するためのユーザ入力を提供することを可能にするユーザインターフェース 260 を含むこともできる。カメラの制御は、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、または調整可能なライトフィールドカメラの場合には、マイクロレンズアレイとフォトセンサとの間の相対的距離や対物レンズとマイクロレンズアレイとの間の相対的距離の制御のうち一以上を含み得る。いくつかの実施形態では、ライトフィールドカメラの光学素子間の相対的距離を手動で調整することができる。カメラの制御は、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ティングパラメータ、またはライトフィールド処理パラメータの制御を含んでいてもよい。ユーザインターフェース 260 は、タッチスクリーン、ボタン、キーボード、ポインティングデバイスなどの任意の適切なユーザ入力デバイスを含むことができる。このようにして、ユーザインターフェースによって受信された入力を用いて、データフォーマットを制御する LF データフォーマッティングモジュール 250、取得されたライトフィールドデータの処理を制御する LF データプロセッサ 255、およびライトフィールドカメラ 200 を制御するコントローラ 270 を制御および / または設定できる。

【0031】

ライトフィールドカメラは、一以上の交換可能または再充電可能なバッテリーなどの電源 280 を含む。ライトフィールドカメラは、キャプチャされたライトフィールドデータおよび / またはレンダリングされた最終画像、または本発明の複数の実施形態の方法を実施する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 を備える。メモリは、外部メモリおよび / または内部メモリを含むことができる。少なくとも 1 つの実施形態では、メモリは、カメラ 200 とは別のデバイスおよび / またはカメラ 200 から離れた位置に設けることができる。一実施形態では、メモリは、メモリスティックのような取外し可能 / 交換可能な記憶デバイスを含む。

【0032】

また、ライトフィールドカメラは、キャプチャする前にカメラの前のシーンを視るための、および / または事前にキャプチャされたおよび / またはレンダリングされた画像を見るためのディスプレイユニット 265 (例えば、LCD スクリーン) を含むことができる。また、スクリーン 265 を用いて、一以上のメニューまたはその他の情報をユーザに表示してもよい。ライトフィールドカメラは、さらに、FireWire やユニバーサルシリアルバス (USB) インターフェースなどの一以上の I/O インターフェース 295、またはインターネット、セルラデータネットワーク、WiFi ネットワーク、Bluetooth 通信プロトコル、および / または任意の他の適切な手段を解してデータ通信するための有線または無線通信インターフェースを含むことができる。I/O インターフェース 295 を使用して、本発明の実施形態による LF データフォーマッティングモジュールによって生成されたライトフィールド代表データ、及び生のライトフィールドデータまたは LF データプロセッサ 255 により処理されたデータなどのライトフィールドデータを、コンピュータシステムまたはディスプレイユニットなどの外部デバイスとの間で、アプリケーションをレンダリングするために、転送できる。

【0033】

図 2B は、ライトフィールドデータフォーマッティングモジュール 250 およびライトフィールドデータプロセッサ 253 の潜在的な実装の実施形態を示すブロック図である。

【 0 0 3 4 】

回路 2 0 0 0 は、メモリ 2 0 9 0、メモリコントローラ 2 0 4 5、および一以上の処理ユニット (CPU) を含む処理回路 2 0 4 0 を含む。一以上の処理ユニット 2 0 4 0 は、メモリ 2 0 9 0 に格納された様々なソフトウェアプログラムおよび / または命令のセットを実行して、ライトフィールドデータフォーマッティングおよびライトフィールドデータ処理を含む様々な機能を実行するように構成される。メモリに格納されたソフトウェアコンポーネントは、本発明の複数の実施形態による取得されたライトデータを表すデータを生成するデータフォーマッティングモジュール (または命令セット) 2 0 5 0 と、本発明の複数の実施形態によるライトフィールドデータを処理するライトフィールドデータ処理モジュール (または命令セット) 2 0 5 5 とを含む。ライトフィールドカメラデバイスのアプリケーション用のその他のモジュールがメモリに含まれてもよい。例えば、一般的なシステムタスク (例えば、電力管理、メモリ管理) を制御し、及び、デバイス 2 0 0 0 の様々なハードウェアおよびソフトウェアのコンポーネント間の通信を容易にするオペレーティングシステムモジュール 2 0 5 1、及び I / O インターフェースポートを介して他のデバイスとの通信を制御および管理するインターフェースモジュール 2 0 5 2 が含まれてもよい。

10

【 0 0 3 5 】

図 3 は、図 1 A のフォトセンサアレイ 1 0 4 または図 1 B のフォトセンサアレイ 1 1 4 上に形成された 2 D 画像の例を示す。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も多いが、マイクロ画像アレイ MI から構成され、各マイクロ画像は、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) によって生成される。マイクロ画像は、軸 i および j によって確定される矩形格子構造中の配列内に配置される。マイクロレンズ画像は、それぞれのマイクロレンズ座標 (i, j) によって参照されてもよい。フォトセンサ 1 0 4、1 1 4 のピクセル PI は、その空間座標 (x, y) によって参照されてもよい。所与のピクセルに関連する 4 D ライトフィールドデータは、(x, y, i, j) として参照されてもよい。

20

【 0 0 3 6 】

4 D ライトフィールド画像を表現する (または定義する) いくつかの方法がある。例えば、4 D ライトフィールド画像は、図 3 を参照して先に説明したようなマイクロレンズ画像の集まりによって表すことができる。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たときに、サブアパーチャ画像のセットによって表現することもできる。各サブアパーチャ画像は、各マイクロレンズ画像から選択された同じ位置のピクセルから構成される。さらに、4 D のライトフィールド画像は、ピクセルビームの場合ではないエピソード画像 (epi polar images) のセットによって表されてもよい。

30

【 0 0 3 7 】

本発明の実施形態は、ピクセルビームの概念に基づいてライトフィールドデータの表現を提供する。このようにして、フォーマットやライトフィールドデバイスの多様性を考慮に入れることができる。実際、光線ベースのフォーマットの 1 つの欠点は、ピクセルフォーマットおよびサイズを反映するためにパラメータ化平面をサンプリングする必要があることである。したがって、物理的に意味のある情報を回復するためには、他のデータに沿ってサンプリングを定義する必要がある。

40

【 0 0 3 8 】

ピクセルビーム 4 0 は、図 4 に示すように、カメラの光学系 4 1 のオブジェクト空間内の光線のセットによって占められるボリュームを表す。

【 0 0 3 9 】

光線のセットは、光学系 4 1 の瞳 4 4 を通ってカメラのセンサ 4 3 のピクセル 4 2 によって感知される。光線とは対照的に、ピクセルビーム 4 0 は、それ自体が「etendue」を伝達するので、物理的な光線のセクション間のエネルギーの保存に対応する。

【 0 0 4 0 】

50

光学系の瞳は、前記光学系、すなわち前記アパーチャ絞りに先行するカメラのレンズを通して見たアパーチャ絞りの像として定義される。アパーチャ絞りは、カメラの光学系を通る光の量を制限するアパーチャである。例えば、カメラレンズの前面近くに配置された調節可能な絞りは、レンズのアパーチャ絞りである。絞りを通って入る光の量は、カメラのユーザが受けることを望む光の量に応じて適合させ得る絞りアパーチャの直径によって制御される。例えば、絞りを小さくすると、絞りを通して入る光の量は減少するが、焦点深度は増加する。ストップの有効サイズは、レンズの屈折作用のために、物理的サイズより大きい、または小さくてもよい。正式には、瞳は、カメラの光学系を通るアパーチャ絞りの像である。

【 0 0 4 1 】

10

ピクセルビーム 4 0 は、入射瞳 4 4 を介して光学系 4 1 を伝播するとき、所与のピクセル 4 2 に到達する光線の光線バンドルとして定義される。光が自由空間の直線上を移動するとき、そのようなピクセルビーム 4 0 の形状は、2つの部分によって画定することができる。1つはピクセル 4 2 の共役 4 5 であり、もう1つは入射瞳 4 4 である。ピクセル 4 2 は、その非ヌル面とその感度マップによって定められる。

【 0 0 4 2 】

したがって、ピクセルビームは、図 5 に示すように、瞳 5 4 およびカメラのオブジェクト空間内のピクセル 4 2 の共役 5 5 の 2 つの要素によって支持される、一葉の双曲面 5 0 によって表される。

【 0 0 4 3 】

20

一様の双曲面は、光線バンドルの概念を支持し、物理的光線の「e t e n d u e」という概念と互換性のある線織面である。

【 0 0 4 4 】

一様の双曲面は、ガウシアンビームの幾何学的形状に対応する。実際、光学的には、ガウシアンビームは、その横方向の磁場および電場の振幅プロファイルがガウス関数によって与えられる単色電磁放射のビームであり、これはまた、ガウス強度プロファイルを示唆する。この基本的な横方向のガウスモードは、このような光ビームは最も集中したスポットに集バンドルさせることができるので、ほとんどのレーザの意図された出力を表す。

【 0 0 4 5 】

以下の式は、 z のすべての値において円形の断面を有するビームを仮定する。これは、単一の横方向寸法 r が現れることに気付くことによって見る可以看到。

30

(焦点から測られた) ビームに沿った位置 z において、スポットサイズパラメータ w は、

【 0 0 4 6 】

【数 1】

$$w(z) = w_0 \sqrt{1 + \left(\frac{z}{z_R}\right)^2}$$

により与えられる。ここで、 w_0 は $w a i s t$ サイズである。

【 0 0 4 7 】

40

図 1 6 に示されるように、 $w a i s t$ からの距離は z_R に等しく、ビームの幅 w は $2 w_0$ に等しい。

【 0 0 4 8 】

ガウス関数のテールは実際にはゼロにはならないが。これは、 $w a i s t$ から遠いと、ビーム「エッジ」がコーン形状であることを意味する。そのコーンに沿った線 ($r = w(z)$) とビームの中心軸 ($r = 0$) との間の角度は、ビームの発散と呼ばれる。

【 0 0 4 9 】

$w a i s t$ から遠いビームの全角度広がり、 $\theta = 2 \lambda / \pi w_0$ で与えられる。本発明の一実施形態では、ピクセルビーム 4 0 , 5 0 は、4つの独立したパラメータ、すなわち、瞳 4 4 , 5 4 の前のピクセル共役 4 5 , 5 5 の位置およびサイズを定める z_p , x , y , a

50

によって定義される。

ピクセルビームを表す一葉の双曲面は、以下の式

【 0 0 5 0 】

【 数 2 】

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

によって定義することができる。ここで、 $t_x = \tan \theta_x$ 、 $t_y = \tan \theta_y$ である。

10

【 0 0 5 1 】

ピクセルビーム 4 0 , 5 0 のパラメータが定義される座標系 (x , y , z) の原点 O は、図 4 に示すピクセルの共役の中心に対応する。a , b , c はそれぞれ O_x , O_y , O_z に沿った半軸 (s e m i - a x e s) の長さと同相である。ここで、a は、 O_x に沿った w a i s t の半径を表し、b は、 O_y に沿った w a i s t の半径を表し、c は、ピクセルビームの各アパーチャを定める。本発明のいくつかの実施形態では、a と b は、同一の値を有するが、これらの場合、w a i s t は円形の形状を有する。

【 0 0 5 2 】

パラメータ θ_x 、 θ_y は、瞳 4 4 の中心の入口に対する主光線方向を規定する。それらは、センサ 4 3 上のピクセル 4 2 と、光学系 4 1 の光学素子とに依存する。より正確には、パラメータ θ_x 、 θ_y は、瞳 4 4 の中心からのピクセル 4 2 の共役 4 5 の方向を定める剪断角度を表す。

20

【 0 0 5 3 】

パラメータ z_p は、z 軸に沿った、ピクセルビーム 4 0 , 5 0 の w a i s t 5 5 の距離、またはピクセル 4 2 の共役 4 5 の距離を表す。

【 0 0 5 4 】

パラメータ a は、ピクセルビーム 4 0 , 5 0 の w a i s t 5 5 の半径を表し、c は、以下の式

【 0 0 5 5 】

【 数 3 】

30

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

によって与えられる。ここで、r は瞳 4 4 , 5 4 の半径である。

【 0 0 5 6 】

パラメータ z_p 、a、c の値の計算は、カメラの較正フェーズ中にそのカメラの各ピクセルビームについて実現される。この較正段階は、例えば、カメラの光学系を通る光線の伝搬をモデル化することができるプログラムを実行することからなる。そのようなプログラムは、例えば、Z e m a x、A S A P または C o d e V のような光学設計プログラムである。光学設計プログラムは、光学系を設計および分析するために使用される。光学設計プログラムは、光学系を通る光線の伝播をモデル化し、単純なレンズ、非球面レンズ、屈折率分布型レンズ、ミラー、回折光学素子等の光学素子の効果をモデル化することができる。

40

【 0 0 5 7 】

したがって、ピクセルビーム 4 0 , 5 0 は、その主光線およびパラメータ z_p 、a 及び c により定められる。

【 0 0 5 8 】

しかしながら、ピクセルビーム 4 0 , 5 0 のそのような表現は、光線を保存するための

50

古典的なファイルフォーマットが3D空間内の位置および方向を記憶することにあるので、大量の記憶空間を占める。

【0059】

より少ない記憶空間だけで済む光線を保存するためのファイルフォーマットを提案するために、ライトフィールド輝度の4つの次元をパラメータ化する方法は、図6Aに示す立方体を参照する。立方体の6つの面はすべて、ライトフィールドをパラメータ化するために使用される。方向をパラメータ化するために、立方体面に平行な平面の第2のセットを追加することができる。このようにして、ライトフィールドは、軸方向 i 、 $-i$ 、 j 、 $-j$ 、 k 、 $-k$ （訳注：上付き「 \cdot 」は、本来はその前の記号の上に付き、その記号がベクトルであることを示す）に沿った法線を有する6つの平面ペアに関して定義され得る。

10

【0060】

図6Bは、互いに平行に配置され、既知の深度 z_1 および z_2 にそれぞれ位置する、パラメータ化に使用される2つの基準面 P_1 および P_2 を通過するライトフィールド光線を示す。ライトフィールド光線は交点 (x_1, y_1) で深さ z_1 で第1の基準平面 P_1 と交差し、交点 (x_2, y_2) で深さ z_2 で第2の基準平面 P_2 と交差する。このようにして、ライトフィールド光線は4つの座標 (x_1, y_1, x_2, y_2) によって識別することができる。このようにして、ライトフィールドは、パラメータ化平面とも呼ばれるパラメータ化のための基準面 P_1 、 P_2 のペアによってパラメータ化することができ、各ライトフィールド光線4D光線空間内の点 (x_1, y_1, x_2, y_2) R^4 として表される。

20

【0061】

例えば、基準座標系の原点は、座標軸系 i_1 、 j_1 の基底ベクトルによって生成された平面 P_1 の中心に置くことができる。 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、単純化のため、平面 P_1 から k 軸に沿って距離 $z =$ に配置することができる。6つの異なる伝搬方向を考慮に入れるために、ライトフィールド全体は、そのような平面の6つのペアによって特徴付けられてもよい。ライトスラブ(light slab)と呼ばれることが多い一対の面は、伝搬方向に沿ってライトフィールドカメラのセンサまた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付ける。

【0062】

パラメータ化のための基準面の位置は、 $x_0 = d n$ ように与えられる。ここで、 n は法線であり、 d はその法線方向に沿った3D座標系の原点からのオフセットである。

30

【0063】

パラメータ化のための基準面のカーテシアン方程式は、 $n \cdot \{x - x_0\} = 0$ のよう

【0064】

ライトフィールドは既知の位置 x_i (x_i, y_i, z_i)と、規格化された伝搬ベクトル u (u_1, u_2, u_3)とを有する場合、3次元における光線の一般的な伝搬方程式は、 $x = t u + x_i$ で与えられる。

【0065】

ライトフィールド光線と基準面との間の交点 x_1 の座標は、

40

【0066】

【数4】

$$\vec{x}_1 = \vec{x}_i + \vec{u} \frac{\vec{n}(\vec{x}_0 - \vec{x}_i)}{\vec{u} \cdot \vec{n}} \quad (A)$$

で与えられる。

50

【 0 0 6 7 】

以下の条件 $(x_1 - x_0) \cdot u > 0$ 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間に交点は存在しない。

【 0 0 6 8 】

ライトフィールドをパラメータ化するために使用される一対の基準平面の、系の軸の1つとの直交性により、光線交差の成分の1つは各平面に対して常に一定である。したがって、ライトフィールド光線の第1の基準面との交点 x_1 と、第2の基準面との前記ライトフィールドとの交点 x_2 とがある場合、4つの座標が変化し、方程式 A を使用して、ライトフィールドの4つのパラメータを計算することができる。これらの4つのパラメータを使用して、ライトフィールドの4D図を構成することができる。

10

【 0 0 6 9 】

2つのパラメータ化基準平面を参照して、ライトフィールドのパラメータ化を仮定すると、ライトフィールドを表すデータは、以下のように得られる。図7に示すように基準系が設定されている場合、第1のパラメータ化平面 P1 は $z = z_1$ で z 軸に垂直であり、第2のパラメータ化平面 P2 は $z = z_2$ で z 軸に垂直に配置され、ライトフィールドパラメータが $L(x_1; y_1; x_2; y_2)$ である光線は、ライトフィールドカメラのフォトセンサアレイが配置されている位置 $z = z_3$ にレンダリングされる。式 (A) から：

【 0 0 7 0 】

【数5】

$$\begin{aligned} \vec{x}_3 &= \vec{x}_2 + \vec{u} \frac{\vec{n}(z_3 \vec{n} - \vec{x}_2)}{\vec{u} \vec{n}} \\ \vec{x}_3 &= \vec{x}_1 + \vec{u} \frac{\vec{n}(z_3 \vec{n} - \vec{x}_1)}{\vec{u} \vec{n}} \\ &\text{with} \\ \vec{u} &= \frac{\vec{x}_2 - \vec{x}_1}{\|\vec{x}_2 - \vec{x}_1\|} = (u_x, u_y, u_z) \\ &\quad \vec{n}(0, 0, 1) \end{aligned}$$

20

30

上の式を展開すると、

【 0 0 7 1 】

【数6】

$$\begin{aligned} x_3 &= x_2 + \frac{u_x}{u_z}(z_3 - z_2) \\ y_3 &= y_2 + \frac{u_y}{u_z}(z_3 - z_2) \\ z_3 &= z_3 \end{aligned}$$

40

$$\begin{aligned} x_3 &= x_1 + \frac{u_x}{u_z}(z_3 - z_1) \\ y_3 &= y_1 + \frac{u_y}{u_z}(z_3 - z_1) \\ z_3 &= z_3 \end{aligned}$$

50

両方の式のセットは、新しい場所にレンダリングされたライトフィールド光線と同じ点 x_3 となる必要がある。 $u_x ; u_y ; u_z$ を x_1 と x_2 の関数として対応する式で置き換えることによって、前のブロックからの第2の式のセットが使用され、 x_3 と y_3 が一緒に加算される場合、

【0072】

【数7】

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

10

次の式

【0073】

【数8】

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

が得られる。

20

【0074】

添え字3の座標は、ライトフィールドがレンダリングされる既知の点 (x_3 、 y_3 、 z_3) に関する。すべての深さ座標 z_i は既知である。パラメータ化平面は、伝播またはレンダリングの方向にある。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。

【0075】

点 (x_3 、 y_3 、 z_3) で像を形成するライトフィールド光線は、 R^4 の超平面を規定する式 (B) によってリンクされる。

これは、2面のパラメータ化されたライトフィールドから画像をレンダリングする場合、超平面近傍の光線のみをレンダリングすればよいので、トレースする必要がないことを意味する。図8Aは、本発明の1つ以上の実施形態による、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示すフローチャートである。図8Bは、本発明の1つ以上の実施形態による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示すブロック図である。

30

【0076】

方法の予備ステップ S801 では、カメラのセンサのピクセルに関連付けられた異なるピクセルビームを規定するパラメータが、カメラを校正することによって、またはリモートサーバまたはカメラのメモリ 290 や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ストレージに格納されたデータファイルから、このようなパラメータを読み出すことによって、取得される。

40

【0077】

そのようなパラメータは、異なるピクセルビームの主光線の座標であり、カメラの校正中に各ピクセルビームについて得られる瞳の前にあるピクセル共役の位置およびサイズを規定するパラメータ z_p と a である。ピクセルビームの主光線は、 $w a i s t$ の中心とピクセルビームを支持する瞳の中心を通る直線である。別の予備的なステップ S802 において、ライトフィールドカメラ 801 によって生じたライトフィールドデータが取得される。生じた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式であってもよい。ライトフィールドカメラは、図1A又は図1B及び図2A及び図2Bに示すようなライトフィールドカメラ装置であってもよい。

【0078】

50

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は、光線パラメータモジュール8 0 2によって処理され、ピクセルビーム4 0 , 5 0の主光線に対応する、それぞれの深度 z_1 、 z_2 におけるパラメータ化 P_1 、 P_2 のための一对の基準面との、取得された光線の交点を確定する交点データ(x_1 、 y_1 、 x_2 、 y_2)を提供する。

【0 0 7 9】

カメラの較正から、次のパラメータ：投影中心(x_3 、 y_3 、 z_3)、カメラの光軸の向き、およびカメラのピンホールからフォトセンサの平面までの距離 f を決定することができる。ライトフィールドカメラパラメータを図9に示す。フォトセンサ平面は深さ z_p に位置する。フォトセンサのピクセル出力は、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 および P_2 を含むライトスラブは、カメラのフォトセンサへの投影中心の他方の側で、それぞれ z_3 を越えて深さ z_1 および z_2 に配置される。光線に三角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ピクセル座標(x_p 、 y_p 、 z_p)を、次の式

【0 0 8 0】

【数9】

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

【0 0 8 1】

【数10】

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

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

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

を適用することにより光線パラメータに、すなわち基準面交点(x_1 、 y_1 、 x_2 、 y_2)にマッピングできる。

【0 0 8 2】

上記の計算は、異なる組のトリプレット(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することができる。

【0 0 8 3】

プレノプティックカメラの場合、アパーチャを有するカメラモデルを用いて、ライトフィールド光線を、位相空間において原点(x_p 、 y_p 、 z_p)および方向(x'_3 、 y'_3 、1)を有するものとして記述する。深度 z_3 の平面(x_3 、 y_3)への伝播は、行列変換として記述することができる。レンズは、光線を屈折させるA B C Dマトリックスとして作用し、別のA B C D伝播マトリックスは、光線をライトスラブ基準面 P_1 および P_2 上にもたらす。

【0 0 8 4】

このステップから、基準面 P_1 、 P_2 とのライトフィールド光線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。

【0 0 8 5】

ステップS 8 0 4において、2 D線は、光線図生成モジュール8 0 3によって交点デー

タ (x_1 、 y_1 、 x_2 、 y_2) をグラフィック表示する光線図を得る。

【0086】

図10は、位置 $x_3 = 2$ および深さ $z_3 = 2$ にあるアパーチャ $|A| < 0.5$ のカメラによって取得されたライトフィールド光線の交点データ (x_1 、 x_2) をグラフ的に表す2D光線図である。パラメータ化に使用される光線図のデータ線は、 256×256 ピクセルの画像を提供する256個のセルによってサンプリングされる。

【0087】

図10に示す光線図を行列として解釈する場合、それはスパース (sparse ly populated) であることがわかる。光線を、4D位相空間行列ではなく、ファイルに個別に保存する場合は、これは、角光線について、各位置 x_i または x_3 について少なくとも2バイト (int16)、色に対してさらに3バイトを保存する必要がある、つまり2Dスライスライトフィールドの場合は光線あたり7バイト、フル4D表示の場合は光線あたり11バイトを保存する必要がある。それでも、光線はファイル内にランダムに格納され、これは表現を操作する必要があるアプリケーションには適していない可能性がある。本発明の発明者らは、光線図マトリックスから代表データのみを抽出し、そのデータを構造化された方法でファイルに格納する方法を見いだした。

【0088】

ライトフィールド光線は2D光線図のデータ線に沿ってマッピングされるので、線の値そのものではなくデータ線を確定するパラメータを格納する方が効率的である。例えば、傾斜を定めるパラメータ s および軸切片 d のようなデータラインを確定するパラメータを、そのデータラインに属する一組のライトフィールド光線とともに記憶してもよい。

【0089】

これには、例えば、傾斜パラメータ s のために2バイト、切片パラメータ d のために2バイト、次にレイのために3バイトしか必要としない可能性がある。行列セルを介してラインを設定するために、いわゆる線が最小誤差で近似するデジタルラインが生成される。

【0090】

データ線の位置を突き止め、パラメータ s および交点パラメータ d を得るために、ステップS805において、ステップS804において生成された光線図上の光線検出モジュール804によってラドン変換が実行される。

【0091】

得られた傾斜パラメータ s および切片パラメータ d から、ステップS806において、デジタルライン生成モジュール805によって代表デジタルラインが生成される。このステップでは、例えば、Bresenhamアルゴリズムを適用することによって、解析線をその最も近い格子点に近似することによって、デジタル線が生成される。事実、Bresenham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。他の方法は、高速離散ラドン変換計算を適用することができる。Bresenhamアプリケーションの一例は、次のリファレンスから受け入れたものである：<http://www.cs.helsinki.fi/group/goa/mallinnus/lines/bresenh.html>。

【0092】

デジタルフォーマットは、グリッド ($0, d$) と ($N-1, s$) の2点でデータラインを確定する。 d は、 $x_1 = 0$ のときの x_2 の値に対応する切片であり、 s は、 $x_1 = N-1$ のときの x_2 の値に対応する傾斜パラメータである。生成されたデジタルフォーマットから、個々のラインの傾斜 a が、

【0093】

10

20

30

40

【数 1 1】

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

の関数として表される。ここで、 $s \in \{0, 1, \dots, N-1\}$ 及び $d \in \{0, 1, \dots, N-1\}$ である。

【0094】

図 1 1 は、Bresenham アルゴリズムの適用によって生成されるデジタルラインの例を示す。 10

【0095】

図 1 2 は、同じ傾斜 a (または $s - d$) を有するが、異なる切片 d を有するデジタルラインのグループを示し、データラインのグループは連続している。データラインのグループは、本明細書ではラインのバンドルと呼ばれ、カメラが理想的なピンポイントではないことに起因するビームに対応する。各ラインは異なるピクセルをアドレス指定する。言い換えれば、1つのピクセルは、同じ傾きを持ち、異なる切片を持つバンドルのユニークな線にのみ属する。軸の切片 d の上下の境界はそれぞれ d_{max} と d_{min} として与えられる。

【0096】

20

サンプリングされた (2D の) 線のペアによりパラメータ化された、1つのカメラに属する光線データは、データを表すために使用される位相空間内のデジタル線 (ビーム) のファミリーに属する。ビームのヘッダは、傾き a と、軸の切片の上下の境界 $d_{max} - d_{min}$ により確定されるビームの厚さを単純に含めることができる。光線値は、ヘッダが d および s のデジタル線に沿って RGB 色として格納される。サンプリングされた空間内の光線図の空洞は保存する必要はない。光線の座標 $x_1; x_2$ は、パラメータ d, s およびデジタルラインに沿ったセルの位置から導き出すことができる。

ライトフィールドまたはカメラのジオメトリから推定されるパラメータは、傾斜 a と、デジタルライン (d_i, s_i) である。離散ラドン変換は、既に光線図 (ray diagram) 内のライトフィールドのサポート位置を測定するツールとして説明した。 30

【0097】

図 1 3 B は、図 1 3 A 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) を示す。図 1 3 C は、図 1 2 B に含まれる関心領域のズームである。デジタルラインのビームは、最大値パラメータの探索によって位置付けられる。DRT の幾何学的対称中心と画像コンテンツによる最大の実際の位置との間に、ある程度のオフセットが存在することがあり、後で、最大値ではなく対称中心をピンポイントするアルゴリズムが使用される。次に、図 1 3 C に示すビーム変換の w_{aist} は、値 (d_{min}, d_{max}) を与えることを見ることは容易である。点 ($d_{min} = 74, s = 201$) は、図 1 2 A からのデジタルラインのビームの下側エンベロープであり、点 ($d_{max} = 81, s = 208$) は、デジタルラインのビームの上側エンベロープである。 40

【0098】

方程式 B からの 2 つの直交する 2D スライス空間の方程式は、

【0099】

【数 1 2】

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

で与えられる。

【0100】

50

x_i 座標の 2 D スライスをとると、 (x_3, y_3, z_3) においてサイズ A のアパーチャを通る光線データがマップされる線のビームの方程式は、

【 0 1 0 1 】

【 数 1 3 】

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

で与えられる。

【 0 1 0 2 】

同様に、 y_i 座標に対して 2 D スライスが撮られると、

【 0 1 0 3 】

【 数 1 4 】

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

前に説明したように、 m および d_{max_x} 、 d_{min_x} 、 d_{max_y} 、 d_{min_y} の値は、離散領域で評価されて、前述のフォーマットによって定義されたライトフィールドの特性を定位することができ、4 D 離散ラドン変換を実行する必要はない。2 つの直交する 2 D DRT が得られれば、ハイパープレーンの傾き m と、4 D 光線図にすべてのデータが集中するデジタルハイパープレーンのビーム幅との測定を行うことができます。

【 0 1 0 4 】

このより単純な位置手順は、円形入射瞳 A を仮定して、 d_{max_x} 、 d_{min_x} 、 d_{max_y} 、 d_{min_y} がすべてのハイパープレーン切片を包含するように、フォーマットに書かれたいくつかの値は値を含まない。

【 0 1 0 5 】

2 D の場合に提案されたものと同様の 4 D の場合のフォーマットを得ることは興味深い。そうするため、 (x_1, x_2) 平面上にある 2 D 線を、 (y_1, y_2) で見つかった線、すなわち、対応するハイパープレーンと (x_1, x_2) と (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線とを関連付けることは興味深い。式 D および E から、対応するラインは同じ傾き m を有することが知られている。これは、カメラのある深度にある (x_1, x_2) 中の線を、 (y_1, y_2) 中の線と関連付ける第 1 のパラメータである。同じ深度に複数のカメラがある場合（すなわち、図 13 A の場合）、 (x_1, x_2) には 3 つのラインがあり、 (y_1, y_2) には 3 つのラインがあり、推定された傾き m は同じである。次に、これらの 2 つのプレーン内のライン間のラインオフセットにおける対応関係が決定される。これを行うために、式 D および E における線の定式化が利用される。特に、

【 0 1 0 6 】

【 数 1 5 】

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

とすると、オフセットは

【 0 1 0 7 】

【 数 1 6 】

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

及び

【 0 1 0 8 】

10

20

30

40

50

【数 1 7】

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

の通りである。

【0 1 0 9】

この連立方程式は k 、 x_3 及び y_3 について解くことができる。 (x_3, y_3, z_3) はカメラの座標、すなわち、言いかえると、対応する光バンドルが半径 A の円に集バンドルされるボクセルに対応することに留意されたい。 z_3 に位置する平面上のアーチャは円形であり、そのため $d_{max_x} - d_{min_x} = d_{max_y} - d_{min_y} = 2kA$ であり、上記の連立方程式を解くと

10

【0 1 1 0】

【数 1 8】

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

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

20

$$y_3 = A \frac{d_{max_y} + d_{min_y}}{d_{max_y} - d_{min_y}} \quad (I)$$

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

となる。

【0 1 1 1】

デジタルラインは前述の通り、Bresenham デジタルラインを用いて、 (x_1, x_2) 上でスキャンできる。各 (x_1, x_2) の値について、ライトフィールドにおいて取得される対応する (y_1, y_2) の値が格納される。かかる値を見いだすため、式 C を利用する。以下はすべて式 F 及び G、 x_3 ; y_3 ; z_3 ; z_1 ; z_2 から知られているか、推定される。

30

【0 1 1 2】

(x_1, x_2) の各ラインから動かして、各 (x_1^q, x_2^q) について、 (y_1, y_2) の次の関係

【0 1 1 3】

【数 1 9】

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

40

又は、

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

が得られる。

【0 1 1 4】

(x_1, x_2) の各点に対して、 (y_1, y_2) のラインの集まりが保存される。 d_{off} は (x_1^q, x_2^q) についてスキャン及び保存されたラインのオフセットに対

50

応する。留意点として、

【 0 1 1 5 】

【 数 2 0 】

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

である

図 1 2 を参照して、各四角形は (x_1^q, x_2^q) ポイントであり、これらのポイントのそれぞれについて、式

10

【 0 1 1 6 】

【 数 2 1 】

$$y_2 = my_1 + d_{off}(x_1^q, x_2^q, x_3, y_3^*) \quad (K)$$

により規定されるデジタルバンドルに沿って、図示したデータラインに垂直な、しかし 4 D 空間における、図の平面から出る一組の B r e s e n h a m デジタルラインがある。

【 0 1 1 7 】

カメラごとのデータラインのバンドルの例示的データフォーマットを表 1 に示す。

【 0 1 1 8 】

20

【表 1】

ライトスラブ方向 1			(-x,+x,-y,+y,-z,+z)からの 1 つのタグ w			
パラメータ化平面オフセット $w_2 - w_1$ (w_s は w_1 に関連) (浮動小数点数)			e			
u_1 セルの数 (整数) 単位の幅	u_1 最小値 (浮動小数点数)	u_1 最大値 (浮動小数点数)	N	U_{1min}	U_{1Max}	
u_2 セルの数 (整数) 単位の幅	u_2 最小値 (浮動小数点数)	u_2 最大値 (浮動小数点数)	M	U_{2min}	U_{2Max}	
v_1 セルの数 (整数) 単位の幅	v_1 最小値 (浮動小数点数)	v_1 最大値 (浮動小数点数)	P	V_{1min}	V_{1Max}	
v_2 セルの数 (整数) 単位の幅	v_2 最小値 (浮動小数点数)	v_2 最大値 (浮動小数点数)	Q	V_{2min}	V_{2Max}	
カメラ数 (整数)			n			
カメラ 1 のアパーチャサイズ			A_1			
カメラ 1 フォーカス (3 浮動小数)			$u3_1$	$v3_1$	$w3_1$	
(u_1, u_2) における最低カメラ 1 切片	カメラ 1 傾き	u_1, u_2 におけるカメラ 1 デジタルライン数	d_1	m_1	l^x_1	
		v_1, v_2 におけるカメラ 1 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 + 2 浮動小数点数 s)			(RGB z_p a) ₀	(RGB z_p a) ₁	...	(RGB z_p a) _n
...		
...		
カメラ n のアパーチャサイズ			A_n			
カメラ n フォーカス (3 浮動小数)			$u3_n$	$v3_n$	$w3_n$	
(u_1, u_2) における最低カメラ n 切片	カメラ n 傾き	u_1, u_2 におけるカメラ n デジタルライン数	d_n	m_n	l^x_n	
		v_1, v_2 におけるカメラ n 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 + 3 浮動小数点数 s)			(RGB z_p a) ₀	(RGB z_p a) ₁	...	(RGB z_p a) _n

10

20

30

40

$_2$ の境界と対応するそれらのサンプリングとを含む。カメラ（バンドル）の数も提供される。各カメラ j について、次のパラメータが保存される：

アパーチャサイズ： A_j 、これはピクセルビームの瞳の直径に対応する、
 カメラの焦点： cam_j ； $focusPoint = (u_3, u_3, w_3)$
 $(x_1, x_2) = d_j$ における最低 d 切片
 傾き = m_j

$(x_1, x_2) = l_j^x$ におけるデジタルライン数

$(x_1, x_2) = l_j^y$ におけるデジタルライン数

各カメラで、各 $(x_1^q; x_2^q)$ に対して、Bresenhamデジタルラインを使用して式 (K) に対して (y_1, y_2) で走査が開始され、各ライトフィールド光線の RGB 値が保存される。特に $y_3^* - A$ ないし $y_3^* + A$ および対応する d_{off} は、式 (K) に従って計算される。

【0119】

ライトフィールド光線はピクセルビームの主光線に対応するので、与えられたピクセルビームのパラメータ z_p 、 a の値は、対応するライトフィールド光線の RGB 値と並んで、表 1 に示すように格納される。これらの 2 つのパラメータは浮動小数点数として格納されるため、カメラごとのデータラインのバンドルのデータフォーマットがはるかに大きくなる。実際、表 1 において、各光線は 3 バイトを占め、パラメータ z_p 、 a はそれぞれ 4 バイトを占める。よって、パラメータ z_p 、 a は、グローバルファイルサイズに大きく影響する。

【0120】

記憶スペースの量を減らすために、これらの 2 つのパラメータ z_p 、 a は、例えば、ライトフィールドデータフォーマットモジュール 250 によって実行され、図 15A および 15B に表される以下の方法に従って符号化される。

【0121】

浮動小数点数は仮数とも呼ばれる有効桁と、指数を使用するスケールとで表され、浮動項は、仮数中で浮動できる基数またはカンマ記号からできている。

【0122】

従って、表 1 に示すように、カメラ毎のデータラインのバンドルのデータフォーマットに格納された浮動小数の数を減少させるために、開始値を基準にして数値のインクリメントを符号化することが提案される。正または負のいずれかの数の変動は、-254 から +255 まで、例えば 512 レベルで符号化される。本発明の他の実施形態では、数の変化を 256 または 128 レベルで符号化することができる。インクリメントの値は、パラメータの値および変動に応じて調整される。

【0123】

したがって、ステップ S150 において、初めの浮動小数点数が基準として使用され、これは、例えば、カメラのピクセルビームの集まりのうち第 1 のピクセルビームのパラメータ z_p の第 1 の値である。

【0124】

本発明の一実施形態では、ステップ S151 の間に、ピクセルビームの集まりにおける別のピクセルビームの z_p パラメータの第 2 の値を表す第 2 の浮動小数点数と、パラメータ z_p の第 1 の値との差分が計算される。パラメータ z_p の第 2 の値と第 1 の値とは、ライトフィールドを表すデータストリームにおける連続的な浮動小数である。この差は、テーブル 1 に、パラメータ z_p の第 2 の値の代わりに記憶される。ピクセルビームを規定するパラメータが順次的な空間的角度的な方法で (an ordered spatial angular manner) 記憶されるので、同じパラメータの 2 つの連続する値は非常に少量だけ変化する。

【0125】

ステップ S152 の間に、ピクセルビームの集まりにおける別のピクセルビームの z_p パラメータの第 3 の値を表す第 3 の浮動小数点数と、パラメータ z_p の第 2 の値との差分

が計算される。本発明の一実施形態では、パラメータ z_p の第 3 の値および第 2 の値は、ライトフィールドを表すデータストリーム内の連続する浮動小数である。すなわち、例えば同じパラメータの異なる値が、例えば、RGB、RGB、...、z、z、...、a、a、... などのデータストリームにグループ分けされる。本発明のこの実施形態では、「収縮 (deflate)」と呼ばれる方法を使用してデータを圧縮する方が簡単であり、その例は <https://en.wikipedia.org/wiki/DEFLATE> に記載されている。この差は、テーブル 1 に、パラメータ z_p の第 3 の値の代わりに記憶される。

【0126】

これらのステップ S 151、S 152 は、カメラのピクセルビームの集まりを表すパラメータ z_p の値に対して実行される。パラメータ a の値の同じステップが実行される。

10

【0127】

データストリームを同期させ、異なるパラメータの符号化された値がピクセルビームを表すことを確実にするために、ステップ S 153 において、 z_p パラメータの第 4 の値が、2 つの連続する値の間の差としてではなく、浮動小数として格納される。ステップ S 153 は、例えば 100 個の浮動小数点数ごとに実行される。

【0128】

本発明の他の実施形態では、ステップ S 250 において、初めの浮動小数点数が基準として使用され、これは、例えば、カメラのピクセルビームの集まりのうち第 1 のピクセルビームのパラメータ z_p の第 1 の値である。

20

【0129】

ステップ S 251 の間に、ピクセルビームの集まりにおける別のピクセルビームの z_p パラメータの第 2 の値を表す第 2 の浮動小数と、パラメータ z_p の第 1 の値との差分が計算される。本発明の一実施形態では、パラメータ z_p の第 2 の値および第 1 の値は、ライトフィールドを表すデータストリーム内の連続する浮動小数である。すなわち、例えば同じパラメータの異なる値が、例えば、RGB、RGB、...、z、z、...、a、a、... などのデータストリームにグループ分けされる。本発明のこの実施形態では、「収縮 (deflate)」と呼ばれる方法を使用してデータを圧縮する方が簡単であり、その例は <https://en.wikipedia.org/wiki/DEFLATE> に記載されている。この差は、テーブル 1 に、パラメータ z_p の第 2 の値の代わりに記憶される。

30

【0130】

ステップ S 252 の間に、ピクセルビームの集まりにおける別のピクセルビームの z_p パラメータの第 3 の値を表す第 3 の浮動小数と、パラメータ z_p の第 1 の値との差分が計算される。この差は、テーブル 1 に、パラメータ z_p の第 3 の値の代わりに記憶される。

【0131】

これらのステップ S 251、S 252 は、カメラのピクセルビームの集まりを表すパラメータ z_p の値に対して実行される。したがって、パラメータ z_p の各値に対して、基準値であるパラメータ z_p の第 1 の値との差が計算され、表 1 に格納される。パラメータ a の値の同じステップが実行される。

40

【0132】

データストリームを同期させ、ピクセルビームを表す異なるパラメータの符号化された値が信頼できることを確実にするために、ステップ S 253 において、 z_p パラメータの第 4 の値が、パラメータ z_p の 2 つの連続する値の間の差分としてではなく、浮動小数として格納され、パラメータ z_p の対応する値の代わりに表 1 に格納される差分を計算するための新しい基準とみなされる。ステップ S 253 は、例えば 100 個の浮動小数点数ごとに実行される。

【0133】

この方法は、連続する 2 つの浮動小数点数の変化が小さいという主張、 $F_{t+1} = F_t$

50

+ という主張に依存する。この小さな差 は 8 ビットで符号化される。本発明の他の実施形態では、差分は、4 ビット、12 ビットまたは 16 ビットで符号化することができる。これにより、デバイスおよびネットワーク帯域幅に使用されるメモリを最適化できる。

【0134】

同じ計算が、格納されたメタデータを使用する復号化ステップにおいて実行される。特に、式 (H) を用いて k を求める。従って、フォーマットはコンパクトなままである。システム内の各光線のために 4 つのインデックスを格納したり、ピクセルビームを確定するパラメータのために 2 つの浮動小数点数を格納したりする必要はなし。上のハイパープレーンのサンプリングは、4D 光線空間のサンプリングであり、従って、 $x_1; y_1; x_2; y_2$ の位置はどれもミスできないことに留意されたい。これは、すべてのデータを非常にコンパクトな形で保存するための 4D 光線空間の系統的スキャンの一例に過ぎない。もちろん、他のプロセスを適用してもよい。パラメトリック形式は、交互的空間探索を可能にするため、ハイパープレーンを探索するように適応されているようである。

【0135】

複数のカメラが、いくつかのハイパープレーンバンドル（複数のカメラなのでラドン変換にはいくつかの最大値がある）を含むデータを処理する場合、より複雑なアルゴリズムを使用することができる。前処理ステップとして、 (x_1, x_2) のラドン変換のすべてのピークについてパラメータ (m, k) を求め、1 つのセットに入れる。同じことが (y_1, y_2) のピークに対して行われ、パラメータは別のセットに入れられる。グリーディアルゴリズムの各反復では、 (x_1, x_2) の 2D ラドン変換において最大ピーク強度が見出され、以前に見つかったパラメータ (m, k) をマッチングすることによって、 (y_1, y_2) における対応するピークが見いだされる。最後のセクションで述べたようにデータを保存した後、これらのピークはラドン変換から消去され、次の反復が開始され、ライトフィールドには意味があるものが残ってなくなるまで続けられる。本発明を特定の実施形態を参照して上で説明してきたが、本発明は特定の実施形態に限定されるものではなく、本発明の範囲内にある当業者には明らかである。

【0136】

当業者は、前記の例示的な実施形態を参照すれば、さらに別の多数の修正や変更に想到するだろう。実施形態は、本発明の範囲を限定することを意図したものではなく、単に例示的なものである。本発明の範囲は、添付の請求項のみにより決まる。特に、適切であれば、異なる実施形態の異なる特徴を交換し得る。

上述の実施形態の一部又は全部は、以下の付記のように記載され得るが、以下には限定されない。

(付記 1)

光学的撮像システムのオブジェクト空間において、光学的撮像システムの瞳と、光学的撮像システムのセンサの少なくとも 1 つのピクセルの共役とを通る光線のセットにより占められ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、光線のセットにより占められるボリュームはピクセルビームと呼ばれ、方法は、

光線の集まりを取得するステップであって、集まりの各光線はピクセルビームを表し、少なくとも第 1 のパラメータがピクセルの共役を確定する、ステップと、

ピクセルビームを表す光線の、複数の基準面との交点を確定する交点データを取得するステップであって、基準面は互いに平行であり、オブジェクト空間における異なる深度に対応する、ステップと、

2 次元光線図において交点データの図式的表現を規定する光線図パラメータを取得するステップと、

光線図パラメータを、ピクセルの共役を確定する少なくとも 1 つのパラメータと関連付け、ピクセルビームを表すデータを提供するステップとを含む、

方法。

(付記 2)

ピクセルの共役を確定する第 1 のパラメータの第 1 の値と第 2 の値との差分を符号化す

るステップであって、差分は光線図パラメータに関連付けられ、ピクセルビームを表すデータを提供する、ステップをさらに含む、

付記 1 に記載の方法。

(付記 3)

ピクセルビームを表す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現され、光線図パラメータは、

データラインの傾斜、及び

データラインの、前記光線図の軸との切片

のうち少なくとも 1 つを表すデータを含む、

付記 2 に記載の方法。

(付記 4)

データラインは、ラドン変換を適用することにより、2 次元光線図において検出される、

付記 3 に記載の方法。

(付記 5)

図式的表現はデジタルデータラインを提供するセルのマトリックスとして提供され、各デジタルデータラインフォーマットは、データラインの軸との交点を表す少なくとも 1 つの第 1 のセルと、データラインの傾斜を決定する少なくとも 1 つの第 2 のセルとである複数のセルにより確定される、

付記 3 または 4 に記載の方法。

(付記 6)

各デジタルデータラインは Bresenham アルゴリズムの適用により生成される、

付記 5 に記載の方法。

(付記 7)

ピクセルビームを表すデータは、さらに、ピクセルビームを表す対応する光線の色を表す色データを含む、

付記 1 ないし 6 いずれか一項に記載の方法。

(付記 8)

ピクセルビームを表すデータはメタデータとして提供され、メタデータのヘッダは、2 次元光線図における交点データの図式的表現を確定する光線図パラメータを含み、メタデータのボディは、光線の色を表すデータと、オブジェクト空間におけるピクセルの共役の位置とサイズを確定するパラメータとを含む、

付記 7 に記載の方法。

(付記 9)

光学的撮像システムのオブジェクト空間において、光学的撮像システムの瞳と、光学的撮像システムのセンサの少なくとも 1 つのピクセルの共役とを通る光線のセットにより占められるボリュームを表すデータを生成するデバイスであって、光線のセットにより占められるボリュームはピクセルビームと呼ばれ、デバイスはプロセッサを有し、プロセッサは、

光線の集まりを取得し、集まりの各光線はピクセルビームを表し、少なくとも第 1 のパラメータがピクセルの共役を確定し、

ピクセルビームを表す光線の、複数の基準面との交点を確定する交点データを取得し、基準面は互いに平行であり、オブジェクト空間における異なる深度に対応し、

2 次元光線図において交点データの図式的表現を規定する光線図パラメータを取得し、

光線図パラメータを、ピクセルの共役を確定する少なくとも 1 つのパラメータと関連付け、ピクセルビームを表すデータを提供する、

デバイス。

(付記 10)

プロセッサは、さらに、

ピクセルの共役を確定する第 1 のパラメータの第 1 の値と第 2 の値との差分を符号化し

10

20

30

40

50

、差分は光線図パラメータに関連付けられ、ピクセルビームを表すデータを提供する、
付記 9 に記載のデバイス。

(付記 1 1)

規則的な格子構造で構成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投影された光をキャプチャするように構成されたフォトセンサ
であって、複数のピクセルのセットを有し、各ピクセルセットはマイクロレンズアレイの
それぞれのマイクロレンズに光学的に関連付けられている、フォトセンサと、

付記 9 に記載のメタデータを提供するデバイスとを有する、
ライトフィールドイメージングデバイス。

(付記 1 2)

付記 1 ないし 8 いずれか一項に記載の方法により取得されたライトフィールドデータか
ら画像をレンダリングするデバイス。

(付記 1 3)

光学的撮像システムのオブジェクト空間において、光学的撮像システムの瞳と、光学的
撮像システムのセンサの少なくとも 1 つのピクセルの共役とを通る光線のセットにより占
められるボリュームを表すデータを含むデジタルファイルであって、光線のセットにより
占められるボリュームはピクセルビームと呼ばれ、データは、

ピクセルビームを表す光線の交点データの 2 次元光線図における図式的表現を確定する
光線図パラメータであって、交点データはピクセルビームを表すライトフィールド光線の
、複数の基準面との交点を確定し、基準面は互いに平行であり、オブジェクト空間におけ
る異なる深度に対応する、光線図パラメータと、

ピクセルビームを表すライトフィールド光線の色を確定する色データと、

光学的撮像システムのオブジェクト空間におけるピクセルの共役の位置とサイズを確定
するパラメータとを含む、

デジタルファイル。

(付記 1 4)

付記 1 ないし 8 いずれか一項に記載の方法により得られた、付記 1 3 に記載のデジタル
ファイル。

(付記 1 5)

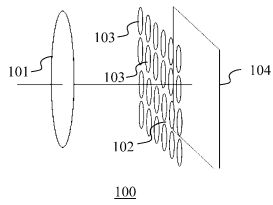
プログラマブル装置のコンピュータプログラムであって、プログラマブル装置にロード
され実行されたとき、付記 1 ないし 8 いずれか一項に記載の方法を実施する命令シーケ
ンスを含む、コンピュータプログラム。

10

20

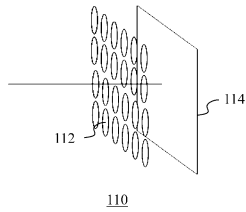
30

【図 1 A】



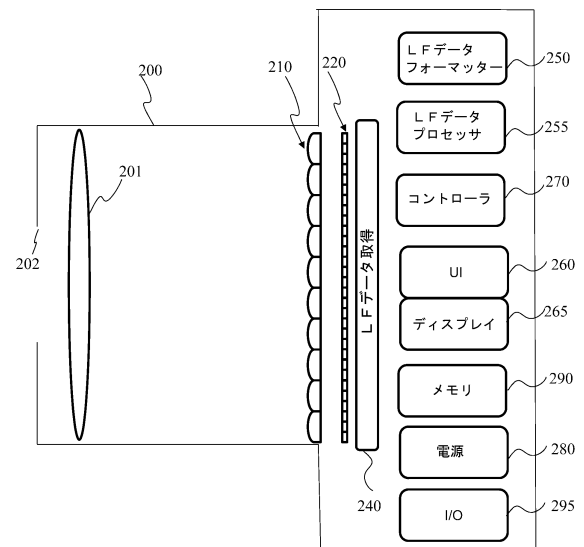
1A (先行技術)

【図 1 B】

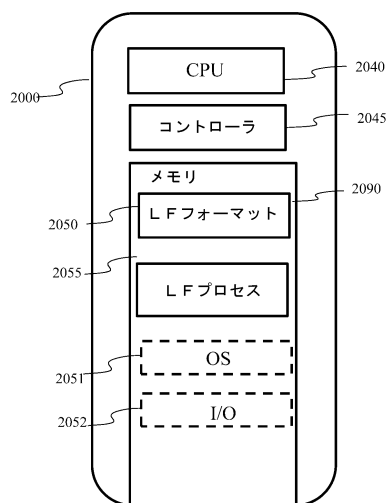


1B (先行技術)

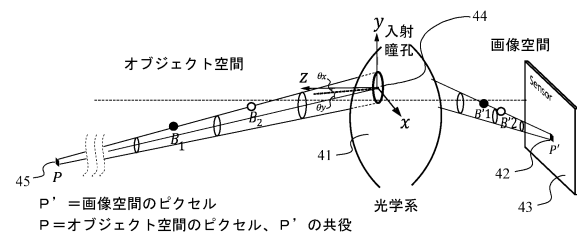
【図 2 A】



【図 2 B】



【図 4】



【図 3】

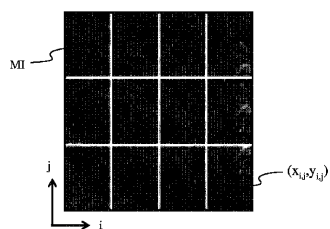


FIG. 3

【図 5】

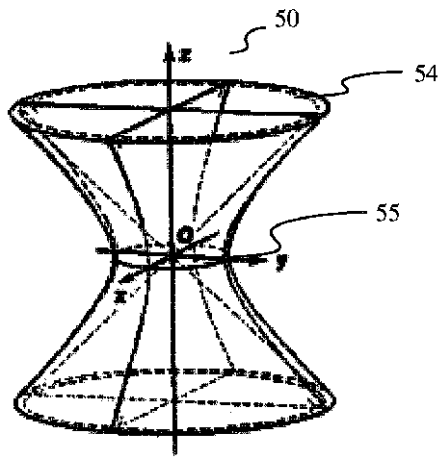


Fig. 5

【図 6 A】

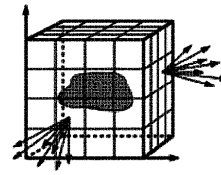


FIG. 6A

【図 6 B】

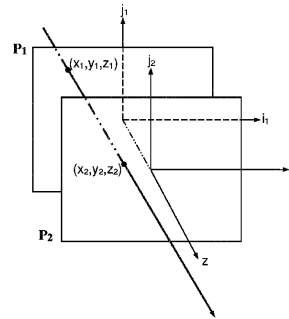
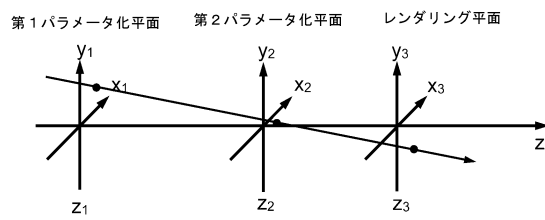
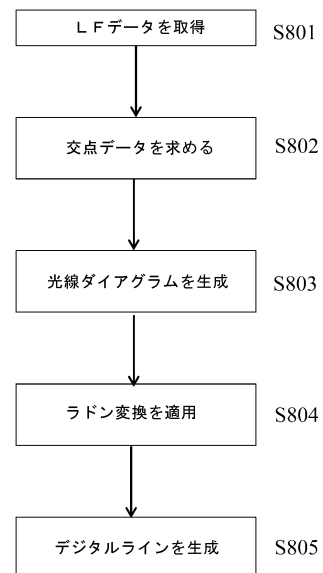


FIG. 6B

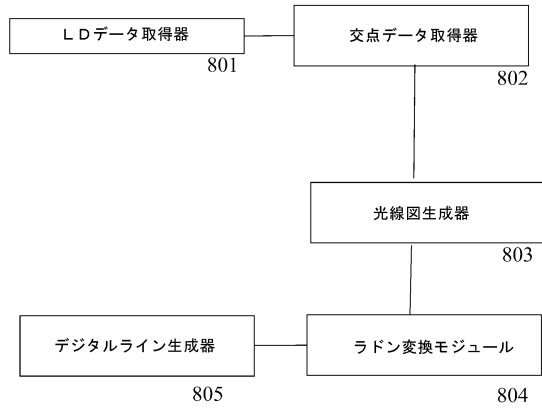
【図 7】



【図 8 A】



【図 8 B】



【図 10】

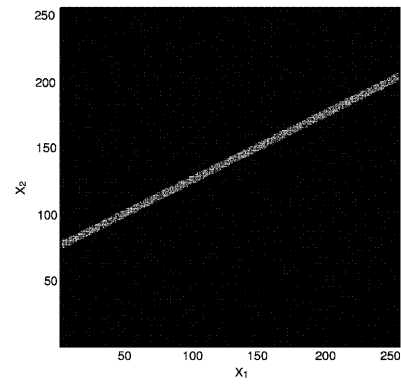


FIG. 10

【図 9】

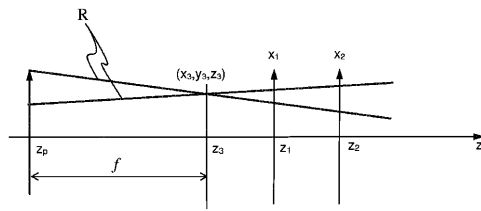


FIG. 9

【図 11】

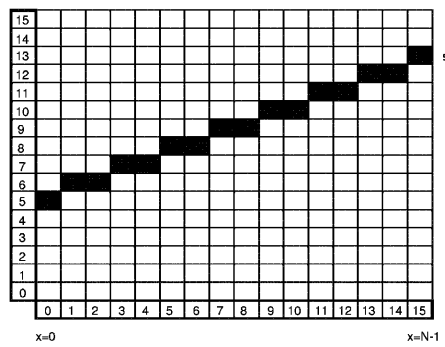


FIG. 11

【図 12】

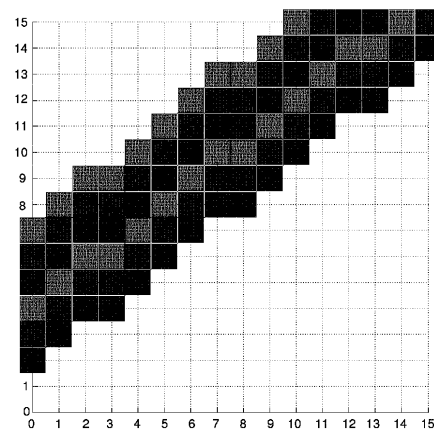
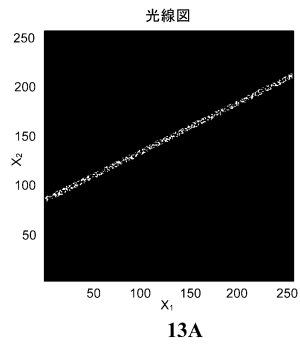
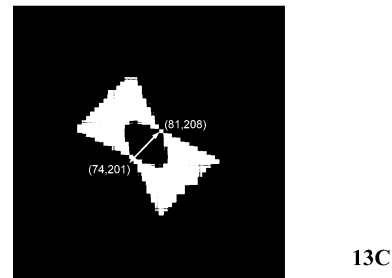


FIG. 12

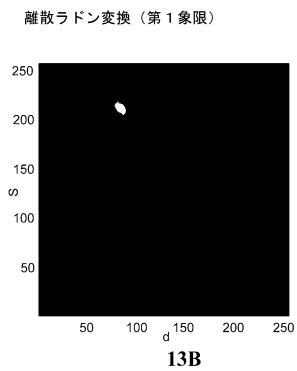
【図 13 A】



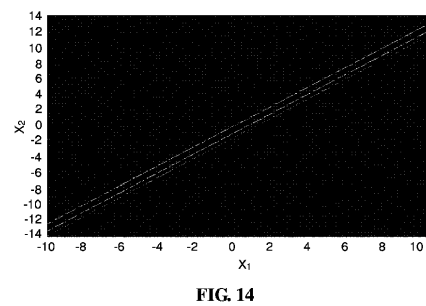
【図 13 C】



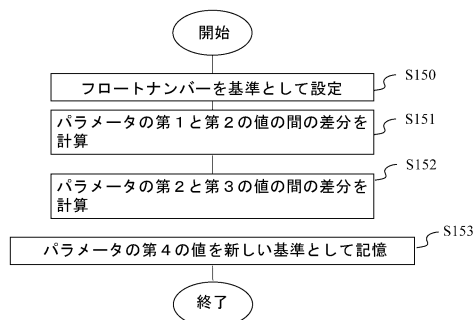
【図 13 B】



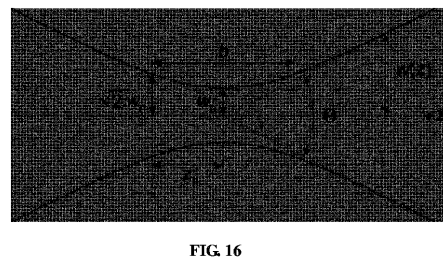
【図 14】



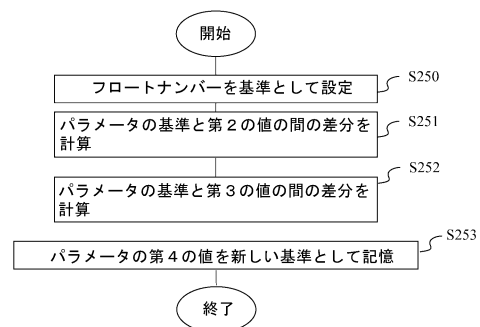
【図 15 A】



【図 16】



【図 15 B】



フロントページの続き

(74)代理人 100108213

弁理士 阿部 豊隆

(72)発明者 ドラジ, ヴァルテ

フランス国 3 5 5 7 6 セゾン セヴィニエ セーエス 1 7 6 1 6 ザック・デ・シャン・
ブラン アヴニュ・デ・シャン・ブラン 9 7 5 テクニカラー・アールアンドディー・フランス

(72)発明者 ブロンデ, ローラン

フランス国 3 5 5 7 6 セゾン セヴィニエ セーエス 1 7 6 1 6 ザック・デ・シャン・
ブラン アヴニュ・デ・シャン・ブラン 9 7 5 テクニカラー・アールアンドディー・フランス

(72)発明者 ビュルレ, オリヴィエ

フランス国 3 5 5 7 6 セゾン セヴィニエ セーエス 1 7 6 1 6 ザック・デ・シャン・
ブラン アヴニュ・デ・シャン・ブラン 9 7 5 テクニカラー・アールアンドディー・フランス

審査官 中嶋 樹理

(56)参考文献 特開 2 0 1 5 - 1 1 9 3 9 5 (J P , A)

特表 2 0 1 6 - 5 3 7 9 1 0 (J P , A)

米国特許出願公開第 2 0 1 4 / 0 3 2 8 5 3 5 (U S , A 1)

Georgiev, Todor et al., "Lytro camera technology: theory, algorithms, performance analysis", PROCEEDINGS OF SPIE, 米国, SPIE - The International Society for Optical Engineering, 2 0 1 3 年 3 月 7 日, vol. 8667, page 86671J, ISSN: 0277-786X, DOI: 10.1117/12.2013581

(58)調査した分野(Int.Cl., D B 名)

H 0 4 N 5 / 2 3 2

G 0 3 B 1 5 / 0 0

H 0 4 N 5 / 2 2 5