

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2019-511851

(P2019-511851A)

(43) 公表日 平成31年4月25日 (2019.4.25)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H04N 5/225 (2006.01)	H04N 5/225 410	2H151
G03B 15/00 (2006.01)	G03B 15/00 B	5B057
G02B 7/34 (2006.01)	G02B 7/34	5C122
H04N 5/232 (2006.01)	H04N 5/232 290	
G06T 1/00 (2006.01)	G06T 1/00 500A	
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 43 頁)		

(21) 出願番号 特願2018-534046 (P2018-534046)
 (86) (22) 出願日 平成28年12月29日 (2016.12.29)
 (85) 翻訳文提出日 平成30年8月28日 (2018.8.28)
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2016/082853
 (87) 国際公開番号 W02017/114904
 (87) 国際公開日 平成29年7月6日 (2017.7.6)
 (31) 優先権主張番号 15307174.1
 (32) 優先日 平成27年12月30日 (2015.12.30)
 (33) 優先権主張国 欧州特許庁 (EP)

(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'Ar
 re, 92130 ISSY LES
 MOULINEAUX, France
 (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

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方法及び装置

(57) 【要約】

市場には、いくつかのタイプのプレノプティック装置及びカメラアレイが利用可能な状態において存在しており、これらのライトフィールド取得装置は、いずれも、そのプロプライエタリなファイルフォーマットを有する。但し、多次元情報の取得及び送信をサポートする規格は、存在していない。前記光学取得システムのセンサのピクセルと前記光学取得システムの物体空間の間の対応性に関する情報の取得は、興味深い。実際に、前記光学取得システムのセンサに属するピクセルが光学取得システムの物体空間のいずれの部分を検知しているのかを知ることにより、信号処理動作の改善が可能となる。従って、そのような情報を保存するコンパクトな15個のフォーマットを有する、カメラの光学系の物体空間内の、光線の組によって占有される容積を表すピクセルビームの概念が導入されている。

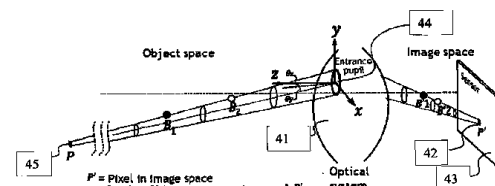


Fig. 4

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

光学取得システムの瞳孔を通過する光の光線の組と、前記光学取得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、によって占有された前記光学取得システムの物体空間内の、容積を表すデータの組を生成するコンピュータ実装された方法であって、前記容積は、ピクセルビームと呼称される前記光の光線の組によって占有されている、方法において、

一葉双曲面の回転軸である第 2 直線を中心として、第 1 生成光線と呼称される、前記ピクセルビームを表す前記双曲面の表面を記述する第 1 直線の第 1 回転角度を演算することであって、前記回転は、前記第 1 生成光線を基準直線と交差する第 2 生成光線に変換する、ことと、

前記双曲面の前記回転軸を中心として、第 3 生成光線と呼称される、前記双曲面の前記表面を記述する第 3 直線の第 2 回転角度を演算することであって、前記回転は、前記第 3 生成光線を前記基準直線と交差する第 4 生成光線に変換し、これにより、前記第 2 又は第 4 生成光線のうちの 1 つと前記双曲面の前記回転軸の間の距離を演算することと、

により、前記ピクセルビームを表すデータの組を生成することを含み、

前記データの組は、前記第 2 生成光線を表すパラメータ、前記第 4 生成光線を表すパラメータ、並びに、前記第 2 又は第 4 生成光線のうちの 1 つと前記双曲面の前記回転軸の間の前記距離を含む、方法。

【請求項 2】

前記基準直線は、前記光学取得システムのメインレンズの光軸に対して平行である請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記基準直線は、前記光学取得システムのレンズアレイの中心軸に対して平行である請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

それぞれ、前記第 1 及び前記第 2 回転角度を演算することは、

- それぞれ、前記第 1 及び前記第 3 生成光線を定義するベクトルに回転行列を乗算することにより、それぞれ、前記第 2 及び第 4 生成光線を定義するベクトルの座標を演算することと、

- それぞれ、前記第 2 及び第 4 生成光線と前記基準直線が互いに交差していることから、それぞれ、前記第 2 及び第 4 生成光線と前記基準直線の間の前記距離がゼロに等しいことに鑑み、それぞれ、前記第 2 及び第 4 生成光線及び前記基準直線を定義する地点及びベクトルに基づいて、それぞれ、前記第 1 及び第 2 回転角度の値を演算することと、

を有する請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 5】

前記第 2 及び第 4 生成光線は、前記第 1 及び第 2 回転角度が増大する順序において配列されるように、前記ピクセルビームを表す前記データの組の前記生成の前に、ソートされる請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 6】

前記第 2 又は第 4 生成光線のうちの 1 つと前記双曲面の前記回転軸の間の前記演算された距離は、前記第 2 又は第 4 生成光線のうちの 1 つと前記双曲面の前記回転軸の間の最短距離である請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 7】

光学取得システムの瞳孔を通過する光の光線の組と、前記光学取得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、によって占有された、前記光学取得システムの物体空間内の、容積を表すデータの組を生成する装置であって、前記光の光線の組によって占有された前記容積は、ピクセルビームと呼称され、前記装置は、

葉双曲面の回転軸である第 2 直線を中心として、第 1 生成光線と呼称される、前記ピクセルビームを表す前記双曲面の表面を記述する第 1 直線の第 1 回転角度を演算すること

10

20

30

40

50

であって、前記回転は、前記第 1 生成光線を基準直線と交差する第 2 生成光線に変換する、ことと、

前記双曲面の前記回転軸を中心として、第 3 生成光線と呼称される、前記双曲面の前記表面を記述する第 3 直線の第 2 回転角度を演算することであって、前記回転は、前記第 3 生成光線を前記基準直線と交差する第 4 生成光線に変換し、これにより、前記第 2 又は第 4 生成光線のうちの 1 つと前記双曲面の前記回転軸の間の距離を演算することと、

により、前記ピクセルビームを表すデータの組を生成するように構成されたプロセッサを含み、

前記データの組は、前記第 2 生成光線を表すパラメータ、前記第 4 生成光線を表すパラメータ、及び前記第 2 又は第 4 生成光線のうちの 1 つと前記双曲面の前記回転軸の間の前記距離を含む、装置。

【請求項 8】

前記プロセッサは、

それぞれ、前記第 1 及び第 3 生成光線を定義するベクトルに回転行列を乗算することにより、それぞれ、前記第 2 及び第 4 生成光線を定義するベクトルの座標を演算することと、

それぞれ、前記第 2 及び第 4 生成光線と前記基準直線が互いに交差していることから、それぞれ、前記第 2 及び第 4 生成光線と前記基準直線の間の前記距離がゼロに等しいことに鑑み、それぞれ、前記第 2 及び第 4 生成光線及び前記基準直線を定義するベクトルに基づいて、それぞれ、前記第 1 及び第 2 回転角度の値を演算することと、

により、それぞれ、前記第 1 及び第 2 回転角度を演算するように構成されている請求項 7 に記載の装置。

【請求項 9】

ライトフィールドコンテンツをレンダリングする方法であって、

一葉双曲面の回転軸と基準直線と交差する、第 1 生成光線と呼称される、前記双曲面の表面を記述する第 2 直線の間の距離を使用することにより、光学取得システムのセンサの少なくとも 1 つのピクセルが前記光学取得システムの瞳孔を通じて検知しうる光の光線の組によって占有された前記光学取得システムの物体空間内の容積を表す前記双曲面の回転軸である第 1 直線の座標を演算することであって、前記容積は、ピクセルビームと呼称される、ことと、

前記双曲面の前記回転軸の座標及び前記第 1 生成光線を表すパラメータ、並びに、前記基準直線と交差する、第 2 生成光線と呼称される、前記双曲面の表面を記述する第 3 直線のパラメータを使用することにより、前記ピクセルビームを演算することと、

前記ライトフィールドコンテンツをレンダリングすることと、
を含む方法。

【請求項 10】

ライトフィールドコンテンツをレンダリングする装置であって、

一葉双曲面の回転軸と基準直線と交差する、第 1 生成光線と呼称される、前記双曲面の表面を記述する第 2 直線の間の距離を使用することにより、光学取得システムのセンサの少なくとも 1 つのピクセルが前記光学取得システムの瞳孔を通じて検知しうる光の光線の組によって占有された前記光学取得システムの物体空間内の容積を表す前記双曲面の回転軸である第 1 直線の座標を演算し、前記容積は、ピクセルビームと呼称され、

前記双曲面の前記回転軸の座標及び前記第 1 光線を表すパラメータ、並びに、前記基準直線と交差する、第 2 生成光線と呼称される、前記双曲面の表面を記述する第 3 直線のパラメータを使用することにより、前記ピクセルビームを演算する、

ように構成されたプロセッサを含み、且つ、

前記装置は、前記ライトフィールドコンテンツをレンダリングするためのディスプレイを更に含む、装置。

【請求項 11】

ライトフィールド撮像装置であって、

10

20

30

40

50

規則的な格子構造において配列されたマイクロレンズのアレイと、

フォトセンサであって、マイクロレンズのアレイから前記フォトセンサ上において投射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り、前記フォトセンサは、ピクセルの組を有し、それぞれのピクセルの組は、前記マイクロレンズのアレイの個々のマイクロレンズと光学的に関連付けられている、フォトセンサと、

請求項 7 に記載のメタデータを提供する装置と、

を含む装置。

【請求項 1 2】

光学取得システムの瞳孔を通過する光の光線の組と、前記光学取得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、によって占有された、前記光学取得システムの物体空間内の、容積を表すデータの組を含むライトフィールドコンテンツを表す信号であって、前記容積は、ピクセルビームと呼称される前記光の光線の組によって占有されており、前記ピクセルビームを表す前記データの組は、

基準直線と交差する、第 1 生成光線と呼称される、前記ピクセルビームを表す一葉双曲面の表面を記述する第 1 直線を表すパラメータと、

前記基準直線と交差する、第 2 生成光線と呼称される、前記双曲面の表面を記述する第 2 直線を表すパラメータと、

前記双曲面の回転軸と前記第 1 又は前記第 2 生成光線のうちの 1 つの間の距離と、を含む、信号。

【請求項 1 3】

光学取得システムの瞳孔を通過する光の光線の組と、前記光学取得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、によって占有された、前記光学取得システムの物体空間内の、容積を表すデータのデータパッケージであって、前記容積は、ピクセルビームと呼称される前記光の光線の組によって占有されている、データパッケージにおいて、

基準直線と交差する、第 1 生成光線と呼称される、前記ピクセルビームを表す一葉双曲面の表面を記述する第 1 直線を表すパラメータと、

前記基準直線と交差する、第 2 生成光線と呼称される、前記双曲面の表面を記述する第 2 直線を表すパラメータと、

前記双曲面の回転軸と前記第 1 又は第 2 生成光線のうちの 1 つの間の距離と、

を含む、データパッケージ。

【請求項 1 4】

通信ネットワークからダウンロード可能である、且つ / 又は、コンピュータによって読取り可能である、且つ / 又は、プロセッサによって実行可能である、媒体上において記録されたコンピュータプログラムプロダクトであって、請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の方法を実装するプログラムコード命令を含むコンピュータプログラムプロダクト。

【請求項 1 5】

通信ネットワークからダウンロード可能である、且つ / 又は、コンピュータによって読取り可能である、且つ / 又は、プロセッサによって実行可能である、媒体上において記録されたコンピュータプログラムプロダクトであって、請求項 9 に記載の方法を実装するプログラムコード命令を含むコンピュータプログラムプロダクト。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、演算の分野に関する。更に詳しくは、本発明は、ライトフィールドデータの送信、レンダリング、処理のために使用できる表現フォーマットに関する。

【背景技術】

【0002】

ライトフィールドは、それぞれの可能な方向に沿って三次元 (3D) 空間のそれぞれの地点を通過する光の量を表している。これは、時間、波長、位置、及び方向の関数として

10

20

30

40

50

輝度を表す7つの変数の関数によってモデル化される。コンピュータグラフィクスにおいては、ライトフィールドのサポートは、4次元(4D)指向のライン空間に低減されている。

【0003】

4Dライトフィールドのサンプリング、即ち、光線の記録、と見なされうる、4Dライトフィールドデータの取得は、“Understanding camera trade-offs through a Bayesian analysis of light field projections” by Anat Levin and al., published in the conference proceedings of ECCV 2008という論文において説明されており、これは、活発に研究されている主題である。

【0004】

従来のカメラから取得される従来の2次元又は2D画像との比較において、4Dライトフィールドデータの場合には、ユーザーは、画像のレンダリング及びユーザーとの間の対話性を改善する相対的に多くの事後処理特徴に対してアクセスすることができる。例えば、4Dライトフィールドデータによれば、焦点面の位置を後から規定/選択しうることを意味する、自由に選択された合焦の距離による画像の再合焦のみならず、画像のシーンにおける視点のわずかな変更をも実行することができる。4Dライトフィールドデータを取得するべく、いくつかの技法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、4Dライトフィールドデータを取得することができる。図1Aには、プレノプティックカメラのアーキテクチャの詳細が提供されている。図1Aは、プレノプティックカメラ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次元アレイとして配置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、画像センサ104と、を含む。

【0005】

4Dライトフィールドデータを取得するための別の方法は、図1Bに描かれているように、カメラアレイを使用するというものである。図1B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、画像センサ114と、を含む。

【0006】

図1Aに示されているプレノプティックカメラ100の例においては、メインレンズ101は、メインレンズ101の物体野内の物体(図には示されていない)から光を受け取り、且つ、この光がメインレンズ101の像野を通過するようにしている。

【0007】

最後に、4Dライトフィールドを取得する別の方法は、異なる焦点面において同一のシーンの2D画像のシーケンスをキャプチャするように構成された従来のカメラを使用するというものである。例えば、“Light ray field capture using focal plane sweeping and its optical reconstruction using 3D displays” by J.-H. Park et al., published in OPTICS EXPRESS, Vol. 22, No. 21, in October 2014という文献において記述されている技法は、従来のカメラによって4Dライトフィールドデータの取得を実現するべく使用することができる。

【0008】

4Dライトフィールドデータを表すためのいくつかの方法が存在している。実際に、“Digital Light Field Photography” by Ren Ng, published in July 2006という名称の博士号論文の第3.3章には、4Dライトフィールドデータを表すための3つの異なる方法について記述されている。第1に、4D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る際には、マイクロレンズ画像の集合体によって表すことができる。この表現における4Dライトフィールドデータは、未加工の画像又は未加工の4Dライトフィールドデータと呼称される。第2に、4D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又はカメラアレイによって記録される際には、サブアパーチャ画像の組によって表すことができる。サブアパーチャ画像は、視点からのシーンのキャプチャされた画像に対応しており、視点は、2つのサブアパーチャ画像の間においてわずかに

異なっている。これらのサブアパーチャ画像は、撮像されたシーンの視差及び深さに関するデータを付与している。第3に、4Dライトフィールドデータは、エピソード画像の組によって表すことが可能であり、例えば、“Generating EPI Representation of a 4D Light Fields with a Single Lens Focused Plenoptic Camera”, by S. Wanner and al., published in the conference proceedings of ISVC 2011という名称の論文を参照されたい。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

ライトフィールドデータは、最大で、数テラバイト(TB)にも及ぶ、大量のストレージ空間を占有する可能性があり、この結果、保存が厄介になりうると共に処理の効率が低下しうる。これに加えて、ライトフィールド取得装置は、極めて多様である。ライトフィールドカメラは、例えば、プレノプティック又はカメラアレイなどのように、様々なタイプを有する。それぞれのタイプごとに、異なる光学構成又は異なる焦点距離のマイクロレンズなどの、多くの相違点が存在しており、且つ、特に、それぞれのカメラは、その独自のプロプライエタリなファイルフォーマットを有している。現在、ライトフィールドが依存している異なるパラメータのすべてを網羅した通覧のための多次元情報の取得及び送信をサポートする規格は、存在していない。従って、取得されたライトフィールドデータは、異なるカメラごとに多様なフォーマットを有する。本発明は、上述の内容に留意して案出されたものである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の第1の態様によれば、光学取得システムのセンサの少なくとも1つのピクセルが前記光学取得システムの瞳孔を通じて検知しうる光の光線の組によって占有された前記光学取得システムの物体空間内の容積を表すデータの組を生成するコンピュータ実装された方法が提供され、前記容積は、ピクセルビームと称され、方法は、

一葉双曲面の回転軸である第2直線を中心として、第1生成光線と称される、ピクセルビームを表す双曲面の表面を記述する第1直線の第1回転角度を演算することであって、前記回転は、第1生成光線を基準直線と交差する第2生成光線に変換する、ことと、

- 双曲面の回転軸を中心として、第3生成光線と称される、双曲面の表面を記述する第3直線の第2回転角度を演算することであって、前記回転は、第3生成光線を基準直線と交差する第4生成光線に変換する、ことと、

- 第2又は第4生成光線のうちの1つと双曲面の回転軸の間の距離を演算することと、

- 第2生成光線を表すパラメータ、第4生成光線を表すパラメータ、並びに、第2又は第4生成光線のうちの1つと双曲面の回転軸の間の距離を含むピクセルビームを表すデータの組を生成することと、

を含む。

【0011】

ピクセルビームは、光学取得システムの光学系を通じて伝播する際に光学取得システムのセンサの所与のピクセルに到達する光の光線のペンシルとして定義される。ピクセルビームは、一葉双曲面によって表される。一葉双曲面は、光の光線のペンシルの概念をサポートする線織面であり、且つ、物理的な光ビームの「etendue」の概念と合致している。

【0012】

「etendue」は、光が面積及び角度においてどれだけ「広がっているか」を特徴付ける光学系における光のプロパティである。

【0013】

供給源の観点においては、「etendue」は、供給源の面積と、供給源から観察された際に光学系の入射瞳孔が範囲を画定する立体角と、の積である。等価な方式により、光学系の観点においては、「etendue」は、入射瞳孔の面積と、瞳孔から観察された際に供給源が範囲を画定する立体角と、を乗算したものに等しい。

【0014】

「etendue」の顕著な特徴の1つは、なんらの光学系においても、決して減少しないという点にある。「etendue」は、ラグランジュの不変量及び光学的不変量と関係付けられており、これらの不変量は、理想的な光学系において一定であるというプロパティを共有している。光学系の輝度は、「etendue」との関係において放射束の導関数に等しい。

【0015】

ピクセルビームを使用して4Dライトフィールドデータを表すことが有利であり、その理由は、ピクセルビームは、それ自体で、「etendue」に関係する情報を伝達しているからである。

【0016】

4Dライトフィールドデータは、大量のストレージ空間を占有しうるピクセルビームの集合体によって表される場合があり、その理由は、ピクセルビームは、6～10個のパラメータによって表されうるからである。本発明の発明者らによって開発された4Dライトフィールドデータ用のコンパクトな表現フォーマットは、光線に基づいたブレノブティック機能の表現に依存している。このコンパクトな表現フォーマットは、光線が非ランダムな方式によってソートされることを必要としている。実際に、光線は、ラインに沿ってマッピングされることから、コンパクト性の観点においては、所与のラインに属する光線の集合体と共に、前記所与のラインのパラメータを、即ち、関係するスロープ及びインターセプトを、ラインごとに、順番に保存することが効率的である。

【0017】

ピクセルビームは、ピクセルビームを表す双曲面の表面について記述している、生成光線と呼称される、2つの光線によって表すことができる。生成光線は、光学取得システムのマイクロレンズを通過している間に強力な逸脱を経験する場合があります、且つ、従って、相対的に大きなアパーチャ角度において光学取得システムのメインレンズに衝突しうる。従って、歪のような収差が生成光線の集合体を妨げることになり、その結果、コンパクトな表現フォーマットの使用の効率が低下しうる。

【0018】

本発明の一実施形態による方法は、コンパクトな表現フォーマットの使用の効率を改善するべく、位置及び向きランダム性を低減するために、ピクセルビームの集合体のピクセルビームを定義する生成光線のペアをソートすることを有する。

【0019】

更には、本発明の一実施形態による方法は、ピクセルビームを表すパラメータのうちの1つが黙示的なものとなり、これにより、前記ピクセルビームを表すデータセットの次元を1次元だけ低減することを可能にすることにより、コンパクトな表現フォーマットのコンパクト性に寄与するような方式により、ピクセルビームの集合体のピクセルビームを定義する生成光線のペアを制約している。

【0020】

本発明の別の態様によれば、基準直線は、光学取得システムのメインレンズの光軸に対して平行である。

【0021】

メインレンズの光軸に対して平行な基準直線を選択することは、興味深いことであり、その理由は、メインレンズの光軸が光学取得システムの対称軸であるからである。

【0022】

本発明の別の態様によれば、基準直線は、光学取得システムのレンズアレイの中心軸に対して平行である。

【0023】

レンズアレイの光軸に対して平行な基準直線を選択することは、興味深いことであり、その理由は、レンズアレイの光軸が光学取得システムの対称軸であるからである。

【0024】

本発明の別の態様によれば、それぞれ、第1及び第2回転角度を演算することは、

10

20

30

40

50

- それぞれ、第 1 及び第 3 生成光線を定義するベクトルに回転行列を乗算することにより、それぞれ、第 2 及び第 4 生成光線を定義するベクトルの座標を演算することと、
- それぞれ、前記第 2 及び第 4 生成光線と前記基準直線が互いに交差していることから、それぞれ、第 2 及び第 4 生成光線と基準直線の間の距離がゼロに等しいことに鑑み、それぞれ、前記第 2 及び第 4 生成光線及び前記基準直線を定義する地点及びベクトルに基づいて、それぞれ、第 1 及び第 2 回転角度の値を演算することと、
を有する。

【0025】

本発明の別の態様によれば、第 2 及び第 4 生成光線は、第 1 及び第 2 回転角度が増大する順序において配列されるように、ピクセルビームを表すデータの組の生成の前に、ソートされている。

10

【0026】

第 2 及び第 4 生成光線は、再構築対象であるピクセルビームを表すデータの組の演算に關与する外積ベクトルの方向を制約することにより、増大する順序における回転角度によって、テレビ受像機、スマートフォン、タブレット、パーソナルコンピュータ、ラップトップなどのような、レンダリング装置によるピクセルビームの再構築が相対的に容易なものとなるように、配列されている。

【0027】

本発明の別の態様によれば、第 2 又は第 4 生成光線のうちの 1 つと双曲面の回転軸の間の演算距離は、第 2 又は第 4 生成光線のうちの 1 つと双曲面の回転軸の間の最短距離である。

20

【0028】

第 2 又は第 4 生成光線のうちの 1 つと双曲面の回転軸の間の最短距離は、ピクセルビームのウエストに、即ち、ピクセルビームを表す双曲面の最小セクションに、対応している。

【0029】

本発明の第 2 の態様によれば、光学取得システムのセンサの少なくとも 1 つのピクセルが前記光学取得システムの瞳孔を通じて検知しうる光の光線の組によって占有された前記光学取得システムの物体空間内の容積を表すデータの組を生成する装置が提供され、前記容積は、ピクセルビームと呼称され、前記装置は、

30

- 一葉双曲面の回転軸である第 2 直線を中心として、第 1 生成光線と呼称される、ピクセルビームを表す双曲面の表面を記述する第 1 直線の第 1 回転角度を演算し、前記回転は、第 1 生成光線を基準直線と交差する第 2 生成光線に変換し、

- 双曲面の回転軸を中心として、第 3 生成光線と呼称される、双曲面の表面を記述する第 3 直線の第 2 回転角度を演算し、前記回転は、第 3 生成光線を基準直線と交差する第 4 生成光線に変換し、

- 第 2 又は第 4 生成光線のうちの 1 つと双曲面の回転軸の間の距離を演算し、

- 第 2 生成光線を表すパラメータ、第 4 生成光線を表すパラメータは、並びに、第 2 又は第 4 生成光線のうちの 1 つと双曲面の回転軸の間の距離を含むピクセルビームを表すデータの組を生成する、

40

ように構成されたプロセッサを含む。

【0030】

このような装置は、ブレノプティックカメラ、或いは、スマートフォン、ラップトップ、パーソナルコンピュータ、タブレットなどのような、任意のその他の装置などの光学取得システム内において埋め込まれてもよい。

【0031】

本発明の別の態様によれば、プロセッサは、

- それぞれ、第 1 及び第 3 生成光線を定義するベクトルに回転行列を乗算することにより、それぞれ、第 2 及び第 4 生成光線を定義するベクトルの座標を演算し、

- それぞれ、前記第 2 及び第 4 生成光線と前記基準直線が互いに交差していることから

50

、それぞれ、第 2 及び第 4 生成光線と基準直線の間の距離がゼロに等しいことに鑑み、それぞれ、前記第 2 及び第 4 生成光線及び前記基準直線を定義するベクトルに基づいて、それぞれ、第 1 及び第 2 回転角度を演算する、

ことにより、それぞれ、第 1 及び第 2 回転角度を演算するように構成されている。

【0032】

本発明の第 3 の態様によれば、ライトフィールドコンテンツをレンダリングする方法が提供され、方法は、

- 一葉双曲面の回転軸と基準直線と交差する、第 1 生成光線と呼称される、双曲面の表面を記述する第 2 直線の間の距離を使用することにより、光学取得システムのセンサの少なくとも 1 つのピクセルが前記光学取得システムの瞳孔を通じて検知しうる光の光線の組によって占有された前記光学取得システムの物体空間内の容積を表す前記双曲面の回転軸である第 1 直線の座標を演算することであって、前記容積は、ピクセルビームと呼称される、ことと、

- 双曲面の回転軸の座標及び第 1 生成光線を表すパラメータ、並びに、基準直線と交差する、第 2 生成光線と呼称される、双曲面の表面を記述する第 3 直線のパラメータを使用することにより、ピクセルビームを演算することと、

- 前記ライトフィールドコンテンツをレンダリングすることと、を含む。

【0033】

本発明の第 4 の態様によれば、ライトフィールドコンテンツをレンダリングする装置が提供され、装置は、

- 一葉双曲面の回転軸と基準直線と交差する、第 1 生成光線と呼称される、双曲面の表面を記述する第 2 直線の間の距離を使用することにより、光学取得システムのセンサの少なくとも 1 つのピクセルが前記光学取得システムの瞳孔を通じて検知しうる光の光線の組によって占有された前記光学取得システムの物体空間内の容積を表す前記双曲面の回転軸である第 1 直線の座標を演算し、前記容積は、ピクセルビームと呼称され、

- 双曲面の回転軸の座標及び第 1 生成光線を表すパラメータ、並びに、基準直線と交差する、第 2 生成光線と呼称される、双曲面の表面を記述する第 3 直線のパラメータを使用することにより、ピクセルビームを演算する、

ように構成されたプロセッサを含み、且つ、

前記装置は、前記ライトフィールドコンテンツをレンダリングするディスプレイを更に含む。

【0034】

このようなライトフィールドコンテンツをレンダリングする能力を有する装置は、テレビ受像機、スマートフォン、ラップトップ、パーソナルコンピュータ、タブレットなどであってもよい。

【0035】

本発明の第 5 実施形態によれば、ライトフィールド撮像装置が提供され、装置は、

- 規則的な格子構造において配列されたマイクロレンズのアレイと、

- マイクロレンズのアレイからフォトセンサ上において投射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、フォトセンサは、ピクセルの組を含み、それぞれのピクセルの組は、マイクロレンズのアレイの個々のマイクロレンズと光学的に関連付けられている、フォトセンサと、

- 本発明の第 2 の態様による装置に従ってメタデータを提供する装置と、を含む。

【0036】

このようなライトフィールド撮像装置は、例えば、ブレノブティックカメラである。

【0037】

本発明の第 6 の態様によれば、光学取得システムのセンサの少なくとも 1 つのピクセルが前記光学取得システムの瞳孔を通じて検知しうる光の光線の組によって占有された前記

10

20

30

40

50

光学取得システムの物体空間内の容積を表すデータの組を含むライトフィールドコンテンツを表す信号が提供され、前記容積は、ピクセルビームと呼称され、ピクセルビームを表すデータの組は、

- 基準直線と交差する、第 1 生成光線と呼称される、ピクセルビームを表す一葉双曲面の表面を記述する第 1 直線を表すパラメータと、
- 基準直線と交差する、第 2 生成光線と呼称される、双曲面の表面を記述する第 2 直線を表すパラメータと、
- 双曲面の回転軸と第 1 又は第 2 生成光線のうちの 1 つの間の距離と、を含む。

【0038】

10

本発明の要素によって実装されるいくつかのプロセスは、コンピュータ実装することができる。従って、このような要素は、全体的にハードウェア実施形態の、全体的にソフトウェア実施形態（ファームウェア、レジデントソフトウェア、マイクロコードなどを含む）の、或いは、そのすべてが、「回路」、「モジュール」、又は「システム」と本明細書において一般的に呼称されうる、ソフトウェア及びハードウェア態様を組み合わせた実施形態の、形態を有することができる。更には、このような要素は、媒体内において実施さ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体媒体内において実施されたコンピュータプログラムプロダクトの形態を有することができる。

【0039】

20

本発明の要素は、ソフトウェアにおいて実装されうることから、本発明は、任意の適切な担持体媒体上におけるプログラム可能な装置に対する提供の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。有体の担持体媒体は、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、又は半導体メモリ装置、並びに、これらに類似したものなどの、ストレージ媒体を含むことができる。一時的な担持体媒体は、電気信号、電子信号、光信号、音響信号、磁気信号、或いは、例えば、マイクロ波又はRF信号などの電磁信号などの信号を含むことができる。

【0040】

以下、一例としてのみ、且つ、以下の図面を参照し、本発明の実施形態について説明することとする。

【図面の簡単な説明】

30

【0041】

【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及びライトフィールドデータプロセッサの機能図である。

【図3】フォトセンサアレイ上において形成された未加工のライトフィールド画像の一例である。

【図4】カメラ又は光学取得システムの光学系の物体空間内の、光線の組によって占有された容積を表す。

40

【図5】一葉双曲面を表す。

【図6A】本発明の 1 つ又は複数の実施形態によるピクセルビームの生成光線をソートする装置のモジュールを示す機能ブロックダイアグラムである。

【図6B】本発明の 1 つ又は複数の実施形態によるピクセルビームの生成光線をソートする方法のステップを示すフローチャートである。

【図7A】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用の基準平面的の使用法をグラフィカルに示す。

【図7B】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用の基準平面的の使用法をグラフィカルに示す。

【図8】本発明の実施形態による基準平面との関係におけるライトフィールド光線の

50

表現を概略的に示す。

【図 9 A】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示すフローチャートである。

【図 9 B】本発明の 1 つ又は複数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装置のモジュールを示す機能ブロックダイアグラムである。

【図 10】本発明の実施形態によるライトフィールド光線の表現用のパラメータを概略的に示す。

【図 11】本発明の実施形態による交差点データをグラフィカルに示す 2 D 光線図である。

【図 12】本発明の実施形態に従って生成されたデジタルラインをグラフィカルに示す。

【図 13】本発明の実施形態に従って生成されたデジタルラインをグラフィカルに示す。

【図 14 A】本発明の実施形態によるデジタルラインに適用されたラドン変換をグラフィカルに示す。

【図 14 B】本発明の実施形態によるデジタルラインに適用されたラドン変換をグラフィカルに示す。

【図 14 C】本発明の実施形態によるデジタルラインに適用されたラドン変換をグラフィカルに示す。

【図 15】本発明の実施形態による複数のカメラにおける交差点データをグラフィカルに示す 2 D 光線図である。

【発明を実施するための形態】

【0042】

当業者には理解されるように、本原理の態様は、システム、方法、又はコンピュータ可読媒体として実施することができる。従って、本原理の態様は、全体的にハードウェア実施形態の、全体的にソフトウェア実施形態（ファームウェア、レジデントソフトウェア、マイクロコードなどを含む）の、或いは、そのすべてが、「回路」、「モジュール」、又は「システム」と本明細書において一般的に呼称されうる、ソフトウェア及びハードウェア態様を組み合わせた実施形態の、形態を有することができる。更には、本原理の態様は、コンピュータ可読ストレージ媒体の形態を有することもできる。1 つ又は複数のコンピュータ可読ストレージ媒体の任意の組合せを利用することができる。

【0043】

本発明の実施形態は、フォーマット変換、再合焦、視点変更、及び 3 D 画像生成などの更なる処理用途用のライトフィールドデータのフォーマットを提供している。

【0044】

図 2 A 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ダイアグラムである。

【0045】

ライトフィールドカメラは、図 1 A のライトフィールドカメラに従って、アパーチャ / シャッタ 202 と、メイン（対物）レンズ 201 と、マイクロレンズアレイ 210 と、フォトセンサアレイ 220 と、を含む。いくつかの実施形態においては、ライトフィールドカメラは、主題又はシーンのライトフィールド画像をキャプチャするべく起動されるシャッタリリースを含む。これらの機能的な特徴は、図 1 B のライトフィールドカメラにも適用されうることを理解されたい。

【0046】

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のために、且つ / 又は、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、L F データ取得モジュール 240 によって取得されたライトフィールド画像データを提供している。ライトフィールドデータは、取得の後に、且つ、処理の後に、メモリ 290 内において、本発明の実施形態に従って、未加工データフォーマットにおいて、サブアパーチャ画像又は焦点スタックとして、或いは、ライトフィールドデータフォーマットにおいて、保存することができる。

【 0 0 4 7 】

図示の例においては、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 1 5 0 及びライトフィールドプロセッサ 2 5 5 は、ライトフィールドカメラ 2 0 0 内において配設されているか又はこの内部に統合されている。本発明のその他の実施形態においては、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 2 5 0 及び / 又はライトフィールドデータプロセッサ 2 5 5 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内において提供することができる。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装置との関係において、ローカル状態又はリモート状態にあってもよい。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 2 5 0 又はライトフィールドデータプロセッサ 2 5 5 に送信するべく、任意の適切な有線又は無線プロトコルが使用されてもよく、例えば、ライトフィールドデータプロセッサは、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（登録商標）通信プロトコル、及び / 又は任意のその他の適切な手段を介して、キャプチャさ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転送することができることを理解されたい。

10

【 0 0 4 8 】

ライトフィールドフォーマッティングモジュール 2 5 0 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ティングモジュール 2 5 0 は、ソフトウェア、ハードウェア、又はこれらの組合せにおいて実装することができる。

【 0 0 4 9 】

ライトフィールドデータプロセッサ 2 5 5 は、本発明の実施形態に従って、例えば、焦点スタック又は視野の行列を生成するべく、L F データ取得モジュール 2 4 0 から直接的に受け取った未加工のライトフィールド画像データに対して動作するように構成されている。例えば、キャプチャされたシーンのスチール画像、2 D ビデオストリーム、及びこれらに類似したもの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、又はこれらの組合せにおいて実装することができる。

20

【 0 0 5 0 】

また、少なくとも 1 つの実施形態においては、ライトフィールドカメラ 2 0 0 は、コントローラ 2 7 0 によってカメラ 1 0 0 の動作を制御するべくユーザーがユーザー入力を提供できるようにするためのユーザーインターフェイス 2 6 0 を含むこともできる。カメラの制御は、シャッタ速度などのカメラの光学パラメータの制御、或いは、調節可能なライトフィールドカメラのケースにおいては、マイクロレンズアレイとフォトセンサの間の相対距離又は対物レンズとマイクロレンズアレイの間の相対距離の制御のうちの 1 つ又は複数を含むことができる。いくつかの実施形態においては、ライトフィールドカメラの光学要素の間における相対距離は、相互に調節することができる。また、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、又はライトフィールド処理パラメータの制御を含むこともできる。ユーザーインターフェイス 2 6 0 は、タッチスクリーン、ボタン、キーボード、ポインティング装置、及び / 又はこれらに類似したものなどの、1 つ又は複数の任意の適切なユーザー入力装置を含むことができる。この結果、ユーザーインターフェイスによって受け取られた入力は、データフォーマッティングを制御するために L F データフォーマッティングモジュール 2 5 0 を制御及び / 又は構成するべく、取得されたライトフィールドデータの処理を制御するために L F データプロセッサ 2 5 5 を制御及び / 又は構成するべく、且つ、ライトフィールドカメラ 2 0 0 を制御するためにコントローラ 2 7 0 を制御及び / 又は構成するべく、使用することができる。

30

40

【 0 0 5 1 】

ライトフィールドカメラは、1 つ又は複数の置換可能な又は充電可能な電池などの電源 2 8 0 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及び / 又はレンダリングされた最終画像、或いは、本発明の実施形態の方法を実装するため

50

のソフトウェアなどのその他のデータを保存するべく、メモリ 290 を含む。メモリは、外部及び / 又は内部メモリを含むことができる。少なくとも 1 つの実施形態においては、メモリは、カメラ 200 とは別個の装置及び / 又は場所において提供することができる。一実施形態においては、メモリは、メモリスティックなどの着脱自在 / スワップ可能なストレージ装置を含む。

【0052】

また、ライトフィールドカメラは、キャプチャする前に、カメラの正面のシーンを観察するための、且つ / 又は、予めキャプチャ及び / 又はレンダリングされた画像を観察するための、表示ユニット 265 (例えば、LCD 画面) を含むこともできる。また、画面 265 は、1 つ又は複数のメニュー又はその他の情報をユーザーに対して表示するべく、使用することもできる。ライトフィールドカメラは、FireWire 又はユニバーサルシリアルバス (USB: Universal Serial Bus) インターフェイスなどの 1 つ又は複数の I/O インターフェイス 295、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 通信プロトコル、及び / 又は任意のその他の適切な手段を介したデータ通信の有線又は無線通信インターフェイスを更にも含むこともできる。I/O インターフェイス 295 は、レンダリング用途において、コンピュータシステム又は表示ユニットなどの外部装置との間における、本発明の実施形態に従って 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を表すデータ及び未加工のライトフィールドデータなどのライトフィールドデータ、或いは、LF データプロセッサ 255 によって処理されたデータなどのデータの転送のために使用することができる。

10

20

【0053】

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 及びライトフィールドデータプロセッサ 253 の潜在的な実装形態の特定の一実施形態を示すブロックダイアグラムである。

【0054】

回路 2000 は、メモリ 2090 と、メモリコントローラ 2045 と、1 つ又は複数の処理ユニット (1 つ又は複数の CPU) を含む処理回路 2040 と、を含む。1 つ又は複数の処理ユニット 2040 は、ライトフィールドデータのフォーマッティング及びライトフィールドデータの処理を含む様々な機能を実行するべく、メモリ 2090 内において保存されている様々なソフトウェアプログラム及び / 又は命令の組を実行するように構成されている。メモリ内において保存されているソフトウェアコンポーネントは、本発明の実施形態に従って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 (又は、命令の組) 2050 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ライトフィールドデータ処理モジュール (又は、命令の組) 2055 と、を含む。一般的なシステムタスク (例えば、電源管理やメモリ管理) を制御するための、且つ、装置 2000 の様々なハードウェア及びソフトウェアコンポーネントの間の通信を促進するための、オペレーティングシステムモジュール 2051、並びに、I/O インターフェイスポートを介したその他の装置との間の通信を制御及び管理するためのインターフェイスモジュール 2052、などの、ライトフィールドカメラ装置の用途のために、その他のモジュールがメモリ内において含まれていてもよい。

30

40

【0055】

図 3 は、図 2A のフォトセンサアレイ 220 上において形成された 2D 画像の一例を示している。しばしば、4D ライトフィールドを表す未加工画像と呼称される、2D 画像は、マイクロ画像 MI のアレイから構成されており、それぞれのマイクロ画像は、マイクロレンズアレイ 210 の個々のマイクロレンズ (i, j) によって生成されている。マイクロ画像は、軸 i 及び j によって定義された矩形の格子構造において、アレイとして配列されている。マイクロレンズ画像は、個々のマイクロレンズ座標 (i, j) によって参照することができる。フォトセンサ 220 のピクセル PI は、その空間座標 (x, y) によって参照することができる。所与のピクセルと関連付けられた 4D ライトフィールドデータは、(x, y, i, j) として参照することができる。

50

【0056】

4Dライトフィールド画像を表す（又は、定義する）方法には、いくつかのものが存在している。例えば、4Dライトフィールド画像は、図3を参照して上述したように、マイクロレンズ画像の集合体によって表現することができる。また、4D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際には、サブアパーチャ画像の組によって表すこともできる。それぞれのサブアパーチャ画像は、それぞれのマイクロレンズ画像から選択された同一場所のピクセルから構成されている。更には、4Dライトフィールド画像は、エピポーラ画像の組によって表すこともできるが、これは、ピクセルビームのケースには該当しない。

【0057】

本発明の実施形態は、ピクセルビームの概念に基づいたライトフィールドデータの表現を提供している。この結果、フォーマット及びライトフィールド装置の多様性を考慮することができる。実際に、光線に基づいたフォーマットの欠点の1つは、ピクセルフォーマット及びサイズを反映するように、光線を表すパラメータを演算するべく使用されるパラメータ化プレーンをサンプリングしなければならないという点にある。即ち、有意な物理的情報を回復するように、サンプリングをその他のデータに沿って定義する必要がある。

【0058】

図4に示されているように、ピクセルビーム40は、カメラの光学系41の物体空間内の光線の組によって占有された容積を表している。光線の組は、前記光学系41の瞳孔44を通じて、カメラのセンサ43のピクセル42によって検知されている。光線とは逆に、ピクセルビーム40は、自由にサンプリングされてもよく、その理由は、これらが、それ自体において、物理的な光線のセクションに跨るエネルギーの保存に対応する「etendue」を伝達しているからである。

【0059】

光学系の瞳孔は、前記光学系の一部、即ち、開口絞りに先行するカメラのレンズ、を通じて観察される前記開口絞りの像として定義される。開口絞りは、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、カメラレンズ内に配置された調節可能なダイアフラムが、レンズ用の開口絞りである。ダイアフラムを通過することが認められる光の量は、カメラのユーザーが認めることを所望する光の量、またはフィールドの深さに応じて適合されうるダイアフラム開口の直径によって制御されている。例えば、開口を小さくすれば、ダイアフラムを通過することが認められる光の量が低減され、しかし、フィールドの深さが増大する。絞りの見かけのサイズは、レンズの屈折動作に起因して、その物理的なサイズを上回ってもよく、或いは、下回ってもよい。形式的には、瞳孔は、カメラの光学システムを通じた開口絞りの像である。

【0060】

ピクセルビーム40は、入射瞳孔44を介して光学系41を通じて伝播する際に所与のピクセル42に到達する光線の光束として定義される。光が自由空間内において直線上を進行するのに伴って、このようなピクセルビーム40の形状は、ピクセル42の共役45である1つのものと、入射瞳孔44であるもう1つのものという、2つのセクションによって定義することができる。ピクセル42は、その非ヌル表面及びその感度マップによって定義される。

【0061】

従って、ピクセルビームは、カメラの物体空間内の瞳孔54及びピクセル42の共役55という、2つの要素によってサポートされた、図5に示されている、一葉双曲面50によって表すことができる。

【0062】

一葉双曲面は、光線の光束の概念をサポートしうる線織面であり、且つ、物理的な光ビームの「etendue」の概念との適合性を有する。

【0063】

一葉双曲面は、線織面であることから、双曲面の、主光線と呼称される、回転軸を中心

10

20

30

40

50

として回転する、生成光線と呼称される、直線の少なくとも1つのファミリーが、このような表面を表現している。双曲面の生成ラインのファミリーに属する主光線及び任意の生成光線を定義するパラメータの知識は、ピクセルビーム40、50を定義するのに十分なものである。

【0064】

ピクセルビーム40、50を表す一般的な式は、次式のとおりであり、

【数1】

$$\frac{(x-x_0-z.\tan\theta_x)^2}{a^2} + \frac{(y-y_0-z.\tan\theta_y)^2}{b^2} - \frac{(z-z_0)^2}{c^2} = 1(1)$$

10

ここで、 (x_0, y_0, z_0) は、 (x, y, z) 座標系内のピクセルビームのウエストの中心の座標であり、 a 、 b 、 c は、それぞれ、 O_x 、 O_y 、 O_z に沿った半軸の長さに一致しており、且つ、 θ_x 、 θ_y は、瞳孔44の中心の入口との関係における主光線方向を定義している。これらは、センサ43上のピクセル42位置と、光学系41の光学要素とに、依存している。更に正確には、パラメータ θ_x 、 θ_y は、瞳孔44の中心からのピクセル42の共役45の方向を定義するせん断角度を表している。但し、このようなピクセルビーム40、50の表現は、大量のストレージ空間を占有することになり、その理由は、光線を保存するための従来のファイルフォーマットが、3D空間内の位置及び方向を保存することを有しているからである。ピクセルビームの表現を保存するべく必要とされるストレージ空間の量を低減するための解決策については、図9Bを参照して後述する。

20

【0065】

本質的に、主光線は、滑らかにカメラのマイクロレンズアレイのマイクロレンズの中心を通過するように振る舞うことになる一方において、生成光線は、マイクロレンズの境界上において相対的に強力な逸脱を経験する。この生成光線の妨害により、図9Bを参照して説明されている方法を実行することが困難になり、その理由は、前記方法が、光線の順序付けられた集合体と共に稼働しているからである。これを目的として、本発明の発明者らは、このような生成光線のソートされた集合体を図9Bによる方法に対して供給するべく、カメラのピクセルビームの集合体の生成光線をソートする方法を提案している。

30

【0066】

図6Aは、本発明の1つ又は複数の実施形態によるカメラのピクセルビームの集合体の生成光線をソートする装置の主要なモジュールを概略的に示すブロックダイアグラムである。

【0067】

装置600は、バス606によって接続されたプロセッサ601、ストレージユニット602、入力装置603、表示装置604、及びインターフェイスユニット605を含む。当然のことながら、コンピュータ装置600の構成要素は、バス接続以外の接続によって接続することもできる。

【0068】

40

プロセッサ601は、装置600の動作を制御している。ストレージユニット602は、プロセッサ601によって実行される、カメラのピクセルビームの集合体の生成光線をソートできる少なくとも1つのプログラムと、光学取得システムの光学系210に関するパラメータ、プロセッサ601によって実行される演算によって使用されるパラメータ、プロセッサ601によって実行される演算の中間データなどを含む、様々なデータと、を保存している。プロセッサ601は、任意の既知の、且つ、適切な、ハードウェア、又はソフトウェア、或いは、ハードウェア及びソフトウェアの組合せによって形成することができる。例えば、プロセッサ601は、処理回路などの専用のハードウェアにより、或いは、そのメモリ内において保存されたプログラムを実行するCPU (Central Processing Unit) などのプログラム可能な処理ユニットにより、形成することができる。

50

【 0 0 6 9 】

ストレージユニット 6 0 2 は、任意の適切なストレージにより、或いは、プログラム、データ、又はこれらに類似したものをコンピュータ可読方式によって保存する能力を有する手段により、形成することができる。ストレージユニット 6 0 2 の例は、半導体メモリ装置などの一時的ではないコンピュータ可読ストレージ媒体と、読み取り及び書き込みユニット内に装填される磁氣的、光学的、又は磁気光学的記録媒体と、を含む。プログラムは、プロセッサ 6 0 1 が、光学系の物体空間内の、光線の組によって占有された容積を表すパラメータを演算すると共に、図 9 B を参照して後述する本開示の一実施形態に従って光学取得システムによってキャプチャされた画像によってこれらのパラメータをエンコードするためのプロセスを実行するようにしている。

10

【 0 0 7 0 】

入力装置 6 0 3 は、光学系の物体空間内の、光線の組によって占有された容積のパラメトリック表現を生成するために使用されるパラメータのユーザーの選択を実施するためのコマンドを入力するべく、ユーザーによって使用される、キーボード、マウスなどのポインティング装置、或いは、これらに類似したものによって形成することができる。出力装置 6 0 4 は、例えば、本開示の一実施形態に従って生成される画像である、グラフィカルユーザーインターフェイス (GUI: Graphical User Interface) を表示するべく、表示装置によって形成することができる。入力装置 6 0 3 及び出力装置 6 0 4 は、例えば、タッチスクリーンパネルにより、一体的に形成されてもよい。

20

【 0 0 7 1 】

インターフェイスユニット 6 0 5 は、装置 6 0 0 と外部装置の間のインターフェイスを提供している。インターフェイスユニット 6 0 5 は、ケーブル又は無線通信を介して外部装置と通信自在であってもよい。一実施形態においては、外部装置は、カメラ、またはそのようなカメラを内蔵したモバイル電話のようなポータブル機器、またはタブレットであってもよい。

【 0 0 7 2 】

図 6 B は、本発明の 1 つ又は複数の実施形態によるカメラのピクセルビームの集合体の生成光線をソートする方法のステップを示すフローチャートである。

【 0 0 7 3 】

ピクセルビームの集合体を表すすべての生成光線が基準直線と交差している際には、この知識を使用することにより、ピクセルビームの集合体のピクセルビームを表すデータの次元を 1 つだけ低減することができる。本発明の一実施形態によるピクセルビームの集合体の生成光線をソートする方法は、このプロパティに依存している。

30

【 0 0 7 4 】

プレノプティック機能の 2 平行プレーンパラメータ化の例において、ピクセルビームを表す双曲面の基準直線及び生成光線が、それぞれのプレーン内の 2 つの座標によって表されるものと定義しよう。

【 数 2 】

$$\begin{aligned} (\Delta: (x_{\Delta 1}, y_{\Delta 1}, x_{\Delta 2}, y_{\Delta 2})) &= (M_{\Delta 1}, M_{\Delta 2}) \\ (\rho: (x_1, y_1, x_2, y_2)) &= (M_1, M_2) \end{aligned}$$

40

【 0 0 7 5 】

及び は、互いに交差していることから、第 1 プレーン $x_1 O_1 y_1$ 及び第 2 プレーン $x_2 O_2 y_2$ 内の基準直線及び第 1 プレーン $x_1 O_1 y_1$ 及び第 2 プレーン $x_2 O_2 y_2$ 内の生成光線をそれぞれ定義する 4 つの地点 M_1 、 M_2 、 M_1 、 M_2 は、パラメータ k が、

【 数 3 】

$$\overrightarrow{M_{\Delta 2} M_2} = k \cdot \overrightarrow{M_{\Delta 1} M_1}$$

50

として定義されうるように、2つの平行なプレーン $x_1 O_1 y_1$ 及び $x_2 O_2 y_2$ と交差する同一のプレーン内に配置されている。その結果、基準直線の座標 (x_1, y_1, x_2, y_2) を知ることにより、トリプレット (x_1, y_1, k) により、と交差する任意の生成光線を定義することができる。従って、次元が4から3に低減される。

【0076】

同一の次元の低減に伴い、その他のパラメータ化を想定することもできる。

【0077】

例えば、基準直線を知ることにより、トリプレット (x_1, y_1, z_{I_1}) により、生成光線 (M_1, I) を定義することが可能であり、この場合に、 I は、基準直線と生成光線の間の交差点であり、且つ、 z_{I_1} は、 Oz に沿った I の座標である。

10

【0078】

予備ステップS601において、カメラを校正することにより、或いは、リモートサーバー内において、又はカメラのメモリ290又はカメラに接続されたフラッシュディスクなどのローカルストレージ上において、保存されたデータファイルから、このようなパラメータを取得することにより、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定義するパラメータ (x_0, y_0, z_0) 、 a 、 b 、 c 、及び x 、 y が取得されている。この取得又は校正は、装置600のプロセッサ601によって実行することができる。

20

【0079】

パラメータ (x_0, y_0, z_0) 、 a 、 b 、 c 、及び x 、 y の値の演算は、例えば、カメラの光学系を通じた光線の伝播をモデル化する能力を有するプログラムを実行することにより、実現される。このようなプログラムは、例えば、Zemax（著作権）、ASAP（著作権）、又はCodeV（著作権）などの光学設計プログラムである。光学設計プログラムは、光学系を設計及び分析するべく使用される。光学設計プログラムは、光学系を通じた光線の伝播をモデル化し、且つ、単純なレンズ、非球面レンズ、屈折率分布型レンズ、ミラー、及び回折光学要素などのような光学要素の効果をモデル化することができる。光学設計プログラムは、装置600のプロセッサ601によって実行することができる。

30

【0080】

プロセッサ601によって実行されるステップS602において、ピクセルビームの主光線のせん断が除去されている。主光線のせん断の除去は、次式の記述を有し、

【数4】

$$\begin{cases} \bar{x} = x - z \cdot \tan \theta_x \\ \bar{y} = y - z \cdot \tan \theta_y \end{cases}$$

これは、以下のように、その主光線が Oz 軸に平行である一葉双曲面を付与し、

【数5】

$$\frac{(\bar{x} - x_0)^2}{a^2} + \frac{(\bar{y} - y_0)^2}{b^2} - \frac{(z - z_0)^2}{c^2} = 1 \quad (2)$$

40

ここで

【数6】

$$(\bar{x}, \bar{y}, z)$$

は、双曲面の表面に属するポイントの座標であり、且つ、 (x_0, y_0, z_0) は、検討対象のピクセルビームのウエストの中心の座標である。

50

【 0 0 8 1 】

ステップ S 6 0 3 において、プロセッサ 6 0 1 は、座標 (x_0, y_0, z_0) のポイント上の双曲面のセンタリングを演算し、且つ、次いで、双曲面の正規化を演算しており、その結果、次式が得られる。

【 数 7 】

$$\begin{cases} X = \frac{(\bar{x} - x_0)}{a} \\ Y = \frac{(\bar{y} - y_0)}{b} \\ Z = \frac{(z - z_0)}{c} \end{cases} \quad (3)$$

10

【 0 0 8 2 】

この結果、式 (1) は、次式として読み替えられる。

$$X^2 + Y^2 - Z^2 = 1 \quad (4)$$

【 0 0 8 3 】

ピクセルビームのせん断除去と、その後のセンタリング及び正規化は、 (x, y, z) 座標を (X, Y, Z) 座標に変換する関数

【 数 8 】

$$T = \begin{cases} X = \frac{(x - z \cdot \tan \theta_x - x_0)}{a} \\ Y = \frac{(y - z \cdot \tan \theta_y - y_0)}{b} \\ Z = \frac{(z - z_0)}{c} \end{cases}$$

20

の使用に戻る。

【 0 0 8 4 】

双曲面の中心軸は、O z 軸であることから、この軸に属する2つのポイントは、 (X, Y, Z) 座標系において、座標 $(0, 0, 0)$ 及び $(0, 0, 1)$ という組を有する。オリジナルの座標系 (x, y, z) において変換して戻された、双曲面のこの中心軸は、ピクセルビームの主光線 c である。

【 0 0 8 5 】

式 (4) によって定義された双曲面は、

・生成光線の第1のファミリーは、例えば、 $Y = 1$ などの、任意の

30

【 数 9 】

$$\zeta \in \mathbb{R}^*$$

について、座標の第1ポイント $(1, 0, 0)$ 及び座標の第2ポイント $(1, \zeta, 0)$ を結合する直線のO z 軸を中心とした回転によって付与され、且つ、

・生成光線の第2ファミリーは、任意の

【 数 1 0 】

$$\zeta \in \mathbb{R}^*$$

40

について、座標のポイント $(1, 0, 0)$ 及び座標の第3ポイント $(1, -\zeta, 0)$ を結合する直線のO z 軸を中心とした回転によって付与される、

という生成光線の2つのファミリーを有する。

【 0 0 8 6 】

オリジナルの座標系において変換して戻された、これらの生成光線のうちの任意のものをピクセルビームの生成光線である g_0 として選択することができる。

【 0 0 8 7 】

本発明の一実施形態による方法の以下の説明においては、 (X, Y, Z) 座標系において、

50

その座標が $(1, 0, 0)$ である G_0 と、その座標が $(1, 1, 1)$ である I_0 と、という2つのポイントが、 (XYZ) 座標系における初期生成光線 G_0 を定義している。

【0088】

ステップS604において、プロセッサ601は、先程定義された関数Tをカメラの物体空間内の基準直線に対して適用している。本発明の一実施形態においては、基準直線は、カメラのメインレンズの光軸である。本発明の別の実施形態においては、基準直線は、カメラのレンズアレイの中心軸であり、第3実施形態においては、基準直線は、カメラのメインレンズの光軸との間において

【数11】

$$\frac{\pi}{4}$$

10

以下の角度を形成する方向を有するラインである。

【0089】

基準直線は、 (x, y, z) 座標系における座標の2つのポイント $P_0(x_0, y_0, z_0)$ 及び $P_1(x_1, y_1, z_1)$ によって定義されている。

【0090】

関数Tを P_0 及び P_1 の座標に適用することにより、 (XYZ) 座標系において、次式が得られる。

【数12】

$$\begin{cases} P_{\Delta 0}(X_{\Delta 0}, Y_{\Delta 0}, Z_{\Delta 0}) = T((x_{\Delta 0}, y_{\Delta 0}, z_{\Delta 0})) \\ P_{\Delta 1}(X_{\Delta 1}, Y_{\Delta 1}, Z_{\Delta 1}) = T((x_{\Delta 1}, y_{\Delta 1}, z_{\Delta 1})) \end{cases}$$

20

【0091】

ピクセルビームの主光線 c は、 (XYZ) 座標系における Oz 軸であることから、主光線 c を中心とした角度 φ の回転は、次式の回転行列によって付与される。

【数13】

$$R_{\varphi} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

30

【0092】

$G_0(G_0, I_0)$ を、主光線 c を中心とした角度 φ の回転による生成光線 $G_0(G_0, I_0)$ の画像と命名することにより、ポイントの座標 G 及び I は、次式によって付与される。

【数14】

$$G_{\varphi} = R_{\varphi} G_0 = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi \\ \sin \varphi \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$I_{\varphi} = R_{\varphi} I_0 = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi - \sin \varphi \\ \sin \varphi + \cos \varphi \\ 1 \end{bmatrix}$$

40

【0093】

ステップS605において、プロセッサ601は、変換済みの生成光線と呼称される、生成光線 G_0 の2つの画像光線 G_a 及び G_b の演算を可能にする2つの別個の回転角度 α 及び β の値を演算している。生成光線 G_0 の2つの画像光線、即ち、光線 G_a 及び G_b は、それぞれ、主光線 c を中心とした角度 α 及び β の回転によって得られる。

【0094】

50

回転角度 の値は、所与の生成光線 G が基準直線 と交差した際に、即ち、基準直線 と生成光線 G の間の距離が 0 に等しい際に、得られる。

【 0 0 9 5 】

次式

【 数 1 5 】

$$\begin{cases} \vec{x} = \vec{x}_1 + (\vec{x}_2 - \vec{x}_1) \cdot s \\ \vec{y} = \vec{x}_3 + (\vec{x}_4 - \vec{x}_3) \cdot t \end{cases}$$

を有する 2 つの傾斜ラインの間の距離は、(Gellert et al. 1989, p. 538) により、付与される。 10

【 数 1 6 】

$$D = \frac{|(\vec{x}_3 - \vec{x}_1) \cdot [(\vec{x}_2 - \vec{x}_1) \times (\vec{x}_4 - \vec{x}_3)]|}{|(\vec{x}_2 - \vec{x}_1) \times (\vec{x}_4 - \vec{x}_3)|}$$

【 0 0 9 6 】

これは、

【 数 1 7 】

$$\begin{cases} \vec{a} = \vec{x}_2 - \vec{x}_1 \\ \vec{b} = \vec{x}_4 - \vec{x}_3 \\ \vec{c} = \vec{x}_3 - \vec{x}_1 \end{cases}$$

20

を定義することにより、以下のように、簡潔な形態において記述することができる。

【 数 1 8 】

$$D = \frac{|\vec{c} \cdot (\vec{a} \times \vec{b})|}{|\vec{a} \times \vec{b}|}$$

【 0 0 9 7 】

現時点のケースにおいては、

30

【 数 1 9 】

$$\begin{cases} \vec{x} = \vec{x}_1 + (\vec{x}_2 - \vec{x}_1) \cdot s \\ \vec{x} = \vec{x}_3 + (\vec{x}_4 - \vec{x}_3) \cdot t \end{cases}$$

の場合に、 $x_1 = P_0$ であり、且つ、 $x_2 = P_1$ であり、且つ、 $x_3 = G$ であり、且つ、 $x_4 = I$ である。

【 0 0 9 8 】

2 つの直線の間の距離がゼロに等しい場合には、次式の演算に戻る。

【 数 2 0 】

40

$$D = 0 \Leftrightarrow \vec{c} \cdot (\vec{a} \times \vec{b}) = 0 \Leftrightarrow \det(\vec{a} \ \vec{b} \ \vec{c}) = 0 \Leftrightarrow \begin{vmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{vmatrix} = 0$$

【 0 0 9 9 】

基準直線 及び生成光線 G のケースにおいては、次式のとおりである。

【数 2 1】

$$\begin{cases} \vec{a} = \vec{x}_2 - \vec{x}_1 = \overrightarrow{P_{\Delta 0} P_{\Delta 1}} = [X_{\Delta 1} - X_{\Delta 0} & Y_{\Delta 1} - Y_{\Delta 0} & Z_{\Delta 1} - Z_{\Delta 0}]^T \\ \vec{b} = \vec{x}_4 - \vec{x}_3 = \overrightarrow{G_{\varphi} I_{\varphi}} = [-\sin \varphi & \cos \varphi & 1]^T \\ \vec{c} = \vec{x}_3 - \vec{x}_1 = \overrightarrow{P_{\Delta 0} G_{\varphi}} = [\cos \varphi - X_{\Delta 0} & \sin \varphi - Y_{\Delta 0} & -Z_{\Delta 0}]^T \end{cases}$$

$$D = 0 \Leftrightarrow \begin{vmatrix} X_{\Delta 1} - X_{\Delta 0} & Y_{\Delta 1} - Y_{\Delta 0} & Z_{\Delta 1} - Z_{\Delta 0} \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 1 \\ \cos \varphi - X_{\Delta 0} & \sin \varphi - Y_{\Delta 0} & -Z_{\Delta 0} \end{vmatrix} = 0$$

$$\Leftrightarrow \begin{vmatrix} dX_{\Delta} & dY_{\Delta} & dZ_{\Delta} \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 1 \\ \cos \varphi - X_{\Delta 0} & \sin \varphi - Y_{\Delta 0} & -Z_{\Delta 0} \end{vmatrix} = 0$$

10

$$\begin{vmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{vmatrix} = a_1 b_2 c_3 - a_1 b_3 c_2 - a_2 b_1 c_3 + a_2 b_3 c_1 + a_3 b_1 c_2 - a_3 b_2 c_1$$

$$D = -Z_{\Delta 0} \cdot \cos \varphi \cdot dX_{\Delta} - (\sin \varphi - Y_{\Delta 0}) \cdot dX_{\Delta} - Z_{\Delta 0} \cdot \sin \varphi \cdot dY_{\Delta} + (\cos \varphi - X_{\Delta 0}) \cdot dY_{\Delta}$$

$$- (\sin \varphi - Y_{\Delta 0}) \cdot \sin \varphi \cdot dZ_{\Delta} - (\cos \varphi - X_{\Delta 0}) \cdot \cos \varphi \cdot dZ_{\Delta}$$

$$D = \cos \varphi \cdot (dY_{\Delta} - Z_{\Delta 0} \cdot dX_{\Delta} + X_{\Delta 0} \cdot dZ_{\Delta}) - \sin \varphi \cdot (dX_{\Delta} + Z_{\Delta 0} \cdot dY_{\Delta} + Y_{\Delta 0} \cdot dZ_{\Delta})$$

$$+ Y_{\Delta 0} \cdot dX_{\Delta} - X_{\Delta 0} \cdot dY_{\Delta} - \sin^2 \varphi \cdot dZ_{\Delta} - \cos^2 \varphi \cdot dZ_{\Delta}$$

$$D = \cos \varphi \cdot (-Z_{\Delta 0} \cdot dX_{\Delta} + dY_{\Delta} + X_{\Delta 0} \cdot dZ_{\Delta}) - \sin \varphi \cdot (dX_{\Delta} + Z_{\Delta 0} \cdot dY_{\Delta} + Y_{\Delta 0} \cdot dZ_{\Delta})$$

$$+ (Y_{\Delta 0} \cdot dX_{\Delta} - X_{\Delta 0} \cdot dY_{\Delta} - dZ_{\Delta})$$

20

【0 1 0 0】

A、B、及びCが、次式のとおりである場合に、 $D = A \cdot \cos + B \cdot \sin - C$ と記述される。

【数 2 2】

$$\begin{cases} A = (-Z_{\Delta 0} \cdot dX_{\Delta} + dY_{\Delta} + X_{\Delta 0} \cdot dZ_{\Delta}) \\ B = -(dX_{\Delta} + Z_{\Delta 0} \cdot dY_{\Delta} + Y_{\Delta 0} \cdot dZ_{\Delta}) \\ C = -(Y_{\Delta 0} \cdot dX_{\Delta} - X_{\Delta 0} \cdot dY_{\Delta} - dZ_{\Delta}) \end{cases}$$

30

【0 1 0 1】

次式により、 $D = 0$ を付与する における2つの解を見出すことができる。

【数 2 3】

$$A + B \cdot \tan \varphi = \frac{C}{\cos \varphi} \Leftrightarrow (A + B \cdot \tan \varphi)^2 = \frac{C^2}{\cos^2 \varphi}$$

$$\Leftrightarrow A^2 + 2 \cdot A \cdot B \cdot \tan \varphi + B^2 \cdot \tan^2 \varphi = C^2 (1 + \tan^2 \varphi)$$

$$\Leftrightarrow (B^2 - C^2) \cdot \tan^2 \varphi + 2 \cdot A \cdot B \cdot \tan \varphi + (A^2 - C^2) = 0$$

【0 1 0 2】

40

$$\text{弁別式: } = 4 \cdot A^2 \cdot B^2 - 4 \cdot (B^2 - C^2) \cdot (A^2 - C^2) = 4 \cdot (A^2 + B^2 - C^2) \cdot C^2$$

【0 1 0 3】

これは、次式のような2つの解をもたらす。

【数 2 4】

$$\tan \varphi^{\pm} = \frac{-2 \cdot A \cdot B \pm \sqrt{\Delta}}{2 \cdot (B^2 - C^2)} = \frac{-A \cdot B \pm C \cdot \sqrt{A^2 + B^2 - C^2}}{B^2 - C^2}$$

【0 1 0 4】

従って、2つの角度 $^+$ 及び $^-$ が、基準直線と交差するものとして、所与の生成光線 $_G$ について識別される。

50

【 0 1 0 5 】

同一の双曲面について生成光線の2つのファミリーが存在していることから、ピクセルビームを生成する4つの異なる光線が、生成光線の2つのファミリーのそれぞれごとに2つずつ、基準直線と交差している。1つの生成光線が、基準直線と交差している4つの生成光線のうちから選択される。次いで、選択された生成光線は、ステップS606において、オリジナルの座標系において変換して戻される。

【 0 1 0 6 】

従って、本発明の一実施形態においては、2つ光線 G_a 及び G_b は、ピクセルビームを生成する4つの異なる光線のうちから選択されている。

【 0 1 0 7 】

この方法は、カメラの異なるピクセルビームに対して実行される。即ち、光線の2つの集合体を取得され、第1の光線の集合体は、カメラのピクセルビームの第1の変換済みの生成光線 G_a を含み、且つ、第2の光線の集合体は、第2の変換済みの生成光線 G_b を含む。

【 0 1 0 8 】

ステップS607において、変換済みの生成光線 G_a 及び G_b は、 $0 < \theta_a < \theta_b$ となるように、必要に応じて、生成光線の集合体内において再順序付けされている。

【 0 1 0 9 】

ステップS608において、画像光線 G_a 又は G_b のうちの1つと主光線 C の間の最短距離 d が演算されている。この最短距離 d は、ピクセルビームを表す双曲面のウエストに対応しており、且つ、本発明の一実施形態による方法のステップS605を参照して上述したように、(Gellert et al. 1989, p. 538)によって付与されている方法に従って演算される。

【 0 1 1 0 】

次いで、ピクセルビームを表すためのコンパクトなフォーマットを提供するべく、本発明による方法のステップS601～S608に従って演算された、ピクセルビームを表す、3つのパラメータ (G_a , G_b , d) が、図9Bを参照して後述する方法において使用される。

【 0 1 1 1 】

トリプレット (G_a , G_b , d) を知ることにより、ピクセルビームを再構築することができる。画像光線 G_a 及び G_b は、生成光線の同一のファミリーに属していることから、これら2つのラインは、決して交差することがなく、且つ、相対的に短い距離に位置する2つ地点は、ピクセルビームの相対的に小さな半径の円上に、即ち、そのウエスト上に、位置している。

【 0 1 1 2 】

2つの地点である M_{G_a} 及び M_{G_b} が、その他のラインから相対的に短い距離に位置しており、且つ、空間内のベクトルである

【 数 2 5 】

$$\vec{v}_{ab} = \overrightarrow{M_{Ga}M_{Gb}}$$

が、これら2つの地点を結合しているものと定義しよう。文献から、

【 数 2 6 】

$$\vec{v}_{ab} = k_{ab} \cdot (\vec{u}_a \times \vec{u}_b)$$

であることが知られており、この場合に、 k_{ab} は、定数であり、

10

20

30

40

【数 2 7】

$$\vec{u}_a \text{ 及び } \vec{u}_b$$

は、 \vec{G}_a 及び \vec{G}_b の単位ベクトルであり、且つ、 \times は、外積である。

【0 1 1 3】

同様に、 M_{Ga} と M_{Gb} の間の中間地点である M_{ab} を定義しよう。対称性を理由として、主光線 c は、光線ファミリーを生成するピクセルビームの回転軸であることから、

1) c は、

【数 2 8】

$$\vec{v}_{ab}$$

10

に対して垂直である M_{ab} を通じたプレーン 上において位置し、

2) c は、

【数 2 9】

$$\vec{v}_{ab2} = \frac{\vec{u}_a + \vec{u}_b}{2}$$

に対して平行であるその単位ベクトルを有し、これにより、ピクセルビームのウエストの中心である M_c がノルムと命名され、且つ、ベクトルである

20

【数 3 0】

$$\vec{v}_{c\perp} = \overrightarrow{M_{ab}M_c}$$

の向きが演算される。

【0 1 1 4】

【数 3 1】

$$\vec{v}_{c\perp}$$

30

は、プレーン 内に位置しており、且つ、対称性の理由から、

【数 3 2】

$$\vec{v}_{ab2}$$

に対して垂直であることを知ることにより、

【数 3 3】

$$\vec{v}_{c\perp} = k_{c\perp} \cdot (\vec{v}_{ab2} \times \vec{v}_{ab}) = k_{c\perp} \cdot \left(\frac{\vec{u}_a + \vec{u}_b}{2} \times (\vec{u}_a \times \vec{u}_b) \right)$$

40

と表現することが可能であり、この場合に、 k_c は、ウエスト半径 d に応じて判定される定数である。 k_c は、正又は負であってもよく、これにより、

【数 3 4】

$$\overrightarrow{M_{Ga}M_{Gb}}$$

ベクトルの一側部又は他側部においてウエスト円を定義している。

【0 1 1 5】

但し、画像光線 G_a 及び G_b が $+z$ に向かって方向付けられており（この場合

50

には、単位ベクトルの z 座標は、正である）、且つ、これらは、 $0 < z_b - z_a < 1$ となるように順序付けられている、という条件が、 k_c が正として定義されるように、外積ベクトルの向きを制約している。

【 0 1 1 6 】

3) k_c 値は、

【 数 3 5 】

$$\|\vec{M_c M_{Ga}}\| = d$$

(且つ、同時に、対称性の理由から、

【 数 3 6 】

$$\|\vec{M_c M_{Gb}}\| = d$$

) となるように調節されている。

【 0 1 1 7 】

条件 1、2、及び 3 は、ピクセルビームの再構築を可能にするトリプレット (z_a, z_b, d) から主光線 c を定義している。

【 0 1 1 8 】

相対的に小さなストレージ空間を必要としている、光線を保存するファイルフォーマットを提案するべく、図 7 A に示されているキューブを参照し、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方法について説明することができる。ライトフィールドをパラメータ化するべく、キューブのすべての 6 つの面を使用することができる。方向をパラメータ化するべく、キューブの面に対して平行であるプレーンの第 2 の組を追加することができる。その結果、次式：

【 数 3 7 】

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

のように、軸方向に沿って法線を有するプレーンの 6 つのペアとの関係において、ライトフィールドを定義することができる。

【 0 1 1 9 】

図 7 B は、それぞれ、互いに平行に位置決めされると共に既知の深さ z_1 及び z_2 において配置された、パラメータ化に使用される 2 つの基準プレーン P_1 及び P_2 を通過する、ピクセルビームを定義する生成光線などの、ライトフィールド光線を示している。ライトフィールド光線は、深さ z_1 において、交差点 (x_1, y_1) において第 1 基準プレーン P_1 と交差し、且つ、深さ z_2 において、交差点 (x_2, y_2) において第 2 基準プレーン P_2 と交差している。その結果、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。従って、ライトフィールドは、それぞれのライトフィールド光線が、4 D 光線空間において、ポイント (x_1, y_1, x_2, y_2) R^4 として表される状態において、本明細書においてパラメータ化プレーンとも呼称されている、パラメータ化 P_1, P_2 用の基準プレーンのペアにより、パラメータ化することができる。従って、これは、カメラのピクセルビームの集合体のそれぞれの生成光線ごとに、実行される。

【 0 1 2 0 】

例えば、基準座標系の原点は、座標軸系の基本ベクトル

【 数 3 8 】

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

10

20

30

40

50

によって生成されるプレーン P_1 の中心において配置することができる。

【数 3 9】

$$\vec{k}$$

軸は、生成されたプレーン P_1 に対して垂直であり、且つ、わかりやすさを目的として、第 2 プレーン P_2 は、

【数 4 0】

$$\vec{k}$$

10

軸に沿ったプレーン P_1 からの距離 $z =$ において配置することができる。6 つの異なる伝播の方向を考慮するべく、このようなプレーンの 6 つのペアにより、ライトフィールド全体を特徴付けることができる。しばしばライトスラブと呼称される、プレーンのペアが、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やり取りしているライトフィールドを特徴付けている。

【0 1 2 1】

パラメータ化用の基準プレーンの位置は、次式：

【数 4 1】

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

20

として付与することが可能であり、ここで、

【数 4 2】

$$\vec{n}$$

は、法線であり、且つ、 d は、法線方向に沿った 3 D 座標系の原点からのオフセットである。

30

【0 1 2 2】

パラメータ化用の基準プレーンのデカルト式は、次式として付与することができる。

【数 4 3】

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

【0 1 2 3】

ライトフィールド光線が、

【数 4 4】

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

40

という既知の位置と、

【数 4 5】

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

という正規化された伝播ベクトルと、を有する場合には、3 D における光線の一般的なパラメトリック方程式は、次式：

【数 4 6】

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

として付与することができる。

【0 1 2 4】

ライトフィールド光線と基準プレーンの間の交差点である

【数 4 7】

$$\vec{x}_1$$

10

の座標は、次式：

【数 4 8】

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

として付与される。

【0 1 2 5】

以下の条件が充足されない場合には、ライトフィールド光線と基準パラメータ化の間に交差点は存在していない。

20

【数 4 9】

$$(\vec{x}_1 - \vec{x}_0)\vec{u} > 0$$

【0 1 2 6】

ライトフィールドをパラメータ化するべく使用される基準プレーンのペアのシステムの軸のうちの 1 つに伴う垂直性に起因して、光線交差点の成分の 1 つは、それぞれのプレーンごとに、常に一定である。従って、第 1 基準プレーンとの間におけるライトフィールド光線の交差点

【数 5 0】

30

$$\vec{x}_1$$

と、第 2 基準プレーンとの間における前記ライトフィールドの交差点

【数 5 1】

$$\vec{x}_2$$

と、が存在している場合には、4 つの座標は、変化し、且つ、ライトフィールド光線の 4 つのパラメータを算出するべく、式 A を使用することができる。これら 4 つのパラメータは、ライトフィールドの 4 D 光線図を構築するべく、使用することができる。

40

【0 1 2 7】

2 つのパラメータ化基準プレーンを参照したライトフィールドのパラメータを仮定することにより、ライトフィールドを表すデータを以下のように取得することができる。基準システムが、図 8 に描かれているように設定されている場合には、第 1 パラメータ化プレーン P 1 は、 $z = z_1$ において z 軸に対して垂直であり、第 2 パラメータ化プレーン P 2 は、 $z = z_2$ において z 軸に対して垂直に配置されており、且つ、その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レイが位置決めされる場所 $z = z_3$ においてレンダリングする必要がある。式 (A) から、次式のとおりである。

50

【数 5 2】

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

【0 1 2 8】

10

上述の式を展開することにより、次式が得られる。

【数 5 3】

$$\begin{aligned}x_3 &= x_2 + \frac{u_x}{u_z}(z_3 - z_2) \\ y_3 &= y_2 + \frac{u_y}{u_z}(z_3 - z_2) \\ z_3 &= z_3 \\ x_3 &= x_1 + \frac{u_x}{u_z}(z_3 - z_1) \\ y_3 &= y_1 + \frac{u_y}{u_z}(z_3 - z_1) \\ z_3 &= z_3\end{aligned}$$

20

【0 1 2 9】

式の両方の組は、新しい場所におけるレンダリングされたライトフィールド光線として、同一のポイント

【数 5 4】

$$\vec{x}_3$$

を供給することになろう。 u_x , u_y , u_z を

30

【数 5 5】

$$\vec{x}_1 \text{ 及び } \vec{x}_2$$

の関数としてのそれぞれの対応する式によって置換することにより、以前のブロックからの式の第 2 の組が使用され、且つ、 x_3 及び y_3 が 1 つに加算される場合には、次式のとおりである。

【数 5 6】

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

40

【0 1 3 0】

これは、以下の式をもたらす。

【数 5 7】

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

【0 1 3 1】

添え字 $_3$ を有する座標は、ライトフィールドがレンダリングされる既知のポイント (x_3 , y_3 , z_3) に関係している。すべての深さ座標 z_i は、既知である。パラメータ化

50

プレーンは、伝播又はレンダリングの方向において位置している。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。

【0132】

ポイント (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、
【数58】

R^4

においてハイパープレーンを定義する式 (B) によってリンクされている。

【0133】

10

これは、画像が2プレーンパラメータ化ライトフィールドからレンダリングされる場合には、ハイパープレーンの近傍内の光線のみをレンダリングする必要がある、それらを追跡する必要はないことを意味している。図9Aは、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9Bは、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を表すデータを生成するシステムの主要なモジュールを概略的に示すブロックダイアグラムである。

【0134】

方法の予備的ステップS801において、生成光線を定義するパラメータと、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の生成光線の1つと主光線Cの間の最短距離と、が取得されている。これらのパラメータは、上述の生成光線をソートする方法の結果として得られる。

20

【0135】

このようなパラメータは、異なるピクセルの基準直線と交差する2つの生成光線の座標である。

【0136】

別の予備的ステップS802において、未加工のライトフィールドデータが、ライトフィールドカメラ801により、取得されている。未加工の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マイクロ画像の形態を有することができる。ライトフィールドカメラは、図1A又は図1B並びに図2A及び図2Bに示されているものなどの、ライトフィールドカメラ装置であってもよい。

30

【0137】

ステップS803において、取得されたライトフィールドデータは、個々の深さ z_1 、 z_2 におけるパラメータ化用の基準プレーンのペア P_1 、 P_2 との間における、ピクセルビーム40、50の基準直線と交差する生成光線に対応する、キャプチャされたライトフィールド光線の交差点を定義する交差点データ (x_1, y_1, x_2, y_2) を提供するべく、光線パラメータモジュール802によって処理されている。

【0138】

カメラの較正から、投影の中心 (x_3, y_3, z_3) 、カメラの光軸の向き、及びカメラのピンホールからフォトセンサのプレーンまでの距離 f という、パラメータを判定することができる。図10には、ライトフィールドカメラパラメータが示されている。フォトセンサプレーンは、深さ z_p において配置されている。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ている。2つの基準プレーン P_1 及び P_2 を含むライトスラブは、フォトセンサに対するカメラの投影の中心の他側において、 z_3 を超えて、それぞれ、深さ z_1 及び z_2 において配置されている。三角形の原則を光線に適用することにより、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) は、以下の式を適用することにより、光線パラメータに、即ち、基準プレーン交差点 (x_1, y_1, x_2, y_2) に、マッピングすることができる。

40

【数 5 9】

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

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

$$x_2 = \frac{z_3 - z_2}{z_3 - z_p} x_p + \frac{z_1 - z_p}{z_3 - z_p} x_3$$

$$y_2 = \frac{z_3 - z_2}{z_3 - z_p} y_p + \frac{z_1 - z_p}{z_3 - z_p} y_3$$

【0 1 3 9】

10

上述の計算は、異なるトリプレットのペア (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 1 4 0】

プレノプティックカメラのケースにおいては、アパーチャを有するカメラモデルが使用され、且つ、ライトフィールド光線は、原点 (x_p, y_p, z_p) 及び方向 $(x'_3, y'_3, 1)$ を有するものとして、位相空間内において記述される。深さ z_3 におけるプレーン (x_3, y_3) 上へのその伝播は、行列変換として記述することができる。レンズは、光線を屈折させるべく、A B C D 行列として機能することになり、且つ、別の A B C D 伝播行列が光線をライトスラブ基準プレーン P_1 及び P_2 上に配置することになる。

【0 1 4 1】

20

このステップから、基準プレーン P_1 、 P_2 との間における、基準直線と交差する生成光線の交差点を幾何学的に定義する交差点データ (x_1, y_1, x_2, y_2) が取得される。

【0 1 4 2】

ステップ S 8 0 4 において、交差点データ (x_1, y_1, x_2, y_2) をグラフィカルに表す 2 D 光線図が、光線図生成器モジュール 8 0 3 によって取得されている。

【0 1 4 3】

図 1 1 は、アパーチャ $|A| < 0.5$ を有する、場所 $x_3 = 2$ 及び深さ $z_3 = 2$ におけるカメラによってキャプチャされたライトフィールド光線の交差点データ (x_1, x_2) をグラフィカルに表す 2 D 光線図である。パラメータ化するべく使用される光線図のデータラインが、 256×256 個の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ている。

30

【0 1 4 4】

図 1 1 に示されている光線図を行列として解釈すれば、これは、まばらに入力されていることがわかる。光線が、4 D 位相空間行列の代わりに、ファイル内において、個別に保存される必要がある場合には、これは、それぞれの光線ごとに、それぞれの位置 x_i 又は x_3 ごとに少なくとも 2 バイト (int 16) と、これに加えて、色用の 3 バイト、即ち、2 D スライスライトフィールドの場合には、7 バイト / 光線、そして、そのフル 4 D 表現の場合には、11 バイト / 光線、を保存することを必要とすることになる。その場合にも、光線は、ファイル内においてランダムに保存されることになり、これは、表現の操作を必要としている用途の場合には、適していないであろう。本発明の本発明者らは、光線図行列から代表データのみを抽出すると共にデータを構造化された方式によってファイル内において保存する方法を判定した。

40

【0 1 4 5】

ライトフィールド光線は、2 D 光線図のデータラインに沿ってマッピングされることから、ライン値自体ではなく、データラインを定義するパラメータを保存するほうが効率的である。そのデータラインに属するライトフィールド光線の組と共に、例えば、勾配定義パラメータ s 及び軸切片 d などの、データラインを定義するパラメータを保存することができる。

【0 1 4 6】

50

これは、例えば、勾配パラメータ s 用に 2 バイト、切片パラメータ d 用に 2 バイト、そして、その結果、光線当たりには、3 バイトというほどに、少ない容量しか必要としないであろう。更には、光線をファイル内においてラインに沿って順序付けすることもできる。行列セルを通じてラインを設定するべく、最小誤差を有する光線ラインを近似する、所謂、デジタルラインが生成される。

【 0 1 4 7 】

データラインを見出すべく、且つ、勾配パラメータ s 及び切片パラメータ d を取得するべく、ステップ S 8 0 5 において、ライン検出モジュール 8 0 4 により、ステップ S 8 0 4 において生成された光線図に対してラドン変換が実行されている。

【 0 1 4 8 】

ステップ S 8 0 6 において、デジタルライン生成モジュール 8 0 5 により、取得された勾配パラメータ s 及び切片パラメータ d から、代表的なデジタルラインが生成されている。このステップにおいては、デジタルラインは、例えば、ブレゼンハムのアルゴリズムを適用することにより、分析ラインをその最も近いグリッドポイントに対して近似することにより、生成されている。実際に、ブレゼンハムのアルゴリズムは、最小の演算を有するデジタルラインを提供する方法を提供している。その他の方法は、高速離散ラドン変換計算を適用することができる。ブレゼンハムアプリケーションの一例は、以下の参考文献：
<http://www.cs.helsinki.fi/group/goa/mallinnus/lines/bresenh.html> から適合されたものである。

【 0 1 4 9 】

デジタルフォーマットは、グリッドの 2 つのポイント (0 , d) 及び ($N - 1$, s) によってデータラインを定義しており、ここで、 d は、 $x_1 = 0$ である際の x_2 の値に対応する交差点であり、且つ、 s は、 $x_1 = N - 1$ である際の x_2 の値に対応する勾配パラメータである。生成されたデジタルフォーマットから、それぞれの個々のラインの勾配 a は、 d 、 N 、及び s の関数として、次式：

【 数 6 0 】

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

(ここで、 $s \in \{ 0, 1, \dots, N - 1 \}$ であり、且つ、 $d \in \{ 0, 1, \dots, N - 1 \}$ である) として表現することができる。

【 0 1 5 0 】

図 1 2 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を示している。

【 0 1 5 1 】

図 1 3 は、同一の勾配 a (或いは、 $s - d$) 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ており、この場合に、このデータラインのグループは、連続的である。このデータラインのグループは、本明細書においては、ラインの束と呼称され、且つ、カメラが理想的なピンホールカメラではない結果として得られるビームに対応している。それぞれのラインは、異なるピクセルをアドレス指定している。換言すれば、1 つのピクセルは、同一の勾配を有するが、異なる切片を有する、束の一意のラインにのみ属している。軸交差点 d の上部及び下部境界は、それぞれ、 d_{max} 及び d_{min} として付与されている。

【 0 1 5 2 】

(2 D における) サンプリングされたラインのペアによってパラメータ化されると共に 1 つのカメラに属している、光線データは、データを表すべく使用される位相空間内においてデジタルライン (ビーム) のファミリーに属している。ビームのヘッダは、ビームの勾配 a と、軸交差点 $d_{max} - d_{min}$ の上部及び下部境界によって定義された太さと、のみを含むことができる。光線値は、そのヘッダが d 及び s でありうるデジタルラインに沿

10

20

30

40

50

ったRGB色として保存されることになる。サンプリングされた空間内の光線図の空のセルは、保存する必要がない。光線の座標 x_1 , x_2 は、パラメータ d 、 s から、且つ、デジタルラインに沿ったセルの位置から、推定することができる。

【0153】

ライトフィールドから、或いは、カメラの形状から、推定されるパラメータは、勾配 a 、デジタルライン切片の下部及び上部境界 (d_{min} , d_{max})、デジタルラインパラメータ (d_i , s_i) である。離散ラドン変換については、光線図内におけるライトフィールドのサポート場所を計測するためのツールとして既に説明済みである。

【0154】

図14Bは、図14A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を示している。図14Cは、図14Bに含まれている対象の領域のズームである。最大値パラメータについてのサーチにより、デジタルラインのビームが見出される。DRTの対称性の幾何学的中心と最大値の実際の位置の間には、画像コンテンツに起因して、なんらかのオフセットが存在する可能性があり、その結果、後から、最大値の代わりに、対称性の中心の位置を示すべく、アルゴリズムが使用される。その結果、値 (d_{min} , d_{max}) を付与するべく、図13Cに示されているビーム変換のウエストを見出すのは、容易である。ポイント ($d_{min} = 74$, $s = 201$) は、図12Aからのデジタルラインのビームの下部エンベロープであり、且つ、ポイント ($d_{max} = 81$, $s = 208$) は、デジタルラインのビームの上部エンベロープである。

【0155】

式Bからの2つの直交2Dスライス化空間の式は、次式として付与される。

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

【0156】

x_i 座標用の2Dスライスが取得された場合には、(x_3 , y_3 , z_3) におけるサイズAのアパーチャを通じた光線データがマッピングすることになるラインのビームの式は、次式：

【数61】

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

として付与される。

【0157】

同様に、2Dスライスが y_i 座標について取得された場合には、

【数62】

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

のとおりである。

【0158】

上述のように、 m 及び

【数63】

$$d_{max_x}, d_{min_x}, d_{max_y}, d_{min_y}$$

の値は、離散ドメインにおいて評価することができる。上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局所化するには、4D離散ラドン変換(DRT)を実行する必要はない。2つの直交2D-DRTが取得された場合に、ハイパープレーンの勾配 m と、すべてのデータが4D光線図内において集中するデジタルハイパープレーンのビー

△幅と、の計測を実行することができる。

【 0 1 5 9 】

この相対的に単純な位置特定の手順は、

【 数 6 4 】

$$d_{max_x}, d_{min_x}, d_{max_y}, d_{min_y}$$

がすべてのハイパープレーン切片を含むことになり、フォーマットにおいて記述されているいくつかの値が値を含むことにならないように、円形の入射瞳孔 A を仮定している。

【 0 1 6 0 】

2 D のケースについて提案されたものに類似した 4 D ケース用のフォーマットを取得することが興味深いであろう。これを実行するためには、 (x_1, x_2) プレーン上において見出された 2 D ラインを (y_1, y_2) 場所上において見出されるライン、即ち、

(x_1, x_2) 及び (y_1, y_2) の 2 つの直交スライスとの間における対応するハイパープレーンの交差の結果として得られるライン、と関連付けることが興味深いであろう。式 D 及び式 E から、対応するラインが同一の勾配 m を有することが判明している。これは、特定の深さにおけるカメラにおいて、 (x_1, x_2) 内のそれぞれのラインを (y_1, y_2) 内のラインに対して関連付ける第 1 のパラメータである。同一の深さにおいて複数のカメラが存在している場合（即ち、図 1 4 A のケース）には、 m という同一の推定された勾配を有する、 (x_1, x_2) 内の 3 つのラインと、 (y_1, y_2) 内の 3 つのラインと、が存在している。次いで、これら 2 つのプレーン内のラインの間のラインオフセットにおける対応性が判定される。これを実行するべく、式 D 及び式 E におけるラインの公式が活用される。具体的には、

【 数 6 5 】

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

と表記することにより、オフセットは、次式のとおりである。

【 数 6 6 】

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

及び

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

【 0 1 6 1 】

これらの式の組は、 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、カメラの座標に、或いは、換言すれば、対応する光束が半径 A の円内に合焦されるボクセルに、対応していることに留意されたい。我々は、

【 数 6 7 】

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

となるように、 z_3 において位置決めされたプレーン上のアパーチャが円形であるものと想定しており、且つ、以前の式の組を解くことにより、次式が得られた。

10

20

30

40

【数 6 8】

$$k = \frac{d_{maxx} - d_{minx}}{2A} (G)$$

$$x_3 = A \frac{d_{maxx} + d_{minx}}{d_{maxx} - d_{minx}} (H)$$

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

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

【0 1 6 2】

10

デジタルラインは、以前と同様に、プレゼンハムデジタルラインを使用することにより、 (x_1, x_2) 上においてスキニングされてもよく、それぞれの個々の (x_1, x_2) 値ごとに、ライトフィールド内においてキャプチャされた対応する (y_1, y_2) 値が保存される。このような値を見出すべく、式 C が活用される。 x_3 、 y_3 、 z_3 、 z_1 、 z_2 のすべては、既知であるか、或いは、式 F 及び式 G から推定されている。

【0 1 6 3】

(x_1, x_2) 内のそれぞれのライン上において移動することにより、それぞれの

【数 6 9】

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

20

ごとに、 (y_1, y_2) における以下の関係：

【数 7 0】

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

或いは、

【数 7 1】

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

30

が得られる。

【0 1 6 4】

(x_1, x_2) 内のそれぞれのポイントごとに、 (y_1, y_2) 内のラインの集合体が保存される。 d_{off} は、

【数 7 2】

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

についてスキニング及び保存されたラインのオフセットに対応している。次式：

40

【数 7 3】

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

に留意されたい。

【0 1 6 5】

図 1 2 を参照すれば、それぞれの正方形は、

【数 7 4】

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

50

ポイントであり、且つ、これらのポイントのうちのそれぞれごとに、描かれたデータラインに対して垂直に、但し、4 D空間内において、次式：

【数 7 5】

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

によって定義されたデジタル束に沿って図のプレーンから射出するプレゼンハムデジタルラインの組が存在している。

【0 1 6 6】

表 1 には、カメラ当たりのデータラインの束用の例示用のデータフォーマットが示されている。

【0 1 6 7】

【表 1】

タグ	データ		
光スラブの向き 1	(-x ₁ +x ₂ ,-y ₁ +y ₂ ,-z ₁ +z ₂)から 1 つのタグ w		
パラメータ化プレーンオフセット w ₂ -w ₁ (w ₃ は、w ₁ との関係におけるものである) (浮動小数点数)	□ e		
u ₁ セルの数における幅(整数)	最小 u ₁ 値 (浮動小数点数)	最大 u ₁ 値 (浮動小数点数)	N
u ₂ セルの数における幅(整数)	最小 u ₂ 値 (浮動小数点数)	最大 u ₂ 値 (浮動小数点数)	M
v ₁ セルの数における幅(整数)	最小 v ₁ 値 (浮動小数点数)	最大 v ₁ 値 (浮動小数点数)	P
v ₂ セルの数における幅(整数)	最小 v ₂ 値 (浮動小数点数)	最大 v ₂ 値 (浮動小数点数)	Q
カメラの数(整数)	n		
cam ₁ のアパーチャサイズ	A ₁		
Cam ₁ 焦点(3 浮動小数点数)	u ₃ ₁	x ₃ ₁	w ₃ ₁
(u ₁ ,u ₂)における最小 cam ₁ インターセプト	cam ₁ スティープネス	u ₁ ,u ₂ におけるデジタルラインの cam ₁ 数	d ₁
		v ₁ ,v ₂ におけるデジタルラインの cam ₁ 数	m ₁
データライン (end ₁ =l ₁ *N*P ₁ *P) * (3 バイト+2 浮動小数点数)			l ₁ P ₁
		(RGB z _p a) ₀	(RGB z _p a) ₁ ... (RGB z _p a) _n
...	
cam _n のアパーチャサイズ	A _n		
Cam _n 焦点(3 浮動小数点数)	u ₃ _n	x ₃ _n	w ₃ _n
(u ₁ ,u ₂)における最小 cam _n インターセプト	cam _n スティープネス	u ₁ ,u ₂ におけるデジタルラインの cam _n 数	d _n
		v ₁ ,v ₂ におけるデジタルラインの cam _n 数	m _n
データライン (end _n =l _n *N*P _n *P) * (3 バイト+3 浮動小数点数)			l _n P _n
		(RGB z _p a) ₀	(RGB z _p a) ₁ ... (RGB z _p a) _n

表 1

【0 1 6 8】

第 1 に、4 つの軸の境界 x₁、x₂、y₁、y₂ と、その対応するサンプリングと、を含む、4 D空間の一般的なメタデータが提供されている。また、カメラ(束)の数も提供されている。それぞれのカメラ j ごとに、以下のパラメータが保存されている。

アパーチャのサイズ：ピクセルビームの瞳孔の直径に対応した A_j

カメラ cam_j の焦点：focus Point = (u₃ , u₃ , w₃)

(x₁ x , 2) = d_j における最小 d 切片

急峻性 = m_j

10

20

30

40

50

(x_1, x_2) におけるデジタルラインの数 =

【数 7 6】

$$l_j^x$$

(y_1, y_2) におけるデジタルラインの数 =

【数 7 7】

$$l_j^{xy}$$

【0 1 6 9】

10

それぞれのカメラ上において、それぞれの(x_1, x_2)ごとに、プレゼンハムデジタルラインを使用することにより、式(K)との関係において、スキニングが(y_1, y_2)上において開始され、且つ、それぞれのライトフィールド光線のRGB値が保存される。具体的には、

【数 7 8】

$$y_3^* - A \sim y_3^* + A$$

と、対応する d_{off} と、は、式(K)に従って算出される。

【0 1 7 0】

20

保存されているメタデータを使用することにより、同一の計算がデコーディングステップにおいて実行される。具体的には、式(H)を使用することにより、kが見出される。従って、フォーマットは、コンパクトな状態において留まっている。システム内においてそれぞれの光線ごとに4つのインデックスを保存する必要性は存在していない。上述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、且つ、従って、単一の $x_1; y_1; x_2; y_2$ 場所も見逃されないことに留意されたい。これは、非常にコンパクトな形態においてすべてのデータを保存するための4D光線空間のシステムチェックなスキニングの一例であるに過ぎない。当然のことながら、その他のプロセスを適用することもできる。このパラメトリックな形態は、ハイパープレーンを調査するべく適合されているものと考えられ、その理由は、これが、インターリーブされた空間の調査を許容しているからである。

30

【0 1 7 1】

ハイパープレーンのいくつかの束(複数のカメラに起因したラドン変換におけるいくつかの極大値)を含むデータを検討するための複数のカメラのケースにおいては、相対的に複雑なアルゴリズムを使用することができる。事前処理ステップとして、パラメータ(m, k)が、(x_1, x_2)のラドン変換において、すべてのピークについて見出され、且つ、1つの組として配置される。同一の内容が、(y_1, y_2)におけるピークについても実行され、且つ、パラメータが別の組として配置される。この結果、貪欲なアルゴリズムのそれぞれの反復において、最大ピーク強度が(x_1, x_2)の2Dラドン変換において見出され、且つ、予め見出されたパラメータ(m, k)をマッチングさせることにより、(y_1, y_2)における対応するピークが見出される。最後の節において言及したように、データを保存した後に、これらのピークは、ラドン変換からクリーニングされ、且つ、有意なものがライトフィールド内において存在しなくなる時点まで、次の反復が開始される。

40

【0 1 7 2】

以上、特定の実施形態を参照し、本発明について説明したが、本発明は、特定の実施形態に限定されるものではなく、且つ、当業者には、本発明の範囲に含まれる変更が明らかとなろう。

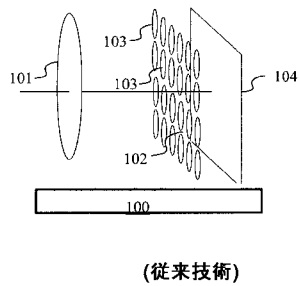
【0 1 7 3】

多くの更なる変更及び変形は、例としてのみ付与されていると共に、添付の請求項によ

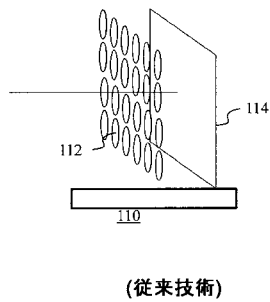
50

ってのみ判定される本発明の範囲の限定を意図したものではない、上述の例示用の実施形態を参照した際、それ自体が当業者に対して示唆されることになる。具体的には、異なる実施形態からの異なる特徴が、適宜、相互交換可能でありうる。

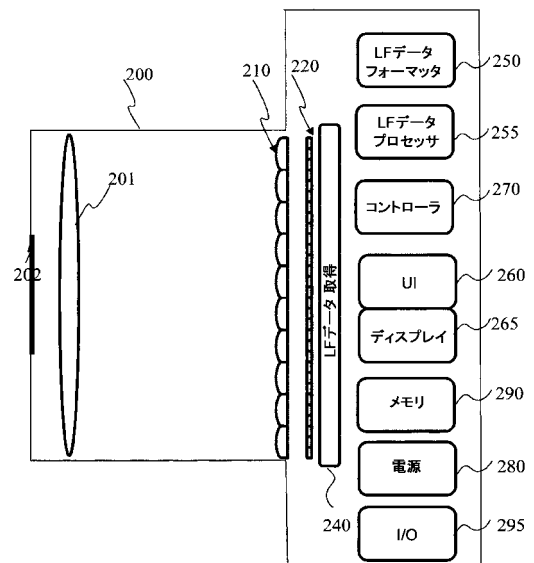
【図 1 A】



【図 1 B】



【図 2 A】



【圖 3】

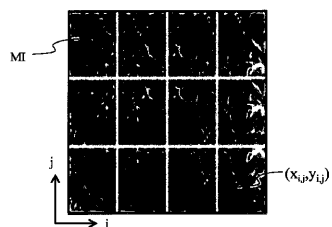
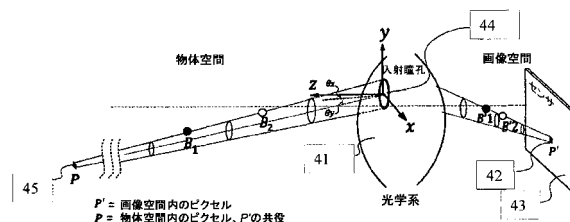


FIG. 3

【图 4】



【 図 6 A 】

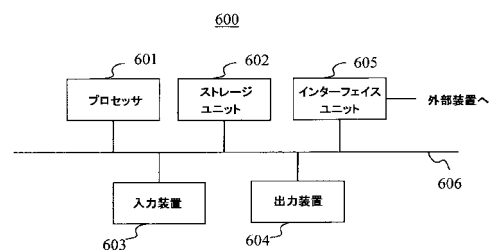
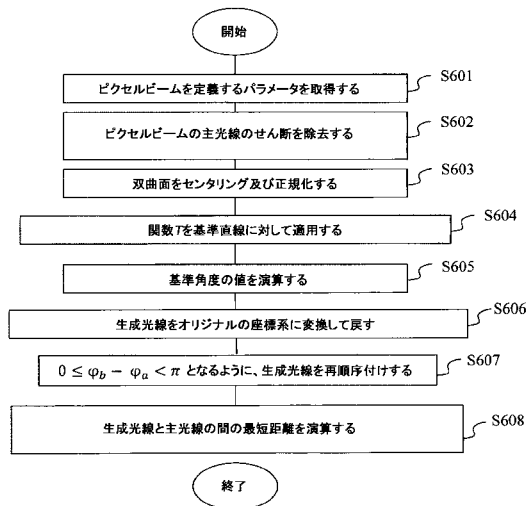


Fig. 5

【図 6 B】



【図 7 A】

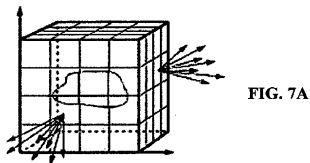


FIG. 7A

【図 7 B】

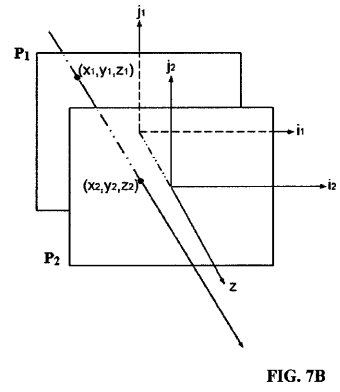
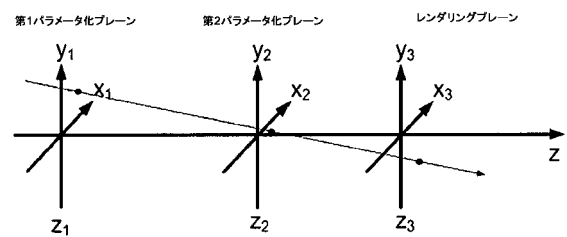
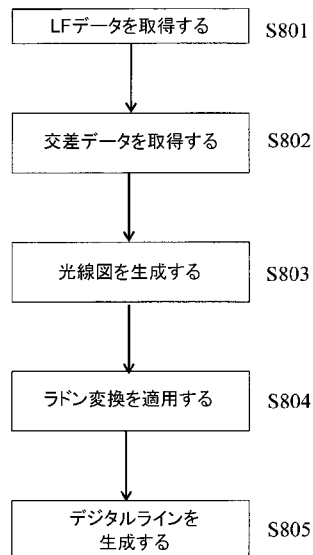


FIG. 7B

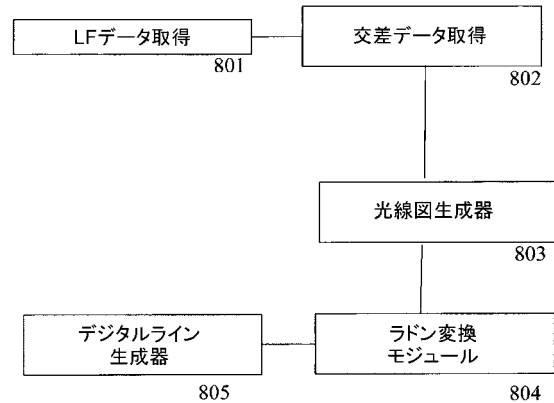
【図 8】



【図 9 A】



【図 9 B】



【図 10】

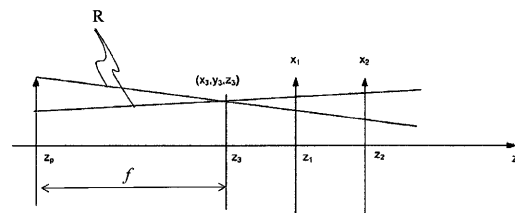


FIG. 10

【図 1 1】

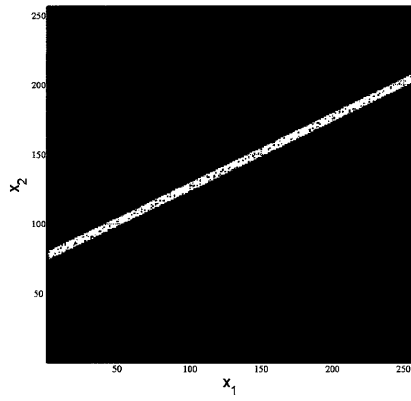


FIG. 11

【図 1 2】

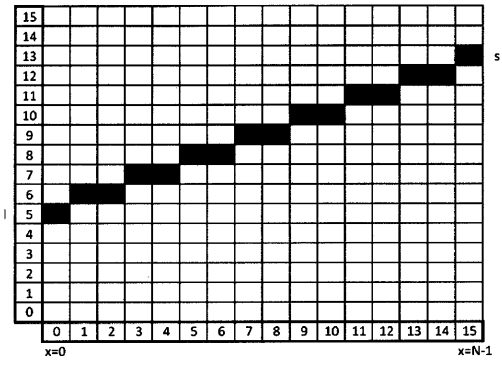


FIG. 12

【図 1 3】

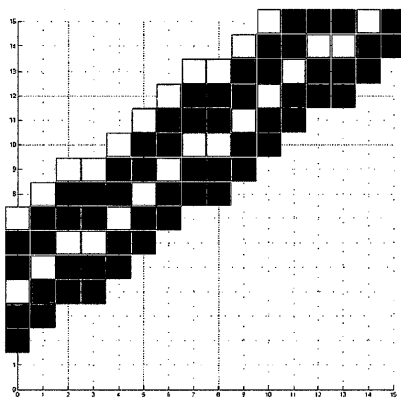
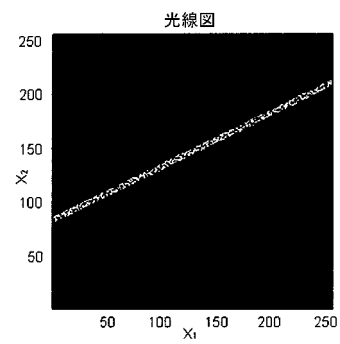
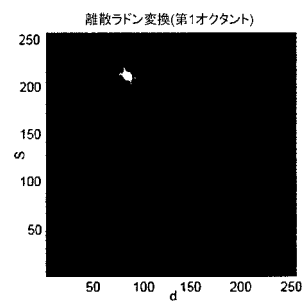


FIG. 13

【図 1 4 A】



【図 1 4 B】



【 図 1 4 C 】

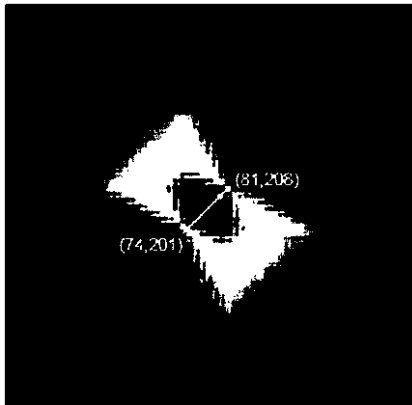


FIG. 14C

【 図 1 5 】

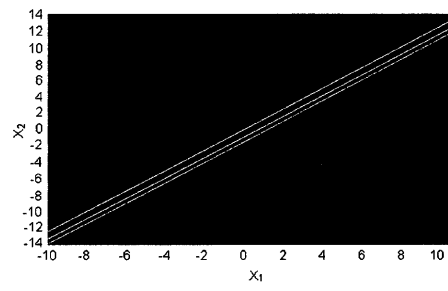


FIG. 15

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2016/082853

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G06T5/50
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06T

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, COMPENDEX, INSPEC, IBM-TDB, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	TODOR GEORGIEV ET AL: "Lytro camera technology: theory, algorithms, performance analysis", PROCEEDINGS OF SPIE, vol. 8667, 26 February 2013 (2013-02-26), page 86671J, XP055203972, ISSN: 0277-786X, DOI: 10.1117/12.2013581 the whole document -----	1-15
A	US 2015/177062 A1 (NISHIYAMA TOMOHIRO [JP]) 25 June 2015 (2015-06-25) paragraph [0033] - paragraph [0046] -----	1-15



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

11 April 2017

Date of mailing of the international search report

28/04/2017

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Rockinger, Oliver

Information on patent family members

PCT/EP2016/082853

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (April 2005)

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ

(特許庁注：以下のものは登録商標)

1 . F I R E W I R E

(74)代理人 100134120

弁理士 内藤 和彦

(74)代理人 100108213

弁理士 阿部 豊隆

(72)発明者 ブロンド, ローラン

フランス国, 3 5 5 7 6 セソン セビニエ, セーエス 1 7 6 1 6, ザック デ シャン ブラン, アベニュー 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 ドラジック, ヴァルター

フランス国, 3 5 5 7 6 セソン セビニエ, セーエス 1 7 6 1 6, ザック デ シャン ブラン, アベニュー 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 セイフィ, モツダ

フランス国, 3 5 5 7 6 セソン セビニエ, セーエス 1 7 6 1 6, ザック デ シャン ブラン, アベニュー 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

Fターム(参考) 2H151 BA06 CB09

5B057 CD14 CH20 DA17 DC30

5C122 EA61 FB05 FH04 FH11 HA88 HB01 HB06 HB10