

(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2017-520944

(P2017-520944A)

(43) 公表日 平成29年7月27日(2017.7.27)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>H04N 13/02 (2006.01)</b>	H04N 13/02 320	5C061
<b>H04N 5/225 (2006.01)</b>	H04N 5/225 410	5C122

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 42 頁)

(21) 出願番号	特願2016-563926 (P2016-563926)	(71) 出願人	595020643 クualコム・インコーポレイテッド QUALCOMM INCORPORATED アメリカ合衆国、カリフォルニア州 92 121-1714、サン・ディエゴ、モア ハウス・ドライブ 5775
(86) (22) 出願日	平成27年3月26日 (2015. 3. 26)		
(85) 翻訳文提出日	平成28年12月20日 (2016. 12. 20)		
(86) 国際出願番号	PCT/US2015/022804		
(87) 国際公開番号	W02015/164025		
(87) 国際公開日	平成27年10月29日 (2015. 10. 29)		
(31) 優先権主張番号	14/261, 162	(74) 代理人	100108855 弁理士 蔵田 昌俊
(32) 優先日	平成26年4月24日 (2014. 4. 24)	(74) 代理人	100109830 弁理士 福原 淑弘
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100158805 弁理士 井関 守三
		(74) 代理人	100112807 弁理士 岡田 貴志

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 3Dラドン画像の生成および使用

## (57) 【要約】

いくつかの態様は、キャプチャされたプレノプティック画像データを効率的に記録するための、およびキャプチャされたプレノプティックデータから画像をレンダリングするためのシステムおよび技法に関する。プレノプティック画像データは、プレノプティックまたは他のライトフィールドカメラによってキャプチャされ得る。いくつかの実装形態では、光線の代わりに平面によって画像を定義するために、ラドン変換を実行することによって、4次元放射輝度データが3次元データに変換され得る。得られたラドン画像は、各平面にわたるエネルギーの加算された値を表すことができる。シーンの元の3次元発光密度は、たとえば、逆ラドン変換を実行することによって復元され得る。異なるビューからのおよび/または異なる焦点を有する画像が、発光密度からレンダリングされ得る。

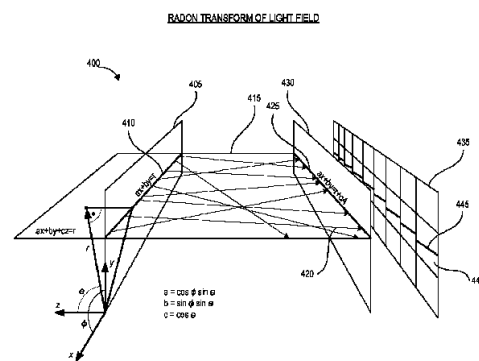


FIG. 4A

**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

最終画像をレンダリングするための電子デバイスにおけるシステムであって、  
前記システムは、

マイクロレンズアレイと画像センサーとを含み、画像シーンのプレノプティック画像データをキャプチャするように構成されたプレノプティックカメラと、

前記プレノプティックカメラとデータ通信しており、少なくとも、

前記画像センサー上に前記画像シーンからの光を合焦させる前記マイクロレンズアレイ中の複数のマイクロレンズのうちの 1 つによってそれぞれ形成された複数のマイクロ画像を含むキャプチャされたプレノプティック画像データを受信することと、

前記マイクロレンズアレイを二分する平面内に位置し、各々が前記画像シーンの 3 次元空間を通して延びる平面に対応する複数の積分ラインを決定することと、

前記複数の積分ラインに対応する前記プレノプティック画像データの複数のピクセルに少なくとも部分的に基づいて、ラドン画像を生成することと

を行うように構成された 1 つまたは複数のプロセッサとを備えるシステム。

**【請求項 2】**

前記 1 つまたは複数のプロセッサは、前記複数の積分ラインの各々について、前記複数のマイクロ画像のうちの少なくとも 1 つの対応するマイクロ画像に、前記複数の積分ラインのうちの 1 つのラインをマッピングすることによって、対応する画像ラインを決定するようにさらに構成された、請求項 1 に記載のシステム。

**【請求項 3】**

前記 1 つまたは複数のプロセッサは、前記複数のピクセルとの前記対応する画像ラインの交差に少なくとも部分的に基づいて、前記複数のピクセルを識別するようにさらに構成された、請求項 2 に記載のシステム。

**【請求項 4】**

前記 1 つまたは複数のプロセッサは、前記複数の積分ラインの各々について、前記対応する画像ラインと交差する前記複数のピクセルの各々に関連付けられたピクセル値の和を決定することによって、複数の加算されたピクセル値を生成するようにさらに構成された、請求項 3 に記載のシステム。

**【請求項 5】**

前記 1 つまたは複数のプロセッサは、前記複数の加算されたピクセル値のアレイとして、前記ラドン画像を生成するようにさらに構成された、請求項 4 に記載のシステム。

**【請求項 6】**

前記ピクセル値は強度値である、請求項 4 に記載のシステム。

**【請求項 7】**

最終画像をレンダリングするための電子デバイスにおけるシステムであって、  
前記システムは、

少なくとも、画像シーンの複数のサンプリングされた平面の各サンプリングされた平面について、前記サンプリングされた平面における光エネルギーの和を表すラドン画像を表すデータにアクセスするように構成された第 1 のモジュールと、

少なくとも、前記ラドン画像の前記複数のサンプリングされた平面の各サンプリングされた平面からの光エネルギーの前記和を積分することに少なくとも部分的に基づいて、前記画像シーンの発光密度を決定するように構成された第 2 のモジュールと、

少なくとも、画像平面上に前記発光密度を投影し、前記最終画像を生成するように構成された第 3 のモジュールとを備えるシステム。

**【請求項 8】**

前記最終画像は、キャプチャされた画像シーンの異なる視点または異なる焦点深度を有するように調整することが可能である、請求項 7 に記載のシステム。

**【請求項 9】**

前記ラドン画像は、前記画像シーンのキャプチャされたプレノプティック画像データから生成される、請求項 7 に記載のシステム。

**【請求項 10】**

前記キャプチャされたプレノプティック画像データは、前記画像シーン中の物体から画像センサーに入射した複数の光線の強度で前記画像シーンのライトフィールドを表す、請求項 9 に記載のシステム。

**【請求項 11】**

前記ラドン画像は、前記画像シーン中に位置する平面に含まれているエネルギーで前記ライトフィールドを表し、

前記平面は前記画像センサーと交差する、

請求項 10 に記載のシステム。

**【請求項 12】**

前記第 1 のモジュールは、前記キャプチャされたプレノプティック画像データを受信し、前記キャプチャされたプレノプティック画像データから前記ラドン画像を生成するようにさらに構成された、請求項 9 に記載のシステム。

**【請求項 13】**

前記画像シーンのプレノプティック画像データのキャプチャのために構成されたプレノプティックカメラをさらに備える、請求項 9 に記載のシステム。

**【請求項 14】**

前記プレノプティックカメラは、メインレンズと、複数のマイクロレンズを含むマイクロレンズアレイと、画像センサーとを備える、請求項 13 に記載のシステム。

**【請求項 15】**

前記複数のマイクロレンズは、それぞれ微小球体を備える、請求項 14 に記載のシステム。

**【請求項 16】**

前記第 1 のモジュールは、データストアから前記ラドン画像を取り出すことによって、前記ラドン画像を表す前記データにアクセスするように構成された、請求項 7 に記載のシステム。

**【請求項 17】**

前記第 2 のモジュールは、前記ラドン画像の逆投影を計算することに少なくとも部分的に基づいて、前記画像シーンの前記発光密度を決定するように構成された、請求項 7 に記載のシステム。

**【請求項 18】**

前記第 2 のモジュールは、少なくとも、前記逆投影にガウシアン of ラブラシアン演算子を適用するようにさらに構成された、請求項 17 に記載のシステム。

**【請求項 19】**

前記第 2 のモジュールは、少なくとも、前記ガウシアン of ラブラシアン演算子を適用した後に、前記逆投影のノイズ除去を行うようにさらに構成された、請求項 18 に記載のシステム。

**【請求項 20】**

プレノプティック画像データを圧縮するための方法であって、

前記方法は、

マイクロレンズアレイと画像センサーとを有するプレノプティックカメラから、3次元画像空間のプレノプティック画像を表すデータの少なくとも一部分を受信することと、

前記マイクロレンズアレイを二分するマイクロレンズ平面と交差する積分平面を識別することと、

前記マイクロレンズ平面から第 1 の距離に位置する画像平面および前記積分平面と交差する画像ラインを決定することと、

前記積分平面および前記マイクロレンズ平面と交差するマイクロレンズラインを決定す

10

20

30

40

50

ることと、

マイクロレンズラインと前記マイクロレンズとの交差に少なくとも部分的に基づいて、前記マイクロレンズアレイのマイクロレンズによって前記画像センサー上に形成されるマイクロ画像に前記画像ラインをマッピングすることと、

前記マイクロ画像にマッピングされた前記画像ラインに沿って位置する、前記マイクロ画像中の複数のピクセルの各々のピクセル値を加算することと、  
を備える方法。

【請求項 2 1】

前記加算されたピクセル値に少なくとも部分的に基づいて、ラドン画像を生成することをさらに備える、請求項 2 0 に記載の方法。

10

【請求項 2 2】

前記マイクロレンズアレイの複数のマイクロレンズの各々は、前記画像センサー上に別個のマイクロ画像を形成する、請求項 2 0 に記載の方法。

【請求項 2 3】

極座標系を使用して、前記 3 次元画像空間をパラメータ化することをさらに備える、請求項 2 0 に記載の方法。

【請求項 2 4】

前記マイクロレンズ平面と交差する複数の積分平面を識別することをさらに備える、請求項 2 0 に記載の方法。

【請求項 2 5】

20

前記複数の積分平面は、当該複数の積分平面がグループとして前記画像センサーの複数のセンサーピクセルの各々をサンプリングするように配置される、請求項 2 4 に記載の方法。

【請求項 2 6】

前記複数の積分平面の 2 つの隣接する平面の交差によって形成される隣接するライン間のステップサイズは、前記画像センサー上のマイクロ画像の冗長サンプリングを最小化するように選択される、請求項 2 5 に記載の方法。

【請求項 2 7】

実行時に、1 つまたは複数のコンピューティングデバイスに、

画像シーンの発光密度を当該画像シーンの複数の平面の各々における光エネルギーの加算された値として表す当該画像シーンのラドン画像データを受信することと、

30

ラドン画像の逆投影を使用して、前記ラドン画像の中間関数を計算することと、

前記ラドン画像の前記中間関数に少なくとも部分的に基づいて、前記画像シーンの前記発光密度を復元することと、

画像平面上に前記発光密度を投影し、前記画像シーンの動的に再合焦可能なレンダリング画像を生成することと

を備える動作を実行させる命令を記憶する、非一時的コンピュータ可読媒体。

【請求項 2 8】

前記動作は、前記ラドン画像の前記逆投影にラプラシアン演算子を適用し、前記中間関数を計算することをさらに備える、請求項 2 7 に記載の非一時的コンピュータ可読媒体。

40

【請求項 2 9】

前記動作は、前記ラドン画像の前記逆投影のノイズ除去を行い、前記中間関数を計算することをさらに備える、請求項 2 8 に記載の非一時的コンピュータ可読媒体。

【請求項 3 0】

前記動作は、ユーザ入力に応答して、前記動的に再合焦可能なレンダリング画像の焦点深度を調整することをさらに備える、請求項 2 7 に記載の非一時的コンピュータ可読媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

50

[0001]本明細書で開示するシステムおよび方法は、画像データを対象とし、より詳細には、プレノプティックデータのキャプチャおよびプレノプティックデータからのレンダリングを対象とする。

【背景技術】

【0002】

[0002]フォトグラフィの分野は発展し続けており、撮影者により多くのオプションを与える。アナログフォトグラフィでは、現像されたフィルムは、露出、カラーバランス、焦点、および他の画像キャプチャファクタの最終結果を、それらが画像キャプチャのときに生じたように示した。最近まで、デジタルフォトグラフィは、アナログプロセスであったものをデジタル化することに関するものであった。デジタルフォトグラフィは、露出、カラーバランス、彩度などのようないくつかの品質に関して画像を向上させ、クリーンアップするために、処理アプリケーションが使用され得るので、画像がキャプチャされた後、アナログフォトグラフィよりも多くのオプションを撮影者に与える。しかしながら、キャプチャされたデジタル画像の焦点が外れている場合、または撮影者が異なる視点にシフトすることを望む場合、既存の処理アプリケーションはこれらのファクタを補正することができない。

【0003】

[0003]プレノプティックフォトグラフィは、ターゲット画像シーンの、放射輝度とも呼ばれるライトフィールドをキャプチャすることによって、物体の直接観察によって与えられた多種多様なビューアングルおよび複数の焦点をレンダリングすることに近づく。プレノプティック画像をキャプチャするために、マイクロレンズアレイが画像センサーの前に取り付けられ、ターゲットシーンの多くの画像を効果的にキャプチャし、各画像は、わずかに異なる視点からターゲットシーンの一部分をキャプチャすることができる。したがって、シーンの合成最終画像の各ピクセルについて、様々な視点から複数の光線がキャプチャされる。これは、ターゲットシーンの潜在的な最終画像中の各ピクセルポイントに関する4次元放射輝度データ、すなわち、光線の空間的位置の2次元と、ピクセルにおける光線方向(orientation)の2次元とを含んでいる生センサーデータを与える。ソフトウェアを用いて、このデータは、放射輝度データによって表されるバンテージポイント(vantage point)または焦点のいずれかからの最終2Dまたは3D画像に合成され、デジタルフォトグラフィの能力を拡張し、撮影者が画像キャプチャの後にバンテージポイントまたは焦点を変更するためのより大きいフレキシビリティを与えることができる。

【0004】

[0004]プレノプティックカメラ技術は、限定はしないが、フル3D画像化、再合焦可能性、および高ダイナミックレンジ(HDR)画像化を含む、モバイルデバイスにおいて望ましいことがあるいくつかの画像化能力を与える。しかしながら、プレノプティックセンサーデータを処理することは、計算コストが高く、一般に、中央処理ユニット(CPU)上での並列処理またはグラフィックス処理ユニット(GPU)上での集中処理を必要とする。したがって、プレノプティックフォトグラフィは、従来のモバイルデバイスの比較的限制されたGPUメモリを鑑みて、モバイルフォトグラフィにおける実装のために法外に大量のデータ記憶および処理を必要とする。

【発明の概要】

【0005】

[0005]本発明の態様は、(たとえば、プレノプティックカメラにおいて)近似的に変換されたキャプチャされたプレノプティック画像データを効率的に記録するための技法、および本明細書では「ラドンフォトグラフィ(Radon photography)」と呼ぶ、そのような変換されたキャプチャされたプレノプティックデータから画像をレンダリングするための技法に関する。たとえば、キャプチャされたプレノプティックデータの構造は、次元数が4次元から3次元に低減されるように、ラドン変換を使用することによって変更され、それにより、旧来のプレノプティック画像よりも小さいサイズを有する(本明細書では「ラドン画像(Radon image)」と呼ぶ)画像データを生成することができる。プレノプティ

10

20

30

40

50

ックデータの放射輝度または発光密度を復元するために、逆ラドン変換または他のコンピュータ断層撮影技法を使用して、ラドン画像から最終画像がレンダリングされ得る。既存の方法と比較して、これは、約 1 桁だけデータの量を低減し、たとえばモバイルデバイス上で、既存のプレノプティックレンダリング技法よりもはるかに少ない G P U メモリを使用して、レンダリングを実行することを可能にすることができる。

【 0 0 0 6 】

[0006]したがって、一態様は、最終画像をレンダリングするための電子デバイスにおけるシステムに関し、本システムは、マイクロレンズアレイと画像センサーとを含むプレノプティックカメラと、プレノプティックカメラが、画像シーンのプレノプティック画像データをキャプチャするように構成された、プレノプティックカメラとデータ通信しており、少なくとも、キャプチャされたプレノプティック画像データを受信することと、キャプチャされたプレノプティック画像データが、画像センサー上に画像シーンからの光を合焦させるマイクロレンズアレイ中の複数のマイクロレンズのうちの 1 つによってそれぞれ形成された複数のマイクロ画像を含む、マイクロレンズアレイを二分する平面内に位置する複数の積分ライン (line of integration) を決定することと、複数の積分ラインの各々が、画像シーンの 3 次元空間を通して延びる平面に対応する、複数の積分ラインに対応するプレノプティック画像データの複数のピクセルに少なくとも部分的に基づいて、ラドン画像を生成することとを行うように構成された 1 つまたは複数のプロセッサとを備える。

【 0 0 0 7 】

[0007]別の態様は、最終画像をレンダリングするための電子デバイスにおけるシステムに関し、本システムは、少なくとも、ラドン画像を表すデータにアクセスすることを行うように構成された第 1 のモジュールと、ラドン画像が、画像シーンの複数のサンプリングされた平面の各サンプリングされた平面について、サンプリングされた平面における光エネルギーの和を表す、少なくとも、ラドン画像の複数のサンプリングされた平面の各サンプリングされた平面からの光エネルギーの和を積分することに少なくとも部分的に基づいて、画像シーンの発光密度を決定することを行うように構成された第 2 のモジュールと、少なくとも、最終画像を生成するために、画像平面上に発光密度を投影することを行うように構成された第 3 のモジュールとを備える。

【 0 0 0 8 】

[0008]別の態様は、プレノプティック画像データを圧縮するための方法に関し、本方法は、マイクロレンズアレイと画像センサーとを有するプレノプティックカメラから、3次元画像空間のプレノプティック画像を表すデータの少なくとも一部分を受信することと、マイクロレンズ平面と交差する積分平面 (plane of integration) を識別することと、マイクロレンズ平面が、マイクロレンズアレイを二分する、積分平面、およびマイクロレンズ平面から第 1 の距離に位置する画像平面と交差する画像ラインを決定することと、積分平面およびマイクロレンズ平面と交差するマイクロレンズラインを決定することと、マイクロレンズラインとマイクロレンズとの交差に少なくとも部分的に基づいて、マイクロ画像に画像ラインをマッピングすることと、マイクロ画像が、マイクロレンズアレイのマイクロレンズによって画像センサー上に形成される、マイクロ画像中の複数のピクセルの各々のピクセル値を加算することと、複数のピクセルが、マイクロ画像にマッピングされた画像ラインに沿って位置する、を備える。

【 0 0 0 9 】

[0009]別の態様は、実行されたとき、1 つまたは複数のコンピューティングデバイスに、画像シーンのラドン画像データを受信することと、ラドン画像データが、画像シーンの複数の平面の各々における光エネルギーの加算された値として、画像シーンの発光密度を表す、ラドン画像の逆投影を使用して、ラドン画像の中間関数を計算することと、ラドン画像の中間関数に少なくとも部分的に基づいて、画像シーンの発光密度を復元することと、画像シーンの動的に再合焦可能なレンダリングされた画像を生成するために、画像平面上に発光密度を投影することとを備える動作を実行させる命令を記憶する、非一時的コンピュータ可読媒体に関する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 1 0 】

【0010】開示する態様を限定するためではなく、開示する態様を例示するために与えられる、添付の図面および付属書類とともに、開示する態様について以下で説明し、そこにおいて、同様の表示は同様の要素を示す。

## 【図面の簡単な説明】

## 【 0 0 1 1 】

【図 1 A】【0011】従来のプレノプティックカメラの一実施形態を示す図。

【図 1 B】【0012】いくつかの実施形態による、例示的な合焦プレノプティックカメラ (focused plenoptic camera) (ケプラー式望遠鏡の場合) を示す図。

【図 1 C】【0013】いくつかの実施形態による、例示的な合焦プレノプティックカメラ (ガリレイ式望遠鏡の場合) を示す図。 10

【図 1 D】【0014】いくつかの実施形態による、微小球体に基づく例示的な薄型プレノプティックカメラを示す図。

【図 2】【0015】ラドンフォトグラフィ能力を有する画像キャプチャデバイスの一実施形態の高レベル概略ブロック図。

【図 3】【0016】ラドンフォトグラフィプロセスの一実施形態を示す図。

【図 4 A】【0017】ラドン画像生成のためにプレノプティックカメラ平面を使用する技法の一実施形態を示す図。

【図 4 B】【0018】ラドン画像生成において使用され得るピクセルまたはマイクロ画像のセットの一実施形態を示す図。 20

【図 4 C】【0019】3 D ラドン画像生成の方法において使用され得る積分ラインの密度の一実施形態を示す図。

【図 5】【0020】入力ライトフィールドデータからラドン画像を生成するためのプロセスの一実施形態を示す図。

【図 6】【0021】ラドン画像からプレノプティック画像データを生成するためのプロセスの一実施形態を示す図。

## 【発明を実施するための形態】

## 【 0 0 1 2 】

## ( 序 論 )

【0022】本開示の実施形態は、プレノプティック画像データをキャプチャし、効率を上げるためにプレノプティック画像データを処理し、処理されたプレノプティック画像データからレンダリングするためのシステムおよび技法に関する。本明細書で説明するラドンフォトグラフィ技法は、1次元光線内ではなく2次元平面内に含まれているエネルギーでターゲット画像シーンの放射輝度を定義するために、キャプチャされたプレノプティックデータの構造を変更することができ、これは、約1桁だけ画像データの量を効果的に低減することができる。たとえば、これは、いくつかの実装形態では、プレノプティック画像データにラドン変換を適用し、ラドン画像を生成することによって達成され得る。ラドン画像から画像シーンの放射輝度を復元するために逆ラドン変換を適用することによって、動的に再合焦可能な画像がラドン画像からレンダリングされ得る。一例では、ラドン画像は約1メガバイト(MB)のデータであり得、一般的なプレノプティック画像は約50MBのデータであり得る。これは、限られたGPU能力をもつモバイルデバイス、たとえば、スマートフォンおよびタブレットコンピュータ上でのプレノプティック画像化を可能にすることができる。 30 40

## 【 0 0 1 3 】

【0023】本明細書で説明するラドンフォトグラフィ技法は、キャプチャされたプレノプティックデータの量を低減するために、ラドン変換に係る変換を使用して、キャプチャされたプレノプティックデータを記録することができる。プレノプティックカメラによってキャプチャされた情報は、ライトフィールド、プレノプティック関数、または放射輝度と呼ばれることがある。計算フォトグラフィでは、(放射輝度、発光密度、またはプレノプティック関数と呼ばれることもある)ライトフィールドは、ターゲット画像シーンの3 50

次元空間中のすべての１次元光線の４次元記録である。放射輝度は、空間情報と角度情報の両方を表し、（ラジアンにおける）立体角の単位ごとの面積の単位ごとのエネルギーの密度として定義される。プレノプティックカメラは、（フラット（flat）画像またはフラットとも呼ばれる）プレノプティック画像中の放射輝度をキャプチャする。処理されるとき、プレノプティック画像はデジタル的に再合焦させられ得、ノイズが低減され得、視点が変更され得、他のプレノプティック効果が達成され得る。文献では、プレノプティックカメラはライトフィールドカメラと呼ばれることもあり、プレノプティック画像はライトフィールド画像と呼ばれることもあることに留意されたい。

#### 【 0 0 1 4 】

[0024] ラドン変換を使用して、画像シーンの４次元放射輝度データは、仮想光源の密度のラドン画像である、３つの変数のみに依存する代替プレノプティック関数として表され得る。ラドンフォトグラフィ技法は、画像シーン中の３次元体のエネルギー密度を、複数の薄い仮想平面を用いてそれを切断し、各平面にわたって積分することによってキャプチャまたは表すことができる。各平面におけるエネルギーは、ラドン画像を構成するために測定され得る。したがって、得られたラドン画像は、画像平面とセンサー平面との間の各光線のエネルギーの値を表す旧来のプレノプティック画像データではなく、画像平面とセンサー平面との間の各平面にわたるエネルギーの加算された値を表すことができる。画像シーンの４次元放射輝度の３次元表現であるラドン画像は、したがって、以前のプレノプティック画像化方法と比較して、メモリに関してははるかにより経済的であり、したがって、レンダリングするのがより速い。

10

20

#### 【 0 0 1 5 】

[0025] シーンの元の３次元発光密度は、たとえば、逆ラドン変換を実行することによって復元され得、異なるビューからの、および／または異なる焦点深度を有する画像が発光密度からレンダリングされ得る。一実装形態では、ラドンフォトグラフィ技法は、平面内に入る光線を効果的に積分することができ、逆投影を実行するために、ポイントを通過するすべての平面にわたってラドン変換を評価することができる。逆投影は、そのポイントにおける逆ラドン変換を導出するために行われる第１のステップであり得る。冗長情報につながることになる、ピクセルの同じセットをサンプリングすることを回避するために、隣接する積分ライン間の十分なステップサイズをもつアレイ中の各マイクロレンズをサンプリングするために、特定の積分ラインが選定され得る。逆投影、ガウシアンラプラシアン演算子の適用、およびノイズ除去を通して、ラドンフォトグラフィ技法は、ラドン画像からシーン中の発光密度を決定することができる。画像平面上に発光密度を投影することは、最終画像を生成することができ、ここにおいて、最終画像は、キャプチャされた画像シーンの異なるビューまたは異なる焦点深度を有するように調整され得る。

30

40

#### 【 0 0 1 6 】

（例示的なプレノプティックカメラの概要）

[0026] 図１Ａ～図１Ｄに、ラドンフォトグラフィ技法に従ってラドン画像データをキャプチャするために使用され得る、プレノプティックカメラの様々な実施形態を示す。図１Ａ～図１Ｄのプレノプティック画像化システムは、様々な画像化適用例、たとえば、静止フォトグラフィ、ビデオグラフィ、立体視フォトグラフィ、立体視ビデオグラフィ、マルチスペクトラルフォトグラフィ、およびマルチスペクトラルビデオグラフィにおいて実装され得る。ハンドヘルドカメラなどのデバイス、タブレットコンピュータ、モバイルフォン、ゲーミングコンソール、ラップトップ、パーソナルコンピュータ、ヘッドアップディスプレイシステムなどの拡張現実デバイス、防犯カメラなどが、図１Ａ～図１Ｄのプレノプティック画像化システムを搭載することができる。

#### 【 0 0 1 7 】

[0027] 図１Ａは、従来のプレノプティックカメラ１００aを示す。この図に示されている構成要素は、必ずしも互いに対して一定の縮尺であるとは限らない。従来のプレノプティックカメラは、メインレンズ１０５と、フォトセンサー１１５の前の距離 $f$ に配置されたマイクロレンズアレイ１１０とを含むことができる。いくつかの実装形態では、電荷結

50



合デバイス（ＣＣＤ）がフォトセンサー１１５として使用され得る。他の実装形態では、ＣＭＯＳ画像化センサーが、フォトセンサー１１５として使用され得る。マイクロレンズ１１０は、口径 $d$ と焦点距離 $f$ とを有することができ、間隔 $d$ で等間隔に離間していると仮定される。メインレンズ１０５は、マイクロレンズアレイ１１０の中心によって形成された平面（「マイクロレンズ平面」）に合焦させられ得、マイクロレンズ１１０は、光学的に無限遠において（等価的に、メインレンズ１０５において）合焦させられ得る。

【００１８】

[0028]メインカメラレンズ１０５の焦点距離が、マイクロレンズ１１０の焦点距離よりもはるかに大きいことを考慮すれば、各「マイクロカメラ」は、メインカメラレンズ口径において合焦させられ、撮影されている物体上に合焦させられないことがある。各マイクロレンズ画像は、したがって、その物体に対して完全に焦点がぼけており、放射輝度の角度分布のみを表すことがある。したがって、これらのマイクロ画像は、ぼやけて見え、人間が認識可能な画像を表さないことがある。各マイクロレンズ画像がその位置に応じて所与のロケーションをサンプリングし、他のマイクロレンズ画像と同じ角度範囲にわたることがあるので、従来のプレノプティックカメラ放射輝度画像から出力画像をレンダリングすることは、各マイクロレンズ下のピクセルのすべてを積分することによって達成され得る。各マイクロレンズ下のピクセルの固定部分を積分することは、１つのあるビューの画像を生成することができる。いくつかの実施形態では、各マイクロレンズは最終生成画像中の単一のピクセルに寄与する。

10

【００１９】

[0029]図１Ｂおよび図１Ｃは、いくつかの実施形態による、それぞれ、例示的な合焦プレノプティックカメラ１００ｂおよび１００ｃを示す。図１Ｂおよび図１Ｃに示されている構成要素は、必ずしも互いに対して一定の縮尺であるとは限らず、構成要素間の距離も必ずしも一定の縮尺であるとは限らず、構成要素のサイズも必ずしも一定の縮尺であるとは限らない。合焦プレノプティックカメラ１００ｂ、１００ｃは、少なくとも、メインレンズ１０５と、マイクロレンズアレイ１１０と、フォトセンサー１１５とを含み得る。図１Ａの従来のプレノプティックカメラシステム１００ａとは対照的に、合焦プレノプティックカメラ１００ｂ、１００ｃのマイクロレンズアレイ１１０は、無限遠において合焦させられる代わりに、メインカメラレンズの画像平面１２０上に合焦させられ得る。合焦プレノプティックカメラ１００ｂ、１００ｃでは、各マイクロレンズは、フォトセンサー１１５上にメインレンズ画像を再画像化することができる。マイクロレンズ１１０は、リレーシステムとして、メインレンズ画像の真画像のアレイを形成し、それにより、各々は、フォトセンサー１１５上にマイクロ画像を形成することができる。

20

30

【００２０】

[0030]（フォトセンサー１１５上へのマイクロレンズ１１０の投影によって形成された）マイクロカメラのアレイは、それらの前の「物体」を観測する。この「物体」は、図１Ｂおよび図１Ｃ中で影付き卵形として表されている、メインカメラレンズ１０５の後ろに形成されたシーンの空中３Ｄ画像である。したがって、図１Ｂおよび図１Ｃ中の卵形影付き領域１２５は、メインカメラレンズによってカメラの内側に形成された３次元（３Ｄ）画像を表す。図示のように、この３Ｄ画像１２５はマイクロレンズ１１０の後ろに延び得る。

40

【００２１】

[0031]図１Ｂはケプラー式望遠鏡システム１００ｂの一例を示し、ここにおいて、画像化されている画像平面１２０はマイクロレンズ１１０の前にある。メインレンズ１０５がマイクロレンズ１１０の後ろに画像を形成する場合、マイクロレンズ１１０が、図１Ｃの例示的なガリレイ式望遠鏡カメラ１００ｃなどにおけるフォトセンサー１１５上に現実画像を形成するように、その虚像上にマイクロレンズ１１０を合焦させることが依然として可能である。ケプラー式望遠鏡カメラ１００ｂとガリレイ式望遠鏡カメラ１００ｃの両方では、マイクロレンズ画像化は以下のレンズ方程式によって表され得る。

【数 1】

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \quad (1)$$

それぞれ、正の  $a$ （ケプラー式望遠鏡システム 100b）または負の  $a$ （ガリレイ式望遠鏡システム 100c）である。フォトセンサー上に再マッピングされるとき、メインレンズの画像はサイズが低減され得る。この低減は次のように示され得る。

10

【数 2】

$$m = \frac{a}{b} \quad (2)$$

【0022】

[0032] このスケーリングの結果として、プレノプティックカメラによってキャプチャされた放射輝度の空間解像度は、マイクロレンズ画像の解像度および、レンダリングにおける重複の量の関数になり、マイクロレンズの数の関数にはならない。解像度とマイクロレンズの数のこの分離は、合焦プレノプティックカメラ 100b、100c を従来のプレノプティックカメラ 100a と区別する。

20

【0023】

[0033] 従来のプレノプティックカメラ 100a と、合焦プレノプティックカメラ 100b、100c との間の別の違いは、各マイクロレンズによってキャプチャされる情報の性質にある。従来のプレノプティックカメラ 100a では、各マイクロレンズは、シーン中の 1 つの位置を画像化し、その角度情報のすべてをキャプチャする。合焦プレノプティックカメラ 100b、100c では、異なるマイクロレンズが同じ位置をキャプチャし、角度情報はマイクロレンズにわたって拡散させられる。したがって、合焦プレノプティックカメラ 100b、100c を用いてキャプチャされたフラットをレンダリングするために、レンダリングアルゴリズムは、単一のマイクロレンズ画像内ではなく、マイクロレンズ画像にわたって積分することができる。すなわち、タスクが、焦点が合っている「画像を画像化すること」であると仮定すると、レンダリングアルゴリズムは、画像中の同じ位置に対応するマイクロレンズにおけるポイントを、固定ピッチでそれらを重ね合わせることによって積分する。

30

【0024】

[0034] 図 1D は、いくつかの実施形態による、微小球体に基づく例示的な薄型プレノプティックカメラシステム 100d を示す。この例示的な薄型プレノプティックカメラ 100d は、図 1C に示された合焦プレノプティックカメラ 100c と同様であり得るが、マイクロレンズアレイは、微小球体 130 によって置き換えられている。微小球体 130 は、いくつかの技法のいずれかによって、フォトセンサー 115 の表面に取り付けられるかまたは固定され得、たとえば、透明接着材料の薄い層（たとえば、数ナノメートルの厚さ）が、フォトセンサー 115 のピクセル表面上に堆積され得るか、溶融ガラスまたは同様の物質のレイヤが、フォトセンサー 115 のピクセル表面上に堆積され得るか、あるいは微小球体 130 は、微小球体 130 を被覆しながら表面上が非常に平坦である物質中に埋め込まれ得る。適宜に選択および構成された構成要素では、図 1D に示されている薄型プレノプティックカメラは、約 5 mm（ミリメートル）の薄さか、またはより一層薄く、したがって、薄型モバイルデバイスにおいて使用するのに好適であり得る。

40

【0025】

50

【0035】図 1 A ~ 図 1 D は、本明細書で説明するラドンフォトグラフィ技法を行うことができる、例示的なプレノプティックカメラシステム 1 1 0 a ~ 1 1 0 d を示すものである。しかしながら、キャプチャされた画像データの量を低減するために、画像シーンの放射輝度をキャプチャすることが可能な任意のプレノプティックまたはライトフィールドカメラがラドンフォトグラフィ技法を実装することができることが諒解されよう。いくつかの実施形態では、カメラは、4 D 放射輝度データをキャプチャし、4 D 放射輝度データから 3 D ラドン画像を生成する代わりに、3 D ラドン画像を直接キャプチャすることができる。

#### 【 0 0 2 6 】

( 例示的なシステムの概要 )

10

【0036】図 2 に、ラドンフォトグラフィ能力を有する画像キャプチャデバイス 2 0 0 の一実施形態の高レベル概略ブロック図を示し、デバイス 2 0 0 は、カメラアセンブリ 2 0 1 にリンクされた画像プロセッサ 2 2 0 を含む構成要素のセットを有する。画像プロセッサ 2 2 0 はまた、ワーキングメモリ 2 6 5、メモリ 2 3 0、およびデバイスプロセッサ 2 5 5 と通信しており、デバイスプロセッサ 2 5 5 は、ストレージ 2 7 0 およびオプションの電子ディスプレイ 2 6 0 と通信している。

#### 【 0 0 2 7 】

【0037】デバイス 2 0 0 は、セルフォン、デジタルカメラ、タブレットコンピュータ、携帯情報端末などであり得る。本明細書で説明するような低減された量のプレノプティック画像データからレンダリングすることが利点を与えるであろう、多くのポータブルコンピューティングデバイスがある。デバイス 2 0 0 はまた、固定コンピューティングデバイス、またはラドンフォトグラフィ技法が有益であろう任意のデバイスであり得る。複数のアプリケーションが、ユーザにとってデバイス 2 0 0 上で利用可能であり得る。これらのアプリケーションは、旧来の写真およびビデオアプリケーション、高ダイナミックレンジ画像化、パノラマ写真およびビデオ、マルチスペクトラル写真およびビデオ、3 D 画像または 3 D ビデオなどの立体視画像化、ならびにプレノプティック写真およびビデオを含み得る。

20

#### 【 0 0 2 8 】

【0038】画像キャプチャデバイス 2 0 0 は、外部画像をキャプチャするためのプレノプティックカメラアセンブリ 2 0 1 を含む。カメラ 2 0 1 は、いくつかの実施形態では、図 1 A ~ 図 1 D に関して上記で説明したプレノプティックカメラ構成 1 0 0 a ~ 1 0 0 d のいずれかであり得る。メインレンズ 2 0 5、マイクロレンズ A 2 1 0 a ~ マイクロレンズ N 2 1 0 n、および単一の画像センサー 2 1 5 を用いて示されているが、例示的な図示以外のカメラ 2 0 1 の実施形態は、メインレンズ 2 0 5、マイクロレンズアレイ 2 1 0 a ~ 2 1 0 n、およびターゲット画像シーンの放射輝度データをキャプチャすることが可能なセンサー 2 1 5 の一部または全部の任意の組合せを有することができる。概して、N 個のマイクロレンズが使用され得、ここで、N 2 である。プレノプティックカメラアセンブリ 2 0 1 のいくつかの実施形態は、追加の構成要素、たとえば、立体視またはマルチスペクトラルプレノプティック画像データのキャプチャのための、追加のレンズアセンブリと、対応する追加の画像センサーとを有することができる。いくつかの実施形態では、デバイス 2 0 0 は、追加のカメラアセンブリ、たとえば、プレノプティックカメラアセンブリ 2 0 1 に加えて旧来の（非プレノプティック）カメラアセンブリを含むことができる。プレノプティックカメラアセンブリ 2 0 1 は、キャプチャされた画像を画像プロセッサ 2 2 0 に送信するために、画像プロセッサ 2 2 0 に結合され得る。

30

40

#### 【 0 0 2 9 】

【0039】画像プロセッサ 2 2 0 は、ラドンフォトグラフィ技法を実行するために、N 個のマイクロレンズに対応する N 個のマイクロ画像を備える受信された画像データに対して様々な処理演算を実行するように構成され得る。プロセッサ 2 2 0 は、汎用処理ユニット、または画像化アプリケーションのために特別に設計されたプロセッサであり得る。画像処理動作の例としては、クロッピング、（たとえば、異なる解像度への）スケーリング、画

50

像ステッチング、画像フォーマット変換、カラー補間、カラー処理、画像フィルタ処理（たとえば、空間画像フィルタ処理）、レンズアーティファクト、または欠陥補正などがある。プロセッサ 220 は、いくつかの実施形態では、複数のプロセッサを備え得る。プロセッサ 220 は、1 つまたは複数の専用画像信号プロセッサ（ISP）またはプロセッサのソフトウェア実装形態であり得る。

#### 【0030】

[0040] 図示のように、画像プロセッサ 220 はメモリ 230 とワーキングメモリ 265 とに接続される。図示の実施形態では、メモリ 230 は、キャプチャ制御モジュール 235 と、ラドンフォトグラフィモジュール 240 と、オペレーティングシステム 250 とを記憶する。ラドンフォトグラフィモジュール 240 は、サブモジュール、すなわち、ラドン画像生成器 242 と、発光密度計算器 244 と、フラットレンダリングモジュール 246 とを含む。メモリ 230 のモジュールは、様々な画像処理およびデバイス管理タスクを実行するようにデバイスプロセッサ 255 の画像プロセッサ 220 を構成する命令を含む。ワーキングメモリ 265 は、メモリ 230 のモジュールに含まれているプロセッサ命令のワーキングセットを記憶するために、画像プロセッサ 220 によって使用され得る。代替的に、ワーキングメモリ 255 はまた、デバイス 200 の動作中に作成された動的データを記憶するために、画像プロセッサ 220 によって使用され得る。

#### 【0031】

[0041] 上述のように、画像プロセッサ 220 は、メモリに記憶されたいくつかのモジュールによって構成される。キャプチャ制御モジュール 235 は、プレノプティックカメラアセンブリ 201 の焦点位置を調整するように画像プロセッサ 220 を構成する命令を含み得る。キャプチャ制御モジュール 235 は、デバイス 200 の全体的な画像キャプチャ機能を制御する命令をさらに含み得る。たとえば、キャプチャ制御モジュール 235 は、プレノプティックカメラアセンブリ 201 を使用してターゲット画像シーンの生プレノプティック画像データをキャプチャするように画像プロセッサ 220 を構成するためのサブルーチンを呼び出す命令を含み得る。一実施形態では、キャプチャ制御モジュール 235 は、次いで、キャプチャされたプレノプティック画像データのサイズを低減し、低減されたサイズの画像データを画像化プロセッサ 220 に出力するためにラドンフォトグラフィモジュール 240 を呼び出し得る。別の実施形態では、キャプチャ制御モジュール 235 は、次いで、画像化プロセッサ 220 にフラットで再合焦可能な画像を出力するために、生プレノプティックデータに対してレンダリング演算を実行するためにラドンフォトグラフィモジュール 240 を呼び出し得る。キャプチャ制御モジュール 235 はまた、生画像データ中のシーンが変化したとき、またはユーザがプレビュー画像の焦点を変更したとき、キャプチャされるべきシーンのプレビュー画像を出力し、一定の時間間隔でプレビュー画像を更新するために、生プレノプティック画像データに対してレンダリング演算を実行するためにラドンフォトグラフィモジュール 240 を呼び出し得る。

#### 【0032】

[0042] ラドンフォトグラフィモジュール 240 は、プレノプティックデータ処理および画像レンダリング演算の異なる部分を実行するためにサブモジュール ラドン画像生成器 242、発光密度計算器 244、およびフラットレンダリングモジュール 246 を呼び出すことができる。ラドン画像生成器 242 は、ラドン画像を生成するように画像プロセッサ 220 を構成する命令を含むことができ、ラドン画像は、生プレノプティック画像データと比較して、比較的少量のデータである。たとえば、ラドン画像生成器 242 は、プレノプティック画像データにラドン変換を適用するように画像プロセッサ 220 を構成する命令を含むことができる。ラドン画像生成器 242 のいくつかの実施形態は、記憶されたプレノプティック画像データに対して動作することができ、ラドン画像生成器 242 の他の実施形態は、プレノプティック画像データの構造を、記憶より前にそれがキャプチャされるように変更することができる。たとえば、以下でより詳細に説明するように、フォトセンサーのピクセルまたはマイクロ画像は、積分平面との交線に対応する行またはライン単位で走査され得、それらのピクセルまたはマイクロ画像に入射した光線の値が積分され

得る。いくつかの実施形態では、ラドンフォトグラフィモジュール 240 は、ストレージモジュール 270 に記憶するために、ラドン画像を画像プロセッサ 220 に送信することができる。いくつかの実施形態では、ラドンフォトグラフィモジュール 240 は、発光密度計算器 244 にラドン画像を送信することができる。

【0033】

[0043] 発光密度計算器 244 は、ラドン画像からプレノプティック画像データを生成するために、ラドン画像に対して処理演算を実行するようにプロセッサ 220 を構成する命令を含むことができる。たとえば、発光密度計算器 244 は、プレノプティックカメラアセンブリ 201 によってキャプチャされた元の発光密度を復元するか、または元の発光密度の近似値を復元するために、ラドン画像に逆ラドン変換を適用するようにプロセッサ 220 を構成する命令を含むことができる。

10

【0034】

[0044] フラットレンダリングモジュール 246 は、発光密度計算器 244 の出力に対してレンダリング演算を実行するように画像プロセッサ 220 を構成する命令を含むことができる。たとえば、フラットレンダリングモジュール 246 は、画像平面上に発光密度を投影することによって（プレノプティックフォトグラフィでは「フラット」と呼ばれることがある）画像を出力するように画像プロセッサ 220 を構成する命令を含むことができる。これは、異なる視点または異なる焦点深度においてフラットを生成することができる。プロセッサ 220 は、画像を記憶するか、またはユーザに対する表示のために画像を出力することができる。ここにおいて、ユーザは、プレノプティック画像データによってキャプチャされた様々な焦点深度を通して画像を動的に再合焦させることができ、プレノプティック画像データによってキャプチャされた様々な視点を通して画像の視点を動的に調整することができる。ユーザが、画像の焦点および/または視点を調整するためのコマンドを入力するので、フラットレンダリングモジュール 246 は、画像プロセッサ 220 に、ユーザコマンドに応答し、更新された画像をレンダリングすることを行わせる命令を含むことができる。いくつかの実施形態では、フラットレンダリングモジュール 246 は、3次元または立体視画像を出力し、ユーザ入力に基づいて画像を更新するように画像プロセッサ 220 を構成する命令を含むことができる。

20

【0035】

[0045] オペレーティングシステムモジュール 250 は、ワーキングメモリ 265 およびデバイス 200 の処理リソースを管理するように画像プロセッサ 220 を構成する。たとえば、オペレーティングシステムモジュール 250 は、カメラアセンブリ 201 など、ハードウェアリソースを管理するためのデバイスドライバを含み得る。したがって、いくつかの実施形態では、上記で説明した画像処理モジュールに含まれている命令は、これらのハードウェアリソースと直接対話しないが、代わりに、オペレーティングシステム構成要素 250 中にある標準サブルーチンまたは API を通して対話し得る。オペレーティングシステム 250 内の命令は、次いで、これらのハードウェア構成要素と直接対話し得る。オペレーティングシステムモジュール 250 は、デバイスプロセッサ 255 と情報を共有するように画像プロセッサ 220 をさらに構成し得る。

30

【0036】

[0046] デバイスプロセッサ 255 は、キャプチャされた画像、またはキャプチャされた画像のプレビューをユーザに対して表示するようにディスプレイ 260 を制御するように構成され得る。ディスプレイ 260 は、画像化デバイス 200 の外部にあり得るか、または画像化デバイス 200 の一部であり得る。ディスプレイ 260 はまた、画像をキャプチャすることより前の使用のためのプレビュー画像を表示するビューファインダーを提供するように構成され得るか、あるいは、メモリに記憶されたか、またはユーザによって最近キャプチャされた、キャプチャされた画像を表示するように構成され得る。ディスプレイ 260 は、LCD または LED スクリーンを備え得、タッチセンシティブ技術を実装し得る。

40

【0037】

50

[0047] デバイスプロセッサ 255 は、記憶モジュール 270 にデータ、たとえば、キャプチャされた画像を表すデータを書き込み得る。記憶モジュール 270 は従来のディスクデバイスとして図式的に表されているが、記憶モジュール 270 は任意の記憶メディアデバイスとして構成され得ることを当業者は理解されよう。たとえば、記憶モジュール 270 は、フロッピー（登録商標）ディスクドライブ、ハードディスクドライブ、光ディスクドライブまたは光磁気ディスクドライブなどのディスクドライブ、あるいはフラッシュメモリ、RAM、ROM、および/またはEEPROM（登録商標）などの固体メモリを含み得る。記憶モジュール 270 はまた、複数のメモリユニットを含むことができ、メモリユニットのいずれか 1 つが、画像キャプチャデバイス 200 内にあるように構成され得るか、または画像キャプチャデバイス 200 の外部にあり得る。たとえば、記憶モジュール 270 は、画像キャプチャデバイス 200 内に記憶されたシステムプログラム命令を含んでいる ROM メモリを含み得る。記憶モジュール 270 はまた、カメラから取外し可能であり得る、キャプチャされた画像を記憶するように構成されたメモリカードまたは高速メモリを含み得る。記憶モジュール 270 はまた、デバイス 200 の外部にあることがあり、一例では、デバイス 200 は、たとえば、ネットワーク接続上で記憶モジュール 270 にデータをワイヤレス送信し得る。

10

【0038】

[0048] 図 2 は、プロセッサと画像化センサーとメモリとを含むように別個の構成要素を有するデバイスを示しているが、これらの別個の構成要素は、特定の設計目標を達成するために様々な方法で組み合わせられ得ることを当業者は認識されよう。たとえば、代替実施形態では、メモリ構成要素は、たとえば、コストを節約し、および/または性能を改善するために、プロセッサ構成要素と組み合わせられ得る。

20

【0039】

[0049] さらに、図 2 は、いくつかのモジュールを備えるメモリ構成要素 230 と、ワーキングメモリを備える別個のメモリ 265 とを含む 2 つのメモリ構成要素を示しているが、異なるメモリアーキテクチャを利用するいくつかの実施形態を当業者は認識されよう。たとえば、設計は、メモリ 230 に含まれているモジュールを実装するプロセッサ命令の記憶のために、ROM または静的 RAM メモリを利用し得る。プロセッサ命令は、画像プロセッサ 220 による実行を可能にするために、RAM にロードされ得る。たとえば、ワーキングメモリ 265 は RAM メモリを備え、命令はプロセッサ 220 による実行の前にワーキングメモリ 265 にロードされ得る。

30

【0040】

（例示的なラドンフォトグラフィプロセスの概要）

[0050] 図 3 に、ラドンフォトグラフィプロセス 300 の一実施形態を示す。プロセス 300 は、図 2 に関して上記で説明した、ラドンフォトグラフィモジュール 240 およびそのサブコンポーネントによって実行されるものとして説明される。しかしながら、これは、説明のためであり、ラドンフォトグラフィ能力を有する任意のデバイスまたはシステムによって実行され得るプロセス 300 を制限するものではない。

【0041】

[0051] ブロック 305 において、ラドンフォトグラフィモジュール 240 は、たとえば、図 1A ~ 図 1D によって表されたプレノプティックカメラ 100a ~ 100d、あるいはプレノプティックまたはライトフィールド画像データをキャプチャすることが可能な他のカメラのいずれかであり得るプレノプティックカメラアセンブリ 201 から、プレノプティック画像データを受信することができる。ラドンフォトグラフィモジュール 240 は、いくつかの実施形態では、画像キャプチャの後にプレノプティック画像データの完全セットを受信し得る。他の実施形態では、ラドンフォトグラフィモジュール 240 は、画像キャプチャ中にプレノプティック画像データを受信し得る。たとえば、ラドンフォトグラフィモジュール 240 は、一例では、所定の積分平面に対応する部分中のプレノプティック画像データを受信し得る。

40

【0042】

50

[0052] ブロック 3 1 0 において、ラドンフォトグラフィモジュール 2 4 0 のラドン画像生成器 2 4 2 は、入力プレノプティック画像データからラドン画像を生成することができる。たとえば、ラドン画像生成器 2 4 2 は、1 つまたは複数の積分平面における光線の値の積分を計算するために、ラドン変換を適用することができる。

【 0 0 4 3 】

[0053] 発光密度  $f(x, y, z)$  を仮定すれば、ラドン画像  
【数 3】

$$\hat{f}_{\theta, \varphi}(r)$$

10

は、一実施形態では、すべての可能な平面にわたって関数値を積分することによって計算され得る。別の実施形態では、ラドン画像

【数 4】

$$\hat{f}_{\theta, \varphi}(r)$$

を計算するために、すべての可能な平面のサブセットが識別され得る。(1 つまたは複数の) 積分平面は、プレノプティックカメラのセンサー平面に垂直で、それと交差する平面であり得、(1 つまたは複数の) 積分平面の位置およびロケーションは、センサーの各別個のピクセル(またはマイクロレンズアレイによってセンサー上に形成された各別個のマイクロ画像)が、少なくとも 1 つの積分平面によってサンプリングされるように、センサーの構成に基づいて決定され得る。

20

【 0 0 4 4 】

[0054] 3 次元におけるラドン変換は、次のように表され得る。

【数 5】

$$\hat{f}_{a,b,c}(r) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y, z) \delta(az + by - r) dx dy dz \quad (3)$$

30

【 0 0 4 5 】

[0055] パラメータ、 $\theta$ 、 $\varphi$  によって与えられる平面のパラメータ化は、いくつかの実施形態では、ラドン画像から画像をレンダリングするために使用される逆ラドン変換を計算することによって有益であり得る。したがって、極座標において定義された平面のためのラドン変換は、下記の式(4)のように表され得る。

【数 6】

$$\hat{f}_{a,b,c}(r) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y, z) \delta(x \cos \varphi \sin \theta + y \sin \varphi \sin \theta + z \cos \theta - r) dx dy dz \quad (4)$$

40

【 0 0 4 6 】

[0056] ラドンフォトグラフィ技法の一例は、ブロック 3 1 5 に関してより詳細に説明するように、平面内に入るすべての光線を効果的に積分し、次いで、逆ラドン変換を適用することができる(すなわち、式(3)または(4)の逆)。

50

## 【 0 0 4 7 】

[0057]ブロック 3 1 5 において、ラドンフォトグラフィモジュール 2 4 0 の発光密度計算器 2 4 4 は、ポイントを通るラドン画像の平面のすべてにわたって加算することができる。これは、ラドン画像の逆投影を計算することができる。たとえば、発光密度計算器 2 4 4 は、式 ( 5 ) において以下で説明するようにラドン画像に逆ラドン変換を適用することができる。発光密度計算器 2 4 4 は、入力ラドン画像

## 【 数 7 】

$$\hat{f}_{\theta,\varphi}(r)$$

10

を取り、発光密度  $f(x, y, z)$  を再生することができる。逆フーリエ変換およびフーリエスライス定理を適用することによって、逆ラドン変換を決定するための式は、次のようになり得る。

## 【 数 8 】

$$f(x, y, z) = \frac{-1}{8\pi^2} \Delta_{x,y,z} \left( \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} \hat{f}_{\theta,\varphi}(r) \sin \theta d\theta d\varphi \right) \quad (5)$$

20

ここで、 は次によって与えられる。

## 【 数 9 】

$$r = x \cos \varphi \sin \theta + y \sin \varphi \sin \theta + z \cos \theta \quad (6)$$

特に、式 ( 5 ) は、ポアソン方程式と同じ形を有する。したがって、ラドン画像の逆投影は次のように表され得る。

30

## 【 数 1 0 】

$$f^1(x, y, z) = \sum_{\varphi=0}^{2\pi} \sum_{\theta=0}^{\pi} \hat{f}_{\theta,\varphi}(r) \sin \theta \quad (7)$$

ここで、 は式 ( 6 ) によって与えられ、  $f^1$  は逆投影されたラドン画像を表す。いくつかの実施形態では、  $f^1$  は、実関数の粗いバージョンのように見えることがある。

## 【 0 0 4 8 】

40

[0058]ブロック 3 2 0 において、発光密度計算器 2 4 4 は、画像シーンの元の発光密度、またはその近似値を復元するために、逆投影  $f^1$  にガウシアン of 3 次元ラプラシアンを適用することができる。いくつかの実施形態では、これは、元の関数  $f(x, y, z)$  のノイズの多いバージョンを生成することができ、それは、ノイズ除去の後に仮想光源の密度を与えることができる。したがって、いくつかの実施形態では、発光密度計算器 2 4 4 は、ガウシアン of 3 次元ラプラシアンを適用した後、逆投影  $f^1$  に対してノイズ除去を実行することができる。

## 【 0 0 4 9 】

[0059]ブロック 3 2 5 において、ラドンフォトグラフィモジュール 2 4 0 は、たとえば、一実施形態では、動的焦点およびバンテージポイントをもつ画像をレンダリングするた

50



めに、ブレノプティックデータの発光密度を出力することができる。画像平面上に発光密度を投影することは、異なる焦点深度または異なるバンテージポイントにおけるターゲット画像シーンの画像を生成することができる。一実施形態では、フラットレンダリングモジュール246は、発光密度からの画像のレンダリングを実行することができる。別の実施形態では、ラドンフォトグラフィモジュール240は、記憶のために発光密度を出力することができる。

【0050】

[0060]ブロック330において、フラットレンダリングモジュール246は、画像シーンの動的に再合焦可能なレンダリングされた画像を生成するために、画像平面上に発光密度を投影することができる。発光密度に基づいて、同じ画像シーンの、異なる視点からの画像および/または異なる焦点深度を有する画像がレンダリングされ得るという事実により、レンダリングされた画像は、「動的に再合焦可能である」と呼ばれる。

【0051】

[0061]オプションのブロック335において、フラットレンダリングモジュール246は、ユーザ入力に基づいて、レンダリングされた画像の焦点および/またはバンテージポイントを調整することができる。たとえば、フラットレンダリングモジュール246は、レンダリングされた画像がそれから取られたように見えるバンテージポイント、またはレンダリングされた画像の焦点深度の一方または両方を調整するためのオプションをユーザが選択したことを示すユーザ入力の指示を、デバイスプロセッサ255から受信することができる。

【0052】

(例示的なラドン画像生成プロセスの概要)

[0062]図4Aに、ラドン画像生成において使用され得るブレノプティックカメラ平面400の一実施形態を示す。平面400は、画像平面405と、マイクロレンズ平面430と、積分平面415と、センサー平面435とを含むことができる。画像平面405は、画像平面によって形成された平面、たとえば、ブレノプティックカメラのメインレンズの焦点のポイントを通過する平面を表すことができる。マイクロレンズ平面430は、ブレノプティックカメラのマイクロレンズアレイを通して形成された平面、たとえば、マイクロアレイのレンズの各々を二分する平面を表すことができる。積分平面415は、画像平面405とマイクロレンズ平面430の両方と交差する平面を表すことができる。積分平面415は、他の平面に対してあるロケーションに示されているが、いくつかの実施形態では、積分平面415のロケーションは、フォトセンサーのパラメータに基づいて変動することがあり、さらに、以下でより詳細に説明するように、ラドン画像を生成するために、複数の積分平面が使用され得る。センサー平面435は、ブレノプティックカメラのフォトセンサーの表面によって形成された平面を表すことができ、マイクロレンズアレイ内のマイクロレンズによって形成されたマイクロ画像に対応する複数の領域440を含むことができる。

【0053】

[0063]関係する物体の正しいパラメータ化は、ラドン画像の効率的な計算を助けることができる。一実施形態では、最初の2つのパラメータ(第1の座標)が画像平面405上の考慮中の光線420の開始ポイントのロケーションを示し、最後の2つのパラメータ(第2の座標)がマイクロレンズ平面430上の光線420の終了ポイントのロケーションを示す2平面パラメータ化が、ライトフィールドを表すために使用され得、ここで、画像平面405およびマイクロレンズ平面430は、距離Aだけ分離され得る。

【0054】

[0064]積分平面415に存在する光線420にわたって積分を計算するために、ラドンフォトグラフィ技法は、マイクロレンズライン425に沿って存在するマイクロレンズの対応するマイクロ画像440中で画像ライン410がその上にマッピングされるピクセルを決定することができる。一実施形態では、各マイクロレンズは1つのマイクロ画像に対応することができ、各マイクロ画像は画像センサーの1つのピクセルに対応することがで

きる。別の実施形態では、各マイクロ画像は画像センサーの複数のピクセルに対応することができる。画像ライン 4 1 0 は、画像平面 4 0 5 と積分平面 4 1 5 との交線を通過するベクトルを表すことができる。マイクロレンズライン 4 2 5 は、積分平面 4 1 5 とマイクロレンズ平面 4 3 0 との交線を通過するベクトルを表すことができる。

【 0 0 5 5 】

[0065] マイクロレンズライン 4 2 5 に沿って存在するピクセル / マイクロ画像の位置を特定するために、ラドンフォトグラフィ技法は、上記の式 ( 1 ) を使用して、マイクロレンズの焦点距離を計算し、マイクロレンズの倍率を計算することができる。これは、いくつかの実施形態では、マイクロレンズラインと交差するアレイ中の各マイクロレンズについて計算され、積分平面に存在する光線 4 2 0 に対応するピクセルの位置をラドンフォトグラフィ技法が特定することを可能にすることができる。

10

【 0 0 5 6 】

[0066] 光線が、メインレンズを通してカメラに入った後、平面 P 1 4 0 5 において現実画像を形成する、プレノプティックカメラのための単純なモデルの一例が図 4 A に示されている。この画像は、センサー平面 4 3 5 上に、平面 P 2 4 3 0 に位置するマイクロレンズの各々によって再画像化される。ラドンフォトグラフィ技法は、任意の平面 P 4 1 5 に存在するすべての光線 4 2 0 にわたって和を決定することができる。

【 0 0 5 7 】

[0067] 平面 P 4 1 5 に存在する光線の積分を計算するために、光線がマイクロレンズの各々によってマッピングされるセンサー平面 4 3 5 上の対応するピクセルを決定する必要がある。この目的で、ラドンフォトグラフィ技法は、 $(x_0, y_0)$  に配置された任意のマイクロレンズによって生成されたライン  $l_1$  4 1 0 の画像を決定することができる。ライン  $l_1$  の式は次によって与えられ得る。

20

【 数 1 1 】

$$ax + by = r \quad (8)$$

【 0 0 5 8 】

[0068] 同様に、ライン  $l_2$  の式は次によって与えられ得る。

30

【 数 1 2 】

$$ax + by = r = cA \quad (9)$$

【 0 0 5 9 】

[0069]  $(x_0, y_0)$  に配置されたマイクロレンズによるポイント  $(x, y)$  の画像は、次によって与えられ得る。

【 数 1 3 】

40

$$x_1 = -M(x - x_0), \quad y_1 = -M(y - y_0) \quad (10)$$

ここで、M はマイクロレンズの倍率である。上式からの  $x$  および  $y$  の値を、 $y = mx + d$  の形で書かれたライン  $l_1$  4 1 0 の式に代入すると、次が得られる。

【数 1 4】

$$y_1 = mx_1 - M(mx_0 + d - y_0) \quad (11)$$

【0 0 6 0】

[0070]式(11)の場合、原点は、マイクロレンズ平面430の光軸とセンサー平面430との交点に固定され、Mはマイクロレンズ倍率であり、mはマイクロレンズライン425の傾斜に等しく、次の通りであることに留意されたい。

10

【数 1 5】

$$m = \frac{-a}{b} = \cot \theta \quad (12)$$

【数 1 6】

$$d = \frac{r}{b} = \frac{r}{\sin \varphi \sin \theta} \quad (13)$$

20

ラドン画像

【数 1 7】

$$\hat{f}_{\theta, \varphi}(r)$$

30

は、平面P415によって交差された各マイクロレンズについて、式(11)によって表されるライン上に存在するすべてのピクセルにわたる加算によって取得され得る。これらのピクセルは、交線445によって図4A中で表されている。

【0 0 6 1】

[0071]図4Bに、ラドン画像生成において使用され得るピクセルまたはマイクロ画像440のセットの一実施形態を示す。図4Bは、交線445が上記の式(8)~(11)に従って決定されると、マイクロ画像またはピクセル440のセットが、ブレノプティックカメラフォトセンサーの複数のマイクロ画像またはピクセル440からどのように選択され得るかの一例を示す。図示の例では、(橙色を使用して図示されている)ライン445が通過する各マイクロ画像/ピクセル440は、影付きマイクロ画像450によって表されるように、対応する積分平面415のラドン変換を計算するために選択され得る。ラドン変換は、選択されたマイクロ画像450のピクセル値を使用して計算され得る。図4Bは、ピクセル強度値を合計することによって行われ得る、所与のマイクロ画像中のピクセル450にわたって積分することの一例を示す。ラドン画像

40

【数 1 8】

 $f$ 

を計算するために、図 3 のブロック 3 1 5 に関して上記で説明したように、複数の積分平面が使用される。

【0 0 6 2】

[0072] 図 4 C に、ラドン画像生成において使用され得る積分ライン 4 6 0 の一実施形態を示す。積分ライン 4 6 0 は、複数の交線、すなわち、センサー平面 4 3 5 上への画像ライン / マイクロレンズラインのマッピングに対応し、したがって、ラドン画像

10

【数 1 9】

 $f$ 

を生成するために使用される複数の積分平面のエッジを表すことができる。

【0 0 6 3】

20

[0073] 図 4 C に示されているように、複数の積分ライン 4 6 0 は、4 5 5 がそれだけ変化させられるステップが十分に高いとき、プレノプティックカメラのマイクロレンズに対応する別個のマイクロ画像 4 4 0 をサンプリングする。各マイクロ画像 4 4 0 が少なくとも 1 つの積分ライン 4 6 0 によってサンプリングされることを保証するための 1 つの方法は、センサー平面 4 3 5 上の開始ポイント（ここでは、センサー平面 4 3 5 のコーナー角として図示されている）から、センサー平面 4 3 5 の少なくとも 1 つの境界に沿った各マイクロ画像 4 4 0 へのライン（ここでは、各マイクロ画像 4 4 0 の外縁のほぼ中心において終了するように図示されており、外縁はセンサー平面 4 3 5 の境界である）を生成することである。隣接するラインの各ペアによって形成された角度が測定され得、最も小さい角度がステップサイズ 4 5 5 として選択され得る。これは、ののためのステップサイズを決定することの一例を表す。

30

【0 0 6 4】

[0074] 上記の式中のパラメータ、およびののための開始値および終了値ならびにステップサイズについての選定は、ライトフィールド空間のサンプリングを決定することができる。パラメータは、プレノプティックセンサーにわたる積分ライン間のステップサイズを表すことができる。ののためのステップサイズを決定するための一実施形態について、図 4 C に関して上記で説明した。別の実施形態では、は、0 3 6 0 から 1 度サイズのステップで変化させられ得る。このサンプリングは、7 5 × 7 5 領域を有するプレノプティックセンサーを使用してキャプチャされた画像についての一例では十分であり得る。より密なサンプリング（たとえば、ののためのより小さいステップサイズ）は、ピクセルの同じセットをサンプリングする隣接するラインにより、追加情報を与えず、冗長情報、ラドン画像のためのより大きいデータサイズ、より大きいプロセッサ使用量、およびより長いランタイムにつながり得る。

40

【0 0 6 5】

[0075] 平面をパラメータ化するために使用される球体の中心である原点のためのロケーションの選定はまた、ラドン変換に必要な計算に影響を及ぼすことがある。メインレンズによって画像化されたシーンの点群の中心に原点を配置することは、わずかにより高品質のサンプリングを与え得るが、中心を正確に計算することは、コストがかかることがあり、必要とされない。したがって、以下の式を使用することによって、いくつかの実施形態は中心を計算することができ、他の実施形態は中心（center）の近似値を求めることがで

50

きる。

【数 2 0】

$$center = \frac{B(\frac{1}{M_{closest}} + \frac{1}{M_{farthest}})}{2} \quad (14)$$

ここで、 $M_{closest}$  および  $M_{farthest}$  は、マイクロレンズアレイに関する考慮中のシーンのための倍率の最小値および最大値であり、 $B$  はマイクロレンズ平面 430 とセンサー平面 435 との間の距離を表す。マイクロレンズアレイに関して所与のポイントの近似倍率を計算することの一例が、ポイントが行において繰り返される回数と、マイクロ画像中の水平ピクセルの数との間の比によって与えられる。

【0066】

[0076] パラメータ  $r$  は、積分平面に直角でもある原点を通過するベクトルを表すことができる。 $r$  が一実施形態において有することができる最大値 ( $r_{max}$ ) は、垂直および水平方向におけるピクセルの数から決定される、センサー上に形成された画像の対角線の長さである。一実施形態では、1つのピクセルのセンサートレランスより、より小さいステップサイズがラドン画像からのプレノプティック関数の再構成を著しくは改善しないことがあるので、 $r$  は 1 と  $r_{max}$  との間で 1 のステップで変化させられ得る。より小さいステップサイズは、しかしながら、より密なサンプリングにより、ランタイムの著しい増加の一因となり得る。

【0067】

[0077] パラメータ  $\theta$  は、ベクトル  $r$  と、3次元画像シーンにマッピングされた ( $x, y, z$ ) 座標系における  $z$  軸との間の角度を表すことができる。上記の式では、 $r$  がそれにわたって変化させられる間隔は、3次元ターゲット画像シーンを表すデータにおける  $z$  軸に沿った深度値とのその関連付けにより、実質的に再合焦の一因となる。一実施形態では、 $r$  は、1のステップサイズを用いて、80と100との間で変化させられ得る。

【0068】

[0078] 図5に、入力ライトフィールドデータからラドン画像を生成するためのプロセス500の一実施形態を示す。プロセス500は、図2に関して上記で説明した、ラドンフォトグラフィモジュール240およびそのサブコンポーネントによって実行されるものとして説明される。しかしながら、これは、説明のためであり、ラドンフォトグラフィ能力を有する任意のデバイスまたはシステムによって実行され得るプロセス500を制限するものではない。

【0069】

[0079] ブロック505において、ラドンフォトグラフィモジュール240は、たとえば、図1A～図1Dによって表されたプレノプティックカメラ100a～100d、あるいはプレノプティックまたはライトフィールド画像データをキャプチャすることが可能な他のカメラのいずれかであり得るプレノプティックカメラアセンブリ201から、プレノプティック画像データを受信することができる。ラドンフォトグラフィモジュール240は、いくつかの実施形態では、画像キャプチャの後にプレノプティック画像データの完全セットを受信し得る。他の実施形態では、ラドンフォトグラフィモジュール240は、画像キャプチャ中にプレノプティック画像データを受信し得る。たとえば、ラドンフォトグラフィモジュール240は、一例では、所定の積分平面に対応する部分中のプレノプティック画像データを受信し得る。

【0070】

[0080] ブロック510において、ラドン画像生成器242は積分平面を識別することができる。いくつかの実施形態では、ラドン画像生成器242は、ピクセルサイズなど、センサーパラメータを示すデータを受信することができ、図4Cに関して上記で説明したように、センサーの各別個のピクセル、またセンサー上に形成されたマイクロ画像をサンブ

リングするように集合的に動作する 1 つまたは複数の積分平面を決定することができる。他の実施形態では、ラドン画像生成器 242 は、積分平面の数およびロケーションを示すデータを、たとえば、そのような情報をデータストア 270 から取り出す画像プロセッサ 220 から受信することができる。たとえば、ラドン画像を生成するために必要とされる 1 つまたは複数の積分平面は、センサーのためにあらかじめ決定され得る。いくつかの実施形態では、ブロック 510 はオプションであり得る。あらかじめ決定された積分平面が、積分平面と交差するとあらかじめ決定されたピクセルまたはマイクロ画像について、ピクセルのみ、またはマイクロ画像に対応する複数のピクセルを走査するために使用され得、この部分的なプレノプティック画像データは、ラドン変換の適用のためにラドンフォトグラフィモジュール 240 に送られ得る。

10

#### 【0071】

[0081] ブロック 515 において、ラドン画像生成器 242 は、決定された積分平面と、プレノプティックカメラのマイクロレンズアレイとの交線を表すマイクロレンズラインを決定することができる。たとえば、マイクロレンズライン 425 を図 4A に関して上記で示した。ブロック 520 において、ラドン画像生成器 242 は、センサー上の特定のピクセルおよび / またはマイクロ画像にマイクロレンズラインをマッピングすることができる。これは、一例では、上記で説明した式 (11) によって達成され得る。いくつかの実施形態では、積分平面ならびにそれらの対応するマイクロレンズラインおよびマイクロレンズラインにマッピングされたピクセル / マイクロ画像は、画像キャプチャに先立って計算され得、このデータは、入力プレノプティック画像データへのラドン変換の適用中にラドン画像生成器 242 によって取り出され得る。さらなる実施形態では、データがセンサーによってキャプチャされるとき、データをセグメント化するために、所定のマイクロレンズラインにマッピングされたピクセルを示すあらかじめ計算されたデータが使用され、現在の積分平面に関連するピクセル値のみをラドン画像生成器に送り得、ブロック 515 および 520 はオプションであり得る。

20

#### 【0072】

[0082] ブロック 525 において、ラドン画像生成器 242 は、マイクロレンズラインにマッピングされたピクセル値の和を計算することができる。これは、一実施形態では、マイクロレンズラインにマッピングされたマイクロ画像内の各ピクセルについて、マイクロ画像ごとに個々に行われ得る。一例では、ラドン画像生成器 242 は、上記の式 (3) および (4) のうちのいずれかを使用して、ピクセル値の和を計算することができる。

30

#### 【0073】

[0083] 上記で詳述したプロセス 500 は、いくつかの実施形態では、ラドン画像を計算するために必要とされると決定された各積分平面について繰り返され得る。

#### 【0074】

[0084] プロセス 500 のいくつかの実施形態は、既存の、または記憶されたプレノプティック画像データの構造を変更するために、画像キャプチャの後に実装され得る。プロセス 500 の他の実施形態は、プレノプティック画像データの構造を、それがキャプチャされるときに変更するために、画像キャプチャ中に実装され得る。たとえば、交線は、図 4C によって示されるように、交線が各別個のピクセルまたはマイクロ画像をサンプリングするように、画像キャプチャより前にあらかじめ決定され得る。交線に対応するピクセルは、上記の式 (11) に従って決定され得る。画像キャプチャ中に、フォトセンサーのピクセルは、対応する交線に従って、行またはライン単位で走査され得る。いくつかの実施形態は、各交線について連続的にピクセルを走査し得、したがって、交線に対応する各積分平面の積分値は、たとえば、ピクセル強度値に少なくとも部分的に基づいて、連続的に計算され得る。他の実施形態では、積分平面のための値は並列に計算され得る。それらのピクセルまたはマイクロ画像に入射した (ピクセル値によって表される) 光線の値は、式 (4) において表される平面のラドン変換に従って、加算または積分され得る。積分平面にわたる光線の和を表す、得られた値は、ラドン画像として記憶され得る。一実施形態では、ラドン画像データは、サンプリングされた平面毎に 1 つの値をもつ値のアレイとして

40

50

表され得、ここにおいて、アレイ中の値は、その平面にわたる光線の和である。

【 0 0 7 5 】

( ラドン画像の積分のための例示的なプロセスの概要 )

[0085] 図 6 に、ラドン画像からプレノプティック画像データを生成するためのプロセス 6 0 0 の一実施形態を示す。プロセス 6 0 0 は、図 2 に関して上記で説明した、ラドンフォトグラフィモジュール 2 4 0 およびそのサブコンポーネントによって実行されるものとして説明される。しかしながら、これは、説明のためであり、ラドンフォトグラフィ能力を有する任意のデバイスまたはシステムによって実行され得るプロセス 6 0 0 を制限するものではない。

【 0 0 7 6 】

[0086] ブロック 6 0 5 において、発光密度計算器 2 4 4 は、たとえば、ラドン画像計算器 2 4 2 から、またはストレージ 2 7 0 に記憶されたラドン画像を取り出す画像プロセッサ 2 2 0 から、ラドン画像データを受信することができる。ラドン画像は、画像センサーに入射した光線の加算されたエネルギーに関するプレノプティック画像データの旧来の表現ではなく、キャプチャするプレノプティックカメラの画像センサーと交差する平面にわたる加算されたエネルギーに関するプレノプティック関数の表現であり得る。

【 0 0 7 7 】

[0087] ブロック 6 1 0 において、発光密度計算器 2 4 4 は、ラドン画像の逆投影を通して中間関数を計算することができる。一実施形態では、これは、上記で定義した式 ( 7 ) を通して達成され得る。逆投影は、3次元画像空間中の各平面上に定義されたラドン画像関数を取り、元の発光密度を再生するために、画像空間にわたって平面を投影することができる。逆投影は、いくつかの実施形態では、元のプレノプティック関数のぼやけたバージョンであり得る。

【 0 0 7 8 】

[0088] ブロック 6 1 5 において、発光密度計算器 2 4 4 は、逆投影を鮮明にし、それを元のプレノプティック関数により近づけるために、ぼやけた逆投影にガウシアン演算子の適用を適用することができる。しかしながら、ガウシアン演算子の適用は、いくつかの実施形態では、望ましくないノイズを逆投影に加えることがある。

【 0 0 7 9 】

[0089] したがって、ブロック 6 2 0 において、発光密度計算器 2 4 4 は、元のプレノプティック関数を復元するか、または元のプレノプティック関数を実質的に復元するために、ガウシアン演算子の適用の後、逆投影のノイズ除去を行うことができる。

【 0 0 8 0 】

( システムの実装および用語 )

[0090] 本明細書で開示した実装形態は、プレノプティック画像データをキャプチャし、プレノプティック画像データからレンダリングするためのシステム、方法および装置を提供する。これらの実施形態は、ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、またはそれらの任意の組合せで実装され得ることを当業者は認識されよう。

【 0 0 8 1 】

[0091] いくつかの実施形態では、上記で説明した回路、プロセス、およびシステムは、ワイヤレス通信デバイスにおいて利用され得る。ワイヤレス通信デバイスは、他の電子デバイスとワイヤレス通信するために使用される一種の電子デバイスであり得る。ワイヤレス通信デバイスの例としては、セルラー電話、スマートフォン、携帯情報端末 ( P D A ) 、電子リーダー、ゲームシステム、音楽プレーヤー、ネットブック、ワイヤレスモデム、ラップトップコンピュータ、タブレットデバイスなどがある。

【 0 0 8 2 】

[0092] ワイヤレス通信デバイスは、1つまたは複数の画像センサー、2つまたはそれ以上の画像信号プロセッサ、上記で説明した C N R プロセスを行うための命令またはモジュールを含むメモリを含み得る。デバイスはまた、データと、メモリから命令および/または

10

20

30

40

50

はデータをロードするプロセッサと、1つまたは複数の通信インターフェースと、1つまたは複数の入力デバイスと、ディスプレイデバイスなどの1つまたは複数の出力デバイスと、電源/電力インターフェースとを有し得る。ワイヤレス通信デバイスは、さらに、送信機と受信機とを含み得る。送信機と受信機とはまとめてトランシーバと呼ばれることがある。トランシーバは、ワイヤレス信号を送信および/または受信するために、1つまたは複数のアンテナに結合され得る。

【0083】

[0093]ワイヤレス通信デバイスは、別の電子デバイス(たとえば、基地局)にワイヤレスに接続し得る。ワイヤレス通信デバイスは、代替的に、モバイルデバイス、移動局、加入者局、ユーザ機器(UE)、遠隔局、アクセス端末、モバイル端末、端末、ユーザ端末、加入者ユニットなどと呼ばれることがある。ワイヤレス通信デバイスの例としては、ラップトップまたはデスクトップコンピュータ、セルラーフォン、スマートフォン、ワイヤレスモデム、電子リーダー、タブレットデバイス、ゲームシステムなどがある。ワイヤレス通信デバイスは、第3世代パートナーシッププロジェクト(3GPP(登録商標))など、1つまたは複数の業界規格に従って動作し得る。したがって、「ワイヤレス通信デバイス」という一般的な用語は、業界規格に従って異なる名称を用いて表されるワイヤレス通信デバイス(たとえば、アクセス端末、ユーザ機器(UE)、リモート端末など)を含み得る。

【0084】

[0094]本明細書で説明した機能は、1つまたは複数の命令としてプロセッサ可読媒体またはコンピュータ可読媒体上に記憶され得る。「コンピュータ可読媒体」という用語は、コンピュータまたはプロセッサによってアクセスされ得る任意の利用可能な媒体を指す。限定ではなく例として、そのような媒体は、RAM、ROM、EEPROM、フラッシュメモリ、CD-ROMまたは他の光ディスクストレージ、磁気ディスクストレージまたは他の磁気ストレージデバイス、あるいは命令またはデータ構造の形態の所望のプログラムコードを記憶するために使用され得、コンピュータによってアクセスされ得る、任意の他の媒体を備え得る。本明細書で使用するディスク(disk)およびディスク(disc)は、コンパクトディスク(disc)(CD)、レーザディスク(登録商標)(disc)、光ディスク(disc)、デジタル多用途ディスク(disc)(DVD)、フロッピーディスク(disk)およびBlu-ray(登録商標)ディスク(disc)を含み、ディスク(disk)は、通常、データを磁氣的に再生し、ディスク(disc)は、データをレーザで光学的に再生する。コンピュータ可読媒体は有形で非一時的であり得ることに留意されたい。「コンピュータプログラム製品」という用語は、コンピューティングデバイスまたはプロセッサによって実行、処理または計算され得るコードまたは命令(たとえば、「プログラム」と組み合わせたコンピューティングデバイスまたはプロセッサを指す。本明細書で使用する「コード」という用語は、コンピューティングデバイスまたはプロセッサによって実行可能であるソフトウェア、命令、コードまたはデータを指すことがある。

【0085】

[0095]ソフトウェアまたは命令はまた、伝送媒体を介して送信され得る。たとえば、ソフトウェアが、同軸ケーブル、光ファイバーケーブル、ツイストペア、デジタル加入者回線(DSL)、または赤外線、無線、およびマイクロ波などのワイヤレス技術を使用して、ウェブサイト、サーバ、または他のリモートソースから送信される場合、同軸ケーブル、光ファイバーケーブル、ツイストペア、DSL、または赤外線、無線、およびマイクロ波などのワイヤレス技術は、送信媒体の定義に含まれる。

【0086】

[0096]本明細書で開示した方法は、説明した方法を達成するための1つまたは複数のステップまたはアクションを備える。本方法のステップおよび/またはアクションは、特許請求の範囲から逸脱することなく互いに交換され得る。言い換えれば、本明細書で説明した方法の適切な動作のためにステップまたはアクションの特定の順序が必要とされない限り、特定のステップおよび/またはアクションの順序および/または使用は、特許請求の

10

20

30

40

50



範囲を逸脱することなく修正され得る。

【0087】

[0097]「結合する(couple)」、「結合すること(coupling)」、「結合される(coupled)」という用語、または本明細書で使用する結合するという単語の他のバリエーションは、間接接続または直接接続のいずれかを示し得ることに留意されたい。たとえば、第1の構成要素が第2の構成要素に「結合される」場合、第1の構成要素は、第2の構成要素に間接的に接続されるか、または第2の構成要素に直接的に接続されるかのいずれかであり得る。本明細書で使用する「複数」という用語は、2つまたはそれ以上を示す。たとえば、複数の構成要素は、2つまたはそれ以上の構成要素を示す。

【0088】

[0098]「決定すること」という用語は、多種多様なアクションを包含し、したがって、「決定すること」は、計算すること、算出すること、処理すること、導出すること、調査すること、ルックアップすること(たとえば、テーブル、データベースまたは別のデータ構造においてルックアップすること)、確認することなどを含むことができる。また、「決定すること」は、受信すること(たとえば、情報を受信すること)、アクセスすること(たとえば、メモリ中のデータにアクセスすること)などを含むことができる。また、「決定すること」は、解決すること、選択すること、選定すること、確立することなどを含むことができる。

【0089】

[0099]「に基づいて」という句は、別段に明示されていない限り、「のみに基づいて」を意味しない。言い換えれば、「に基づいて」という句は、「のみに基づいて」と「に少なくとも基づいて」の両方を表す。

【0090】

[0100]上記の説明では、例の完全な理解を与えるために具体的な詳細を与えた。ただし、例はこれらの具体的な詳細なしに実施され得ることを当業者は理解されよう。たとえば、電氣的構成要素/デバイスは、例を不必要な詳細で不明瞭にしないためにブロック図で示されることがある。他の事例では、そのような構成要素、他の構造、および技法は、例をさらに説明するために詳細に図示されることがある。

【0091】

[0101]参照のために、および様々なセクションの位置を特定することを助けるために、本明細書に見出しが含まれている。これらの見出しは、それに関して説明した概念の範囲を制限するものではない。そのような概念は、明細書全体にわたって適用可能性を有し得る。

【0092】

[0102]また、例は、フローチャート、流れ図、有限状態図、構造図、またはブロック図として示されるプロセスとして説明されることがあることに留意されたい。フローチャートは動作を逐次プロセスとして説明されることがあるが、動作の多くは並列にまたは同時に実施され得、プロセスは繰り返され得る。さらに、動作の順序は並べ替えられ得る。プロセスは、その動作が完了したときに終了する。プロセスは、メソッド、関数、プロシージャ、サブルーチン、サブプログラムなどに対応し得る。プロセスがソフトウェア関数に対応するとき、その終了は呼出し関数またはメイン関数への関数の復帰に対応する。

【0093】

[0103]開示する実装形態の以上の説明は、当業者が本発明を実施または使用することができるように与えたものである。これらの実装形態への様々な変更は当業者には容易に明らかになり、本明細書で定義した一般原理は、本発明の趣旨または範囲から逸脱することなく他の実装形態に適用され得る。したがって、本発明は、本明細書で示した実装形態に限定されるものではなく、本明細書で開示する原理および新規の特徴に一致する最も広い範囲を与えられるべきである。

10

20

30

40

【図 1 A】

図 1A

プレノプティック画像化システム

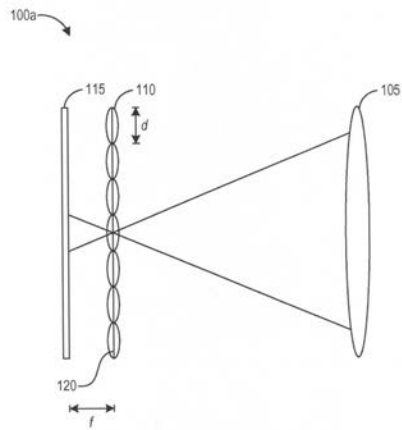


FIG. 1A

【図 1 B】

図 1B

プレノプティック画像化システム

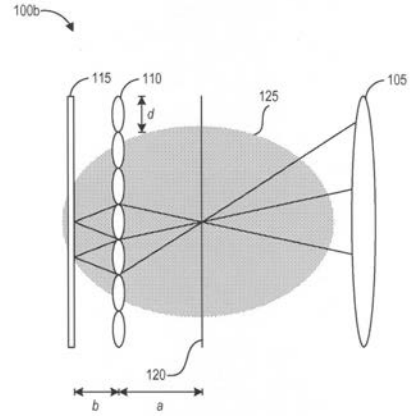


FIG. 1B

【図 1 C】

図 1C

プレノプティック画像化システム

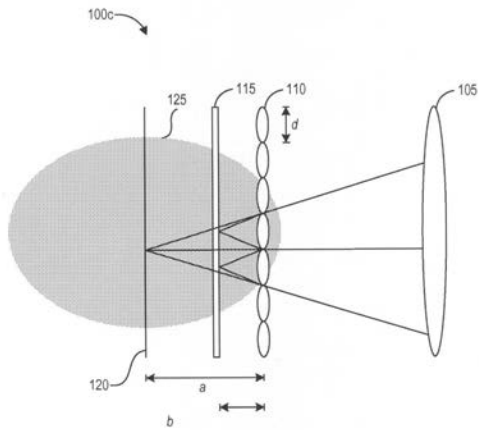


FIG. 1C

【図 1 D】

図 1D

プレノプティック画像化システム

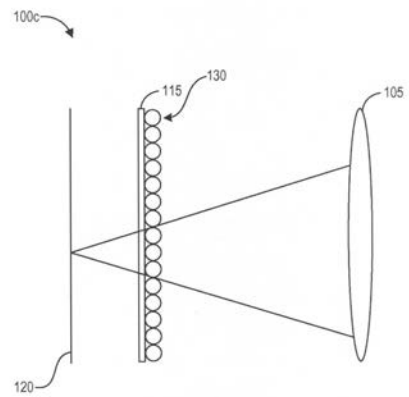
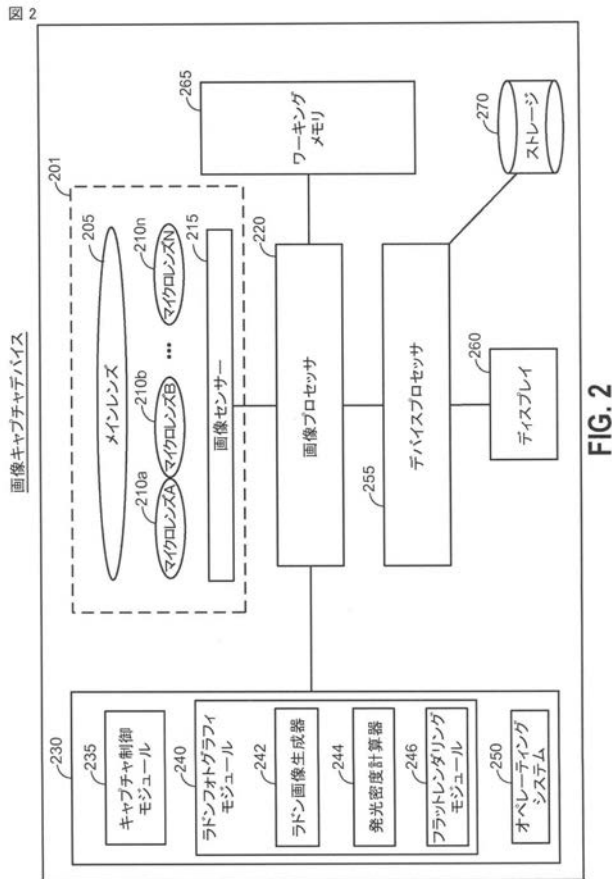
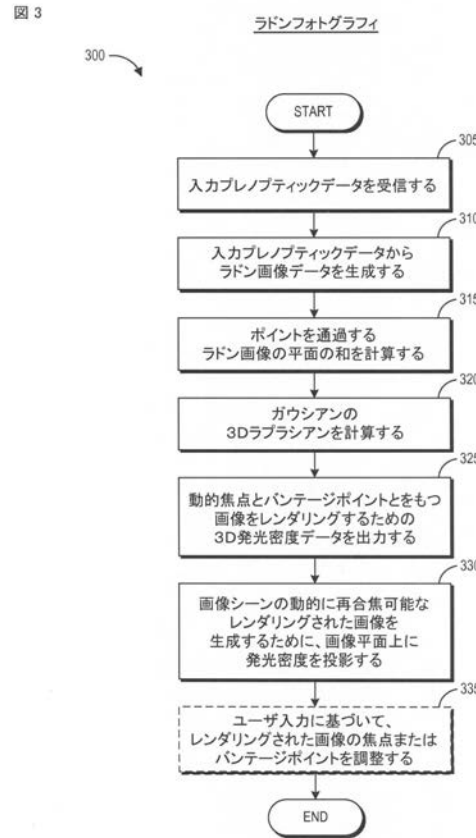


FIG. 1D

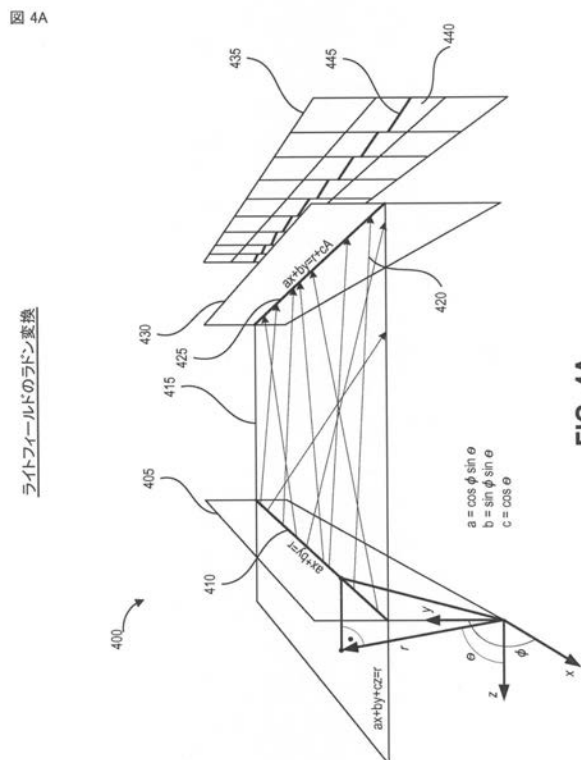
【図 2】



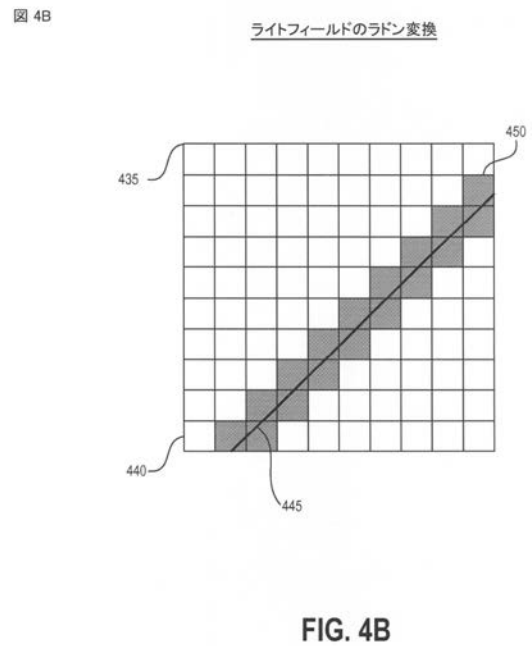
【図 3】



【図 4 A】



【図 4 B】



【図 4 C】

図 4C

ライトフィールドのラドン変換

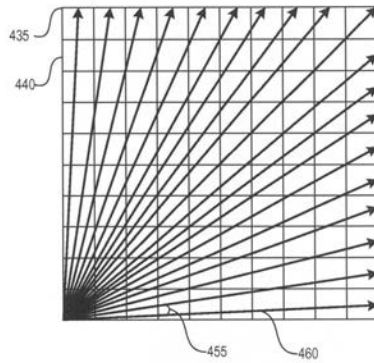


FIG. 4C

【図 5】

図 5

ライトフィールドのラドン変換

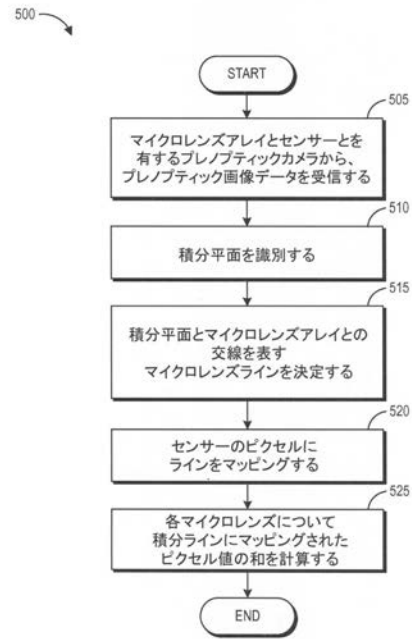


FIG. 5

【図 6】

図 6

ラドン画像の積分

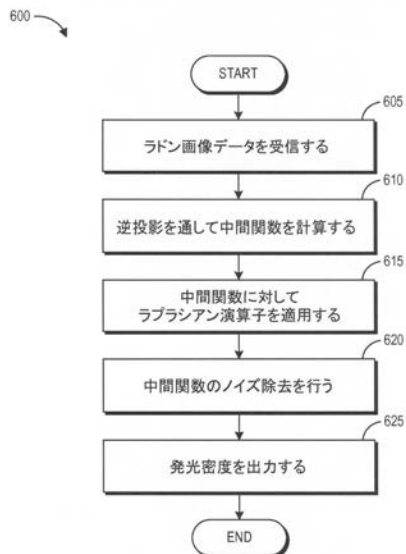


FIG. 6

## 【手続補正書】

【提出日】平成29年1月6日(2017.1.6)

## 【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

最終画像をレンダリングするための電子デバイスにおけるシステムであって、

前記システムは、

マイクロレンズアレイと画像センサーとを含み、画像シーンのプレノプティック画像データをキャプチャするように構成されたプレノプティックカメラと、

前記プレノプティックカメラとデータ通信しており、少なくとも、

前記画像センサー上に前記画像シーンからの光を合焦させる前記マイクロレンズアレイ中の複数のマイクロレンズのうちの1つによってそれぞれ形成された複数のマイクロ画像を含むキャプチャされたプレノプティック画像データを受信することと、

前記マイクロレンズアレイを二分する平面内に位置し、各々が前記画像シーンの3次元空間を通して延びる平面に対応する複数の積分ラインを決定することと、

前記マイクロレンズアレイを二分する平面内に位置する複数の積分ラインの積分ライン毎に、当該積分ラインに沿って存在するマイクロレンズアレイのマイクロレンズによって前記画像シーンからの光がマッピングされる前記画像センサーの複数のピクセルを決定することと、

前記キャプチャされたプレノプティック画像データからの前記複数のピクセルの値に少なくとも部分的に基づいて、ラドン画像を生成することと

を行うように構成された1つまたは複数のプロセッサとを備えるシステム。

## 【請求項 2】

前記1つまたは複数のプロセッサは、前記複数の積分ラインの積分ライン毎に、前記複数のマイクロ画像のうちの少なくとも1つの対応するマイクロ画像に当該積分ラインをマッピングすることによって対応する画像ラインを決定することにより、前記複数のピクセルを決定するようにさらに構成された、請求項1に記載のシステム。

## 【請求項 3】

前記1つまたは複数のプロセッサは、前記複数のピクセルとの前記対応する画像ラインの交差に少なくとも部分的に基づいて、前記複数のピクセルを識別するようにさらに構成された、請求項2に記載のシステム。

## 【請求項 4】

前記1つまたは複数のプロセッサは、前記複数の積分ラインの各々について、前記対応する画像ラインと交差する前記複数のピクセルの各々に関連付けられたピクセル値の和を決定することによって、複数の加算されたピクセル値を生成するようにさらに構成された、請求項3に記載のシステム。

## 【請求項 5】

前記1つまたは複数のプロセッサは、前記複数の加算されたピクセル値のアレイとして、前記ラドン画像を生成するようにさらに構成された、請求項4に記載のシステム。

## 【請求項 6】

前記ピクセル値は強度値である、請求項4に記載のシステム。

## 【請求項 7】

最終画像をレンダリングするための電子デバイスにおけるシステムであって、

前記システムは、少なくとも、画像シーンの複数のサンプリングされた平面の各サンプリングされた平面について、前記サンプリングされた平面における光エネルギーの和を表

すラドン画像を表すデータにアクセスするように構成された第 1 のモジュールを備え、  
前記画像シーンのプレノプティック画像データをキャプチャするための画像センサーが、  
マイクロレンズアレイを通じて前記画像シーンからの光を受け取るように配置され、  
前記光エネルギーの和は、少なくとも部分的に、

前記マイクロレンズアレイを二分する平面内に位置し、各々が前記画像シーンの 3 次元空間を  
通って延びる平面に対応する複数の積分ラインを決定することと、

前記複数の積分ラインの積分ライン毎に、当該積分ラインに沿って存在するマイクロ  
レンズアレイのマイクロレンズによって前記画像シーンからの光がマッピングされる前記  
画像センサーの複数のピクセルを決定することと、

前記複数のピクセルの値を合計することと

によって計算され、

前記システムは、

少なくとも、前記ラドン画像の前記複数のサンプリングされた平面の各サンプリングされた平面からの光エネルギーの前記和を積分することに少なくとも部分的に基づいて、前記画像シーンの発光密度を決定するように構成された第 2 のモジュールと、

少なくとも、画像平面上に前記発光密度を投影し、前記最終画像を生成するように構成された第 3 のモジュールと

を備えるシステム。

【請求項 8】

前記最終画像は、キャプチャされた画像シーンの異なる視点または異なる焦点深度を有するように調整することが可能である、請求項 7 に記載のシステム。

【請求項 9】

前記ラドン画像は、前記画像シーンのキャプチャされたプレノプティック画像データから生成される、請求項 7 に記載のシステム。

【請求項 10】

前記キャプチャされたプレノプティック画像データは、前記画像シーン中の物体から画像センサーに入射した複数の光線の強度で前記画像シーンのライトフィールドを表す、請求項 9 に記載のシステム。

【請求項 11】

前記ラドン画像は、前記画像シーン中に位置する平面に含まれているエネルギーで前記ライトフィールドを表し、

前記平面は前記画像センサーと交差する、

請求項 10 に記載のシステム。

【請求項 12】

前記第 1 のモジュールは、前記キャプチャされたプレノプティック画像データを受信し、前記キャプチャされたプレノプティック画像データから前記ラドン画像を生成するようにさらに構成された、請求項 9 に記載のシステム。

【請求項 13】

前記画像シーンのプレノプティック画像データのキャプチャのために構成されたプレノプティックカメラをさらに備える、請求項 9 に記載のシステム。

【請求項 14】

前記プレノプティックカメラは、メインレンズと、複数のマイクロレンズを含むマイクロレンズアレイと、画像センサーとを備える、請求項 13 に記載のシステム。

【請求項 15】

前記複数のマイクロレンズは、それぞれ微小球体を備える、請求項 14 に記載のシステム。

【請求項 16】

前記第 1 のモジュールは、データストアから前記ラドン画像を取り出すことによって、前記ラドン画像を表す前記データにアクセスするように構成された、請求項 7 に記載のシステム。

**【請求項 17】**

前記第2のモジュールは、前記ラドン画像の逆投影を計算することに少なくとも部分的に基づいて、前記画像シーンの前記発光密度を決定するように構成された、請求項7に記載のシステム。

**【請求項 18】**

前記第2のモジュールは、少なくとも、前記逆投影にガウシアンของラプラシアン演算子を適用するようにさらに構成された、請求項17に記載のシステム。

**【請求項 19】**

前記第2のモジュールは、少なくとも、前記ガウシアンของラプラシアン演算子を適用した後に、前記逆投影のノイズ除去を行うようにさらに構成された、請求項18に記載のシステム。

**【請求項 20】**

プレノプティック画像データを圧縮するための方法であって、

前記方法は、

マイクロレンズアレイと画像センサーとを有するプレノプティックカメラから、3次元画像空間のプレノプティック画像を表すデータの少なくとも一部分を受信することと、

前記マイクロレンズアレイを二分するマイクロレンズ平面と交差する積分平面を識別することと、

前記マイクロレンズ平面から第1の距離に位置する画像平面および前記積分平面と交差する画像ラインを決定することと、

前記積分平面および前記マイクロレンズ平面と交差するマイクロレンズラインを決定することと、

マイクロレンズラインと前記マイクロレンズとの交差に少なくとも部分的に基づいて、前記マイクロレンズアレイのマイクロレンズによって前記画像センサー上に形成されるマイクロ画像に前記画像ラインをマッピングすることと、

前記マイクロ画像にマッピングされた前記画像ラインに沿って位置する、前記マイクロ画像中の複数のピクセルの各々のピクセル値を加算することと、  
を備える方法。

**【請求項 21】**

前記加算されたピクセル値に少なくとも部分的に基づいて、ラドン画像を生成することをさらに備える、請求項20に記載の方法。

**【請求項 22】**

前記マイクロレンズアレイの複数のマイクロレンズの各々は、前記画像センサー上に別個のマイクロ画像を形成する、請求項20に記載の方法。

**【請求項 23】**

極座標系を使用して、前記3次元画像空間をパラメータ化することをさらに備える、請求項20に記載の方法。

**【請求項 24】**

前記マイクロレンズ平面と交差する複数の積分平面を識別することをさらに備える、請求項20に記載の方法。

**【請求項 25】**

前記複数の積分平面は、当該複数の積分平面がグループとして前記画像センサーの複数のセンサーピクセルの各々をサンプリングするように配置される、請求項24に記載の方法。

**【請求項 26】**

前記複数の積分平面の2つの隣接する平面の交差によって形成される隣接するライン間のステップサイズは、前記画像センサー上のマイクロ画像の冗長サンプリングを最小化するように選択される、請求項25に記載の方法。

**【請求項 27】**

実行時に、1つまたは複数のコンピューティングデバイスに、

画像シーンの発光密度を当該画像シーンの複数の平面の各々における光エネルギーの加算された値として表す当該画像シーンのラドン画像データを受信すること

を備える動作を実行させる命令を記憶する、非一時的コンピュータ可読媒体であって、前記画像シーンのプレノプティック画像データをキャプチャするための画像センサーが、マイクロレンズアレイを通じて前記画像シーンからの光を受け取るように配置され、前記光エネルギーの加算された値は、少なくとも部分的に、

前記マイクロレンズアレイを二分する平面内に位置し、各々が前記画像シーンの3次元空間を通して延びる平面に対応する複数の積分ラインを決定することと、

前記複数の積分ラインの積分ライン毎に、当該積分ラインに沿って存在するマイクロレンズアレイのマイクロレンズによって前記画像シーンからの光がマッピングされる前記画像センサーの複数のピクセルを決定することと、

前記複数のピクセルの値を合計することと

によって計算され、

前記非一時的コンピュータ可読媒体は、

ラドン画像の逆投影を使用して、前記ラドン画像の中間関数を計算することと、

前記ラドン画像の前記中間関数に少なくとも部分的に基づいて、前記画像シーンの前記発光密度を復元することと、

画像平面上に前記発光密度を投影し、前記画像シーンの動的に再合焦可能なレンダリング画像を生成することと

を備える動作を実行させる命令を記憶する、非一時的コンピュータ可読媒体。

【請求項28】

前記動作は、前記ラドン画像の前記逆投影にラブラシアン演算子を適用し、前記中間関数を計算することをさらに備える、請求項27に記載の非一時的コンピュータ可読媒体。

【請求項29】

前記動作は、前記ラドン画像の前記逆投影のノイズ除去を行い、前記中間関数を計算することをさらに備える、請求項28に記載の非一時的コンピュータ可読媒体。

【請求項30】

前記動作は、ユーザ入力に応答して、前記動的に再合焦可能なレンダリング画像の焦点深度を調整することをさらに備える、請求項27に記載の非一時的コンピュータ可読媒体。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0093

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0093】

[0103]開示する実装形態の以上の説明は、当業者が本発明を実施または使用することができるように与えたものである。これらの実装形態への様々な変更は当業者には容易に明らかになり、本明細書で定義した一般原理は、本発明の趣旨または範囲から逸脱することなく他の実装形態に適用され得る。したがって、本発明は、本明細書で示した実装形態に限定されるものではなく、本明細書で開示する原理および新規の特徴に一致する最も広い範囲を与えられるべきである。

以下に、本願の出願当初の特許請求の範囲に記載された発明が付記される。

[C1] 最終画像をレンダリングするための電子デバイスにおけるシステムであって、前記システムは、マイクロレンズアレイと画像センサーとを含み、画像シーンのプレノプティック画像データをキャプチャするように構成されたプレノプティックカメラと、前記プレノプティックカメラとデータ通信しており、少なくとも、前記画像センサー上に前記画像シーンからの光を合焦させる前記マイクロレンズアレイ中の複数のマイクロレンズのうちの1つによってそれぞれ形成された複数のマイクロ画像を含むキャプチャされたプレノプティック画像データを受信することと、前記マイクロレンズアレイを二分する平面内



に位置し、各々が前記画像シーンの3次元空間を通して延びる平面に対応する複数の積分ラインを決定することと、前記複数の積分ラインに対応する前記プレノプティック画像データの複数のピクセルに少なくとも部分的に基づいて、ラドン画像を生成することを行うように構成された1つまたは複数のプロセッサとを備えるシステム。

[C 2] 前記1つまたは複数のプロセッサは、前記複数の積分ラインの各々について、前記複数のマイクロ画像のうちの少なくとも1つの対応するマイクロ画像に、前記複数の積分ラインのうちの1つのラインをマッピングすることによって、対応する画像ラインを決定するようにさらに構成された、C 1に記載のシステム。

[C 3] 前記1つまたは複数のプロセッサは、前記複数のピクセルとの前記対応する画像ラインの交差に少なくとも部分的に基づいて、前記複数のピクセルを識別するようにさらに構成された、C 2に記載のシステム。

[C 4] 前記1つまたは複数のプロセッサは、前記複数の積分ラインの各々について、前記対応する画像ラインと交差する前記複数のピクセルの各々に関連付けられたピクセル値の和を決定することによって、複数の加算されたピクセル値を生成するようにさらに構成された、C 3に記載のシステム。

[C 5] 前記1つまたは複数のプロセッサは、前記複数の加算されたピクセル値のアレイとして、前記ラドン画像を生成するようにさらに構成された、C 4に記載のシステム。

[C 6] 前記ピクセル値は強度値である、C 4に記載のシステム。

[C 7] 最終画像をレンダリングするための電子デバイスにおけるシステムであって、前記システムは、少なくとも、画像シーンの複数のサンプリングされた平面の各サンプリングされた平面について、前記サンプリングされた平面における光エネルギーの和を表すラドン画像を表すデータにアクセスするように構成された第1のモジュールと、少なくとも、前記ラドン画像の前記複数のサンプリングされた平面の各サンプリングされた平面からの光エネルギーの前記和を積分することに少なくとも部分的に基づいて、前記画像シーンの発光密度を決定するように構成された第2のモジュールと、少なくとも、画像平面上に前記発光密度を投影し、前記最終画像を生成するように構成された第3のモジュールとを備えるシステム。

[C 8] 前記最終画像は、キャプチャされた画像シーンの異なる視点または異なる焦点深度を有するように調整することが可能である、C 7に記載のシステム。

[C 9] 前記ラドン画像は、前記画像シーンのキャプチャされたプレノプティック画像データから生成される、C 7に記載のシステム。

[C 10] 前記キャプチャされたプレノプティック画像データは、前記画像シーン中の物体から画像センサーに入射した複数の光線の強度で前記画像シーンのライトフィールドを表す、C 9に記載のシステム。

[C 11] 前記ラドン画像は、前記画像シーン中に位置する平面に含まれているエネルギーで前記ライトフィールドを表し、前記平面は前記画像センサーと交差する、C 10に記載のシステム。

[C 12] 前記第1のモジュールは、前記キャプチャされたプレノプティック画像データを受信し、前記キャプチャされたプレノプティック画像データから前記ラドン画像を生成するようにさらに構成された、C 9に記載のシステム。

[C 13] 前記画像シーンのプレノプティック画像データのキャプチャのために構成されたプレノプティックカメラをさらに備える、C 9に記載のシステム。

[C 14] 前記プレノプティックカメラは、メインレンズと、複数のマイクロレンズを含むマイクロレンズアレイと、画像センサーとを備える、C 13に記載のシステム。

[C 15] 前記複数のマイクロレンズは、それぞれ微小球体を備える、C 14に記載のシステム。

[C 16] 前記第1のモジュールは、データストアから前記ラドン画像を取り出すことによって、前記ラドン画像を表す前記データにアクセスするように構成された、C 7に記載のシステム。

[C 17] 前記第2のモジュールは、前記ラドン画像の逆投影を計算することに少なく

とも部分的に基づいて、前記画像シーンの前記発光密度を決定するように構成された、C 17に記載のシステム。

[C 18] 前記第2のモジュールは、少なくとも、前記逆投影にガウシアンラプリアン演算子を適用するようにさらに構成された、C 17に記載のシステム。

[C 19] 前記第2のモジュールは、少なくとも、前記ガウシアンラプリアン演算子を適用した後に、前記逆投影のノイズ除去を行うようにさらに構成された、C 18に記載のシステム。

[C 20] プレノプティック画像データを圧縮するための方法であって、前記方法は、マイクロレンズアレイと画像センサーとを有するプレノプティックカメラから、3次元画像空間のプレノプティック画像を表すデータの少なくとも一部分を受信することと、前記マイクロレンズアレイを二分するマイクロレンズ平面と交差する積分平面を識別することと、前記マイクロレンズ平面から第1の距離に位置する画像平面および前記積分平面と交差する画像ラインを決定することと、前記積分平面および前記マイクロレンズ平面と交差するマイクロレンズラインを決定することと、マイクロレンズラインと前記マイクロレンズとの交差に少なくとも部分的に基づいて、前記マイクロレンズアレイのマイクロレンズによって前記画像センサー上に形成されるマイクロ画像に前記画像ラインをマッピングすることと、前記マイクロ画像にマッピングされた前記画像ラインに沿って位置する、前記マイクロ画像中の複数のピクセルの各々のピクセル値を加算することと、を備える方法。

[C 21] 前記加算されたピクセル値に少なくとも部分的に基づいて、ラドン画像を生成することをさらに備える、C 20に記載の方法。

[C 22] 前記マイクロレンズアレイの複数のマイクロレンズの各々は、前記画像センサー上に別個のマイクロ画像を形成する、C 20に記載の方法。

[C 23] 極座標系を使用して、前記3次元画像空間をパラメータ化することをさらに備える、C 20に記載の方法。

[C 24] 前記マイクロレンズ平面と交差する複数の積分平面を識別することをさらに備える、C 20に記載の方法。

[C 25] 前記複数の積分平面は、当該複数の積分平面がグループとして前記画像センサーの複数のセンサーピクセルの各々をサンプリングするように配置される、C 24に記載の方法。

[C 26] 前記複数の積分平面の2つの隣接する平面の交差によって形成される隣接するライン間のステップサイズは、前記画像センサー上のマイクロ画像の冗長サンプリングを最小化するように選択される、C 25に記載の方法。

[C 27] 実行時に、1つまたは複数のコンピューティングデバイスに、画像シーンの発光密度を当該画像シーンの複数の平面の各々における光エネルギーの加算された値として表す当該画像シーンのラドン画像データを受信することと、ラドン画像の逆投影を使用して、前記ラドン画像の中間関数を計算することと、前記ラドン画像の前記中間関数に少なくとも部分的に基づいて、前記画像シーンの前記発光密度を復元することと、画像平面上に前記発光密度を投影し、前記画像シーンの動的に再合焦可能なレンダリング画像を生成することとを備える動作を実行させる命令を記憶する、非一時的コンピュータ可読媒体。

[C 28] 前記動作は、前記ラドン画像の前記逆投影にラプリアン演算子を適用し、前記中間関数を計算することをさらに備える、C 27に記載の非一時的コンピュータ可読媒体。

[C 29] 前記動作は、前記ラドン画像の前記逆投影のノイズ除去を行い、前記中間関数を計算することをさらに備える、C 28に記載の非一時的コンピュータ可読媒体。

[C 30] 前記動作は、ユーザ入力に応答して、前記動的に再合焦可能なレンダリング画像の焦点深度を調整することをさらに備える、C 27に記載の非一時的コンピュータ可読媒体。

【手続補正書】

【提出日】平成29年1月10日(2017.1.10)

## 【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

最終画像をレンダリングするためのシステムであって、

前記システムは、

マイクロレンズアレイと画像センサーとを含み、画像シーンのプレノプティック画像データをキャプチャするように構成されたプレノプティックカメラと、

前記プレノプティックカメラとデータ通信しており、少なくとも、

前記画像センサー上に前記画像シーンからの光を合焦させる前記マイクロレンズアレイ中の複数のマイクロレンズのうちの 1 つによってそれぞれ形成された複数のマイクロ画像を含むキャプチャされたプレノプティック画像データを受信することと、

前記マイクロレンズアレイを二分する平面内に位置し、各々が前記画像シーンの 3 次元空間を通して延びる平面に対応する複数の積分ラインを決定することと、

前記マイクロレンズアレイを二分する平面内に位置する複数の積分ラインの積分ライン毎に、前記画像センサーの複数のピクセルへの当該積分ラインのマッピングを生成または取り出すことと、

前記キャプチャされたプレノプティック画像データからの前記複数のピクセルのピクセル値に少なくとも部分的に基づいて、ラドン画像を生成することと

を行うように構成された 1 つまたは複数のプロセッサと

を備え、

前記マッピングは、前記積分ラインに沿って存在するマイクロレンズアレイのマイクロレンズの焦点距離および倍率に少なくとも部分的に基づいている、

システム。

【請求項 2】

前記 1 つまたは複数のプロセッサは、前記複数の積分ラインの積分ライン毎に、前記複数のマイクロ画像のうちの少なくとも 1 つの対応するマイクロ画像に当該積分ラインをマッピングすることによって対応する画像ラインを決定することにより、前記複数のピクセルを決定するようにさらに構成された、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 3】

前記 1 つまたは複数のプロセッサは、前記複数のピクセルとの前記対応する画像ラインの交差に少なくとも部分的に基づいて、前記複数のピクセルを識別するようにさらに構成された、請求項 2 に記載のシステム。

【請求項 4】

前記 1 つまたは複数のプロセッサは、前記複数の積分ラインの各々について、前記対応する画像ラインと交差する前記複数のピクセルの各々に関連付けられた前記ピクセル値の和を決定することによって、複数の加算されたピクセル値を生成するようにさらに構成された、請求項 3 に記載のシステム。

【請求項 5】

前記 1 つまたは複数のプロセッサは、前記複数の加算されたピクセル値のアレイとして、前記ラドン画像を生成するようにさらに構成された、請求項 4 に記載のシステム。

【請求項 6】

前記ピクセル値は強度値である、請求項 4 に記載のシステム。

【請求項 7】

最終画像をレンダリングするためのシステムであって、

前記システムは、少なくとも、画像シーンの複数のサンプリングされた平面の各サンプリングされた平面について、前記サンプリングされた平面における光エネルギーの和を表

すラドン画像を表すデータにアクセスするように構成された第 1 のモジュールを備え、  
前記画像シーンのプレノプティック画像データをキャプチャするための画像センサーが、  
マイクロレンズアレイを通じて前記画像シーンからの光を受け取るように配置され、  
前記光エネルギーの和は、少なくとも部分的に、

前記マイクロレンズアレイを二分する平面内に位置し、各々が前記画像シーンの 3 次元空間を  
通って延びる平面に対応する複数の積分ラインを決定することと、

前記複数の積分ラインの積分ライン毎に、前記画像センサーの複数のピクセルへの当該積分ラインのマッピングを生成または取り出すことと、

前記複数のピクセルのピクセル値を合計することと

によって計算され、

前記マッピングは、前記積分ラインに沿って存在するマイクロレンズアレイのマイクロレンズの焦点距離および倍率に少なくとも部分的に基づいて、

前記システムは、

少なくとも、前記ラドン画像の前記複数のサンプリングされた平面の各サンプリングされた平面からの光エネルギーの前記和を積分することに少なくとも部分的に基づいて、前記画像シーンの発光密度を決定するように構成された第 2 のモジュールと、

少なくとも、画像平面上に前記発光密度を投影し、前記最終画像を生成するように構成された第 3 のモジュールと  
を備えるシステム。

【請求項 8】

前記最終画像は、キャプチャされた画像シーンの異なる視点または異なる焦点深度を有するように調整することが可能である、請求項 7 に記載のシステム。

【請求項 9】

前記ラドン画像は、前記画像シーンのキャプチャされたプレノプティック画像データから生成される、請求項 7 に記載のシステム。

【請求項 10】

前記キャプチャされたプレノプティック画像データは、前記画像シーン中の物体から画像センサーに入射した複数の光線の強度で前記画像シーンのライトフィールドを表す、請求項 9 に記載のシステム。

【請求項 11】

前記ラドン画像は、前記画像シーン中に位置する平面に含まれているエネルギーで前記ライトフィールドを表し、

前記平面は前記画像センサーと交差する、

請求項 10 に記載のシステム。

【請求項 12】

前記第 1 のモジュールは、前記キャプチャされたプレノプティック画像データを受信し、前記キャプチャされたプレノプティック画像データから前記ラドン画像を生成するようにさらに構成された、請求項 9 に記載のシステム。

【請求項 13】

前記画像シーンのプレノプティック画像データのキャプチャのために構成されたプレノプティックカメラをさらに備える、請求項 9 に記載のシステム。

【請求項 14】

前記プレノプティックカメラは、メインレンズと、複数のマイクロレンズを含むマイクロレンズアレイと、画像センサーとを備える、請求項 13 に記載のシステム。

【請求項 15】

前記複数のマイクロレンズは、それぞれ微小球体を備える、請求項 14 に記載のシステム。

【請求項 16】

前記第 1 のモジュールは、データストアから前記ラドン画像を取り出すことによって、前記ラドン画像を表す前記データにアクセスするように構成された、請求項 7 に記載のシ

ステム。

【請求項 17】

前記第2のモジュールは、前記ラドン画像の逆投影を計算することに少なくとも部分的に基づいて、前記画像シーンの前記発光密度を決定するように構成された、請求項7に記載のシステム。

【請求項 18】

前記第2のモジュールは、少なくとも、前記逆投影にガウシアンของラプラシアン演算子を適用するようにさらに構成された、請求項17に記載のシステム。

【請求項 19】

前記第2のモジュールは、少なくとも、前記ガウシアンของラプラシアン演算子を適用した後に、前記逆投影のノイズ除去を行うようにさらに構成された、請求項18に記載のシステム。

【請求項 20】

キャプチャされたプレノプティック画像データを変換するための方法であって、

前記方法は、

マイクロレンズアレイと画像センサーとを有するプレノプティックカメラから、3次元画像空間のプレノプティック画像を表すデータの少なくとも一部分を受信することと、

前記マイクロレンズアレイを二分するマイクロレンズ平面と交差する積分平面を識別することと、

前記マイクロレンズ平面から第1の距離に位置する画像平面および前記積分平面と交差する画像ラインを決定することと、

前記積分平面および前記マイクロレンズ平面と交差するマイクロレンズラインを決定することと、

マイクロレンズラインと前記マイクロレンズとの交差に少なくとも部分的に基づいて、前記マイクロレンズアレイのマイクロレンズによって前記画像センサー上に形成されるマイクロ画像に前記画像ラインをマッピングすることと、

前記マイクロ画像にマッピングされた前記画像ラインに沿って位置する、前記マイクロ画像中の複数のピクセルの各々のピクセル値を加算することと、

を備える方法。

【請求項 21】

前記加算されたピクセル値に少なくとも部分的に基づいて、ラドン画像を生成することをさらに備える、請求項20に記載の方法。

【請求項 22】

前記マイクロレンズアレイの複数のマイクロレンズの各々は、前記画像センサー上に別個のマイクロ画像を形成する、請求項20に記載の方法。

【請求項 23】

極座標系を使用して、前記3次元画像空間をパラメータ化することをさらに備える、請求項20に記載の方法。

【請求項 24】

前記マイクロレンズ平面と交差する複数の積分平面を識別することをさらに備える、請求項20に記載の方法。

【請求項 25】

前記複数の積分平面は、当該複数の積分平面がグループとして前記画像センサーの複数のセンサーピクセルの各々をサンプリングするように配置される、請求項24に記載の方法。

【請求項 26】

前記複数の積分平面の2つの隣接する平面の交差によって形成される隣接するライン間のステップサイズは、前記画像センサー上のマイクロ画像の冗長サンプリングを最小化するように選択される、請求項25に記載の方法。

【請求項 27】

実行時に、１つまたは複数のコンピューティングデバイスに、  
画像シーンの発光密度を当該画像シーンの複数の平面の各々における光エネルギーの加算された値として表す当該画像シーンのラドン画像データを受信すること  
を備える動作を実行させる命令を記憶する、非一時的コンピュータ可読媒体であって、  
前記画像シーンのプレノプティック画像データをキャプチャするための画像センサーが、  
マイクロレンズアレイを通じて前記画像シーンからの光を受け取るように配置され、  
前記光エネルギーの加算された値は、少なくとも部分的に、  
前記マイクロレンズアレイを二分する平面内に位置し、各々が前記画像シーンの３次元空間を通して延びる平面に対応する複数の積分ラインを決定することと、  
前記複数の積分ラインの積分ライン毎に、前記画像センサーの複数のピクセルへの当該積分ラインのマッピングを生成または取り出すことと、  
前記複数のピクセルのピクセル値を合計することと  
によって計算され、  
前記マッピングは、前記積分ラインに沿って存在するマイクロレンズアレイのマイクロレンズの焦点距離および倍率に少なくとも部分的に基づいていて、  
前記非一時的コンピュータ可読媒体は、  
ラドン画像の逆投影を使用して、前記ラドン画像の中間関数を計算することと、  
前記ラドン画像の前記中間関数に少なくとも部分的に基づいて、前記画像シーンの前記発光密度を復元することと、  
画像平面上に前記発光密度を投影し、前記画像シーンの動的に再合焦可能なレンダリング画像を生成することと  
を備える動作を実行させる命令を記憶する、非一時的コンピュータ可読媒体。  
【請求項 ２８】  
前記動作は、前記ラドン画像の前記逆投影にラプラシアン演算子を適用し、前記中間関数を計算することをさらに備える、請求項 ２７に記載の非一時的コンピュータ可読媒体。  
【請求項 ２９】  
前記動作は、前記ラドン画像の前記逆投影のノイズ除去を行い、前記中間関数を計算することをさらに備える、請求項 ２８に記載の非一時的コンピュータ可読媒体。  
【請求項 ３０】  
前記動作は、ユーザ入力に応答して、前記動的に再合焦可能なレンダリング画像の焦点深度を調整することをさらに備える、請求項 ２７に記載の非一時的コンピュータ可読媒体。  
。

## 【 国際調査報告 】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/US2015/022804

## 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

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>JOSÉ G. MARICHAL-HERNÁNDEZ: "Fast approximate 4-D/3-D discrete radon transform for lightfield refocusing", JOURNAL OF ELECTRONIC IMAGING, vol. 21, no. 2, 3 July 2012 (2012-07-03), page 023026, XP055205378, ISSN: 1017-9909, DOI: 10.1117/1.JEI.21.2.023026 page 1 - page 8</p> <p>----- -/--</p>	1-30

☒ 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

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

30 July 2015

Date of mailing of the international search report

10/08/2015

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

Celik, Hasan

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/US2015/022804

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	KEIJI YAMASHITA, TOMOHIRO YENDO, MASAYUKI TANIMOTO, TOSHIKI FUJII: "Compressive acquisition of ray-space using radon transform", STEREOSCOPIC DEVELOPMENTS II, vol. 7237, 723715, 18 January 2009 (2009-01-18), pages 1-10, XP040493754, page 1 - page 6 -----	20-26
A	EDMUND Y. LAM: "Computational Photography: Advances and Challenges", SPIE, PO BOX 10 BELLINGHAM WA 98227-0010, USA, vol. 8122, 812200, 21 August 2011 (2011-08-21), pages 1-7, XP040563501, page 2 - page 3 -----	20-26
A	F Matus ET AL: "Image representation via a finite Radon transform", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1 January 1993 (1993-01-01), pages 996-1006, XP055205390, DOI: 10.1109/34.254058 Retrieved from the Internet: URL: <a href="http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_al1.jsp?arnumber=254058">http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_al1.jsp?arnumber=254058</a> [retrieved on 2015-07-30] abstract -----	1-30
A	ANDREW LUMSDAINE ET AL: "The focused plenoptic camera", 2009 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTATIONAL PHOTOGRAPHY (ICCP 2009), IEEE, US, 16 April 2009 (2009-04-16), pages 1-8, XP031740267, ISBN: 978-1-4244-4534-9 2.1 Basic Equations; page 1 -----	1-30
A	LEVOY M ET AL: "LIGHT FIELD RENDERING", COMPUTER GRAPHICS PROCEEDINGS 1996 (SIGGRAPH). NEW ORLEANS, AUG. 4 - 9, 1996; [COMPUTER GRAPHICS PROCEEDINGS (SIGGRAPH)], NEW YORK, NY : ACM, US, 4 August 1996 (1996-08-04), pages 31-42, XP000682719, page 2 - page 3 ----- -/--	1-30



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/US2015/022804

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X,P	<p>TODOR GEORGIEV ET AL: "The radon image as plenoptic function",  2014 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGE PROCESSING (ICIP),  27 October 2014 (2014-10-27), pages  1922-1926, XP055205391,  DOI: 10.1109/ICIP.2014.7025385  ISBN: 978-1-47-995751-4  the whole document</p> <p>-----</p>	1-30

## 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, 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, KN, KP, KR, 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, UA, UG, US

(72)発明者 ゲオルギエフ、トドル・ゲオルギエフ

アメリカ合衆国、カリフォルニア州 9 2 1 2 1 - 1 7 1 4、サン・ディエゴ、モアハウス・ドライブ 5 7 7 5

(72)発明者 タンベ、サリル

アメリカ合衆国、テキサス州 7 7 0 0 5 - 1 8 4 6、ハウストン、ビゾネット・ストリート 1 5 1 5、ユニット・ナンバー 1 4 7

Fターム(参考) 5C061 AB12 AB14 AB16

5C122 EA55 EA61 FA04 FB05 FC00 FH04 FH08 HA08 HA35 HA88  
HB01 HB10