

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6257285号
(P6257285)

(45) 発行日 平成30年1月10日(2018.1.10)

(24) 登録日 平成29年12月15日(2017.12.15)

(51) Int. Cl.	F I
GO3B 15/00 (2006.01)	GO3B 15/00 H
HO4N 5/225 (2006.01)	HO4N 5/225 800
HO4N 5/232 (2006.01)	HO4N 5/232 960
GO3B 19/07 (2006.01)	GO3B 19/07
GO3B 3/00 (2006.01)	GO3B 3/00

請求項の数 7 (全 17 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2013-244844 (P2013-244844)	(73) 特許権者	000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(22) 出願日	平成25年11月27日(2013.11.27)	(74) 代理人	100110412 弁理士 藤元 亮輔
(65) 公開番号	特開2015-102794 (P2015-102794A)	(74) 代理人	100104628 弁理士 水本 敦也
(43) 公開日	平成27年6月4日(2015.6.4)	(74) 代理人	100121614 弁理士 平山 倫也
審査請求日	平成28年11月17日(2016.11.17)	(72) 発明者	井上 智暁 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
		審査官	渡邊 勇

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 複眼撮像装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の光学系を備えた複眼撮像装置において、

前記複数の光学系は、前記複数の光学系のうち最も広い第1の画角を有する第1の光学系および第2の光学系と、前記第1の画角よりも狭い第2の画角を有する第3の光学系と、前記第2の画角よりも狭い第3の画角を有する第4の光学系を含み、

前記第1の光学系に対応する第1の撮像領域と、前記第2の光学系に対応する第2の撮像領域と、前記第3の光学系に対応する第3の撮像領域と、前記第4の光学系に対応する第4の撮像領域を有する撮像素子と、

前記第1の撮像領域から得られる第1の画像と、前記第2の撮像領域から得られる第2の画像に基づいて、前記第1の画像および前記第2の画像の画像内の被写体距離情報を算出する算出手段と、

前記第1の画像と、前記第3の撮像領域から得られる第3の画像に基づいて、前記第1の画角と前記第2の画角の間にある画角の画像を復元し、前記第3の画像と、前記第4の撮像領域から得られる第4の画像に基づいて、前記第2の画角と前記第3の画角の間にある画角の画像を復元する画像復元手段を備え、

前記複数の光学系は、前記第1の光学系と前記第2の光学系の基線長が最も大きくなるように配置されていることを特徴とする複眼撮像装置。

【請求項2】

前記複数の光学系は、各光学系の光軸間を結ぶ基線が交差するように配置されることを

特徴とする請求項 1 に記載の複眼撮像装置。

【請求項 3】

前記第 1 の光学系と前記第 3 の光学系の光軸間を結ぶ基線と前記第 1 の光学系と前記第 4 の光学系の光軸間を結ぶ基線とが直交し、前記第 1 の光学系と前記第 4 の光学系の光軸間を結ぶ基線と前記第 2 の光学系と前記第 4 の光学系の光軸間を結ぶ基線とが直交し、前記第 2 の光学系と前記第 3 の光学系の光軸間を結ぶ基線と前記第 2 の光学系と前記第 4 の光学系の光軸間を結ぶ基線とが直交し、前記第 1 の光学系と前記第 3 の光学系の光軸間を結ぶ基線と前記第 2 の光学系と前記第 3 の光学系の光軸間を結ぶ基線とが直交することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の複眼撮像装置。

【請求項 4】

前記画像復元手段は、前記第 1 の画像の一部を拡大した拡大画像と前記第 3 の画像とに基づいて、前記拡大画像を超解像処理により画像復元することを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項に記載の複眼撮像装置。

【請求項 5】

前記複数の光学系のうち任意の光学系の画角を W 、前記任意の光学系の次に狭い画角を有する光学系の画角を W_n とするとき、

$$1 < W / W_n < 3$$

を満足することを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれか一項に記載の複眼撮像装置。

【請求項 6】

前記複数の光学系のそれぞれの光軸は、互いに平行であることを特徴とする請求項 1 ないし 5 のいずれか一項に記載の複眼撮像装置。

【請求項 7】

前記複数の光学系には、前記複数の光学系のそれぞれを光軸と垂直な面内で変位させる変位手段が設けられていることを特徴とする請求項 1 ないし 6 のいずれか一項に記載の複眼撮像装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、複数の光学系を配列してなる複眼撮像装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、光学系を複数に分割することにより小型の光学系を実現する「複眼」撮像装置が提案されている。「複眼」は昆虫の眼の構造を利用したもので、例えば複数のレンズユニットからなるレンズアレイで光学系を構成し、各レンズユニットを小径化及び短焦点距離化して光学系を小型化する構成が知られている。しかしながら、従来の複眼撮像装置は、撮像系の構成が大型化してしまうことから、光学系を構成するレンズの位置を移動させる方式によって撮影画角を可変にする光学的なズーム機能を付加することが困難であった。そこで、例えば特許文献 1 では、画角の異なる短焦点のレンズユニットと長焦点のレンズユニットを配置し、被写体の同じ部分を含むように撮像する構成が提案されている。つまり、短焦点レンズに対応した撮像素子により得られるワイド画像の一部に、長焦点レンズ 40

【0003】

一方、複数の光学系（複眼光学系）を有する構成を応用して従来の一般的な撮像系では取得することが困難であった被写体側の周辺空間情報を取得するための構成が提案されている。ここで被写体側の周辺空間情報とは、被写体空間における被写体距離情報、位置情報、構成情報や光源情報、被写体分光特性、散乱特性など被写体空間を表現するための様々な情報の総称とする。例えば特許文献 2 では、短焦点レンズ対と長焦点レンズ対を有する構成とすることで、広い画角の画像と狭い画角の画像とともに、夫々の視差画像を取得するための構成が提案されている。つまり、異なる画角の画像とともに、被写体の距離情 50

10

20

30

40

50

報を三角測量の原理を用いて算出することができる。被写体の距離情報は、例えばその被写体の3Dモデリングを行う場合などに非常に有用な情報となる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2005-303694号公報

【特許文献2】特開2009-117976号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献1、2に開示された従来技術では、どちらも異なる二種類の画角を有する光学系のみを備えているため、特定の広い画角の画像と特定の狭い画角の画像を取得することのみが可能となっている。従来のビデオカメラ、デジタルカメラのような撮像装置には、撮影者が所望する画角の画像を撮像するために連続的ズーム機能が求められているが、特許文献1、2では撮影者が選択できる撮影画角の自由度が少なすぎるという問題がある。

【0006】

さらに、周辺空間情報の一つである被写体距離情報の取得については、後述するように複眼撮像装置において被写体距離情報の精度向上には基線長を大きくすることが重要であるが、特許文献2には基線長に関する距離情報の精度向上についての記述は無い。また、連続的ズーム機能の高倍化と撮影可能な被写体空間範囲における距離情報取得精度の向上とを両立させることに関する記述も無い。

【0007】

そこで、本発明の目的は、薄型、高変倍比でありながら、撮影する被写体空間についての周辺空間情報の取得に有利な複眼撮像装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の一側面としての複眼撮像装置は、複数の光学系を備えた複眼撮像装置において、前記複数の光学系は、前記複数の光学系のうち最も広い第1の画角を有する第1の光学系および第2の光学系と、前記第1の画角よりも狭い第2の画角を有する第3の光学系と、前記第2の画角よりも狭い第3の画角を有する第4の光学系を含み、前記第1の光学系に対応する第1の撮像領域と、前記第2の光学系に対応する第2の撮像領域と、前記第3の光学系に対応する第3の撮像領域と、前記第4の光学系に対応する第4の撮像領域を有する撮像素子と、前記第1の撮像領域から得られる第1の画像と、前記第2の撮像領域から得られる第2の画像に基づいて、前記第1の画像および前記第2の画像の画像内の被写体距離情報を算出する算出手段と、前記第1の画像と、前記第3の撮像領域から得られる第3の画像に基づいて、前記第1の画角と前記第2の画角の間にある画角の画像を復元し、前記第3の画像と、前記第4の撮像領域から得られる第4の画像に基づいて、前記第2の画角と前記第3の画角の間にある画角の画像を復元する画像復元手段を備え、前記複数の光学系は、前記第1の光学系と前記第2の光学系の基線長が最も大きくなるように配置されていることを特徴とする。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、薄型、高変倍比でありながら、撮影する被写体空間についての周辺空間情報の取得に有利な複眼撮像装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】実施例1にかかる複眼撮像装置の構成図である。

【図2】実施例1にかかる撮影画像の説明図である。

【図3】実施例1の連続ズーム機能処理フロー図である。

10

20

30

40

50

- 【図4】実施例1の距離情報算出フロー図である。
【図5】実施例2にかかる複眼撮像装置の構成図である。
【図6】実施例3にかかる複眼撮像装置の構成図である。
【図7】複眼撮像装置によるベストショットモードの説明図である。
【図8】連続ズーム機能のための撮影画像説明図である。
【図9】立体画像撮影モデルの説明図である。
【図10】対応点抽出手法の説明図である。
【発明を実施するための形態】

【0011】

本発明の主な視点は、複眼撮像装置において、薄型、高変倍比でありながら、撮影する被写体空間についての高度な周辺空間情報を容易に取得するための課題を改善したことに

10

【0012】

ここではまず、複眼撮像装置における連続的ズーム機能を実現するための手法について説明する。撮像装置で撮影された画像に対して撮影画像内の一部をトリミングし、このトリミングした範囲を所定のサイズに拡大することによって擬似的にズームしたのと同じの効果を得ることのできる（以下デジタルズーム）手法が知られている。従来、デジタルズームと光学ズームとを組み合わせることで、より高変倍比を実現することが知られている。例えばこの手法を応用することで、複眼撮像装置において異なる画角を有する結像光学系を備えさせ、該異なる画角間を上記のデジタルズーム技術により補間することで擬似的にズームしたのと同じの効果を得ることができる。しかしながら、従来のデジタルズーム手法では、線形補間（バイリニア法）を用いているためデジタルズーム領域の画像が劣化してしまう場合がある。バイリニア法は、サンプリング定理に基づいたsinc関数による補間を基本概念とした方法である。バイリニア法は、演算上の負荷を軽減するためにsinc関数を近似した補間関数を原画像のサンプル点に対して畳み込むことで、サンプル点の間を補間し、画素数を増減するものである。また、平滑化効果があるためジャギーが目立ちにくいという利点もあるが、その平滑化効果により例えば補間時の仮定条件に当てはまらないエッジ部分を中心に、スムージングされた画像となり画像が全体的にボケた感じになってしまう。さらに、デジタルズーム倍率が大きくなると、画像の画質（解像度）が低下するという問題が知られている。このデジタルズーム手法に伴う解像度の低下を改善し、高解像度を保ったズーム画像データを作成したいという要求が存在する。その要求に答えるデジタルズーム処理による解像度劣化を打ち消すための技術として、従来より超解像技術の方式が様々提案されている。この超解像技術の方式として、例えば、ML（Maximum-Likelihood）法、MAP（Maximum A Posterior）法、POCS（Projection Onto Convex Set）法がある。また、IBP（Iterative Back Projection）法、LR（Lucy-Richardson）法などもある。例えば、LR法では、原画像における照度の分布、劣化画像における照度の分布に関して、その分布を正規化して、確率密度関数の分布として捉える。上記のように考えると、光学系の伝達特性である点像強度分布関数（PSF）は、条件付確立の確率密度関数の分布として捉えることができる。劣化画像の分布とPSFの分布のそれぞれを用いて、ベイズ統計に基づき、最尤推定を用いた反復計算によって原画像の分布を推定する。

20

30

40

【0013】

次に、ベイズ統計に基づく画像の復元方法について説明する。以下では、説明の簡易化のためモノクロ1次元画像の場合について説明する。ここでは、被写体を原画像、撮像装置で撮像された画像又はその画像を電氣的に拡大した画像を劣化画像、画像の復元方法により劣化画像を用いて原画像に近い形に復元することを超解像技術と呼び、復元された画像を高解像度画像（回復画像）と呼ぶ。

【0014】

1次元ベクトルで表現される劣化画像を $g(x)$ 、該劣化画像に対する1次元ベクトルで表現される原画像を $f(x)$ とすると、該2つの画像は次の式のような関係を満たす。

50

【 0 0 1 5 】

$$g(x) = h(x) * f(x) \quad \dots (1)$$

ここで $h(x)$ は光学系の伝達特性であるPSFである。

【 0 0 1 6 】

一方、ベイズ統計とは、 $f(x)$ を原画像、 $g(x)$ を劣化画像としたとき、原画像が劣化画像に変換される順過程からベイズの公式を用いて逆過程に対する確立、すなわち事後確立を構成し、これを基に劣化画像から原画像を推定するものである。ここで、 $P(f(x))$ を原画像 f が存在する事象の確立密度関数、 $P(g(x))$ を劣化画像 g が生じる事象の確立密度関数、 $P(g(x) | f(x))$ を原画像 f が与えられた時の劣化画像 g の条件付確立密度関数とすると、

10

【 0 0 1 7 】

【数 1】

$$P(f(x) | g(x)) = \frac{P(g(x) | f(x))P(f(x))}{P(g(x))} \quad \dots (2)$$

【 0 0 1 8 】

がベイズの公式と呼ばれる関係式である。ここで、 $P(f(x) | g(x))$ は劣化画像 g が与えられたという条件の下での原画像 f についての条件付確率密度分布であり、事後確立密度関数とよばれる。

【 0 0 1 9 】

20

ここで、上記のベイズ統計に基づくベイズの公式が f 、 g について成り立つ時、 f 、 g が正規化されたものであると考え f 、 g を確立密度関数として取り扱える場合を考える。原画像のある座標 x_1 に点光源が存在する事象が $f(x_1)$ 、劣化画像のある座標 x_2 に像が結像する事象を $g(x_2)$ とすると、

$$P(f(x_1)) = f(x_1) \quad \dots (3)$$

$$P(g(x_2)) = g(x_2) \quad \dots (4)$$

と表すことが出来る。

【 0 0 2 0 】

さらに、 $P(g(x_2) | f(x_1))$ は光学系のPSFである h を用いて、

$$P(g(x_2) | f(x_1)) = h(x_2 - x_1) \quad \dots (5)$$

30

と表すことが出来る。

【 0 0 2 1 】

つまり、劣化画像内のある座標 x_2 に像を結像させる原画像の分布は式 2, 3, 4, 5 より

【 0 0 2 2 】

【数 2】

$$P(f(x) | g(x_2)) = \frac{h(x_2 - x)f(x)}{g(x_2)} \quad \dots (6)$$

【 0 0 2 3 】

40

から推定することが可能である。

【 0 0 2 4 】

ここでさらに周辺確立の定義から、

【 0 0 2 5 】

【数 3】

$$P(g(x)) = \int_{-\infty}^{\infty} P(f(x), g(x)) dx = \int_{-\infty}^{\infty} P(g(x) | f(x)) P(f(x)) dx \quad \dots (7)$$

【 0 0 2 6 】

が成り立つ。

【 0 0 2 7 】

50

つまり、式 6 はさらに

【 0 0 2 8 】

【 数 4 】

$$P(f(x) | g(x_2)) = \frac{h(x_2 - x)f(x)}{\int_{-\infty}^{\infty} P(g(x_2) | f(x_1))P(f(x_1))dx_1} = \frac{h(x_2 - x)f(x)}{\int_{-\infty}^{\infty} h(x_2 - x_1)f(x_1)dx_1} \dots (8)$$

【 0 0 2 9 】

と表すことが出来る。ここで、両辺に $P(g(x_2)) = g(x_2)$ をかけて積分すると、式 8 の左辺は周辺確立の定義から、

10

【 0 0 3 0 】

【 数 5 】

$$\text{式 8 左辺} = \int_{-\infty}^{\infty} P(f(x) | g(x_2))P(g(x_2))dx_2 = P(f(x)) = f(x) \dots (9)$$

【 0 0 3 1 】

また、式 8 の右辺は、

【 0 0 3 2 】

【 数 6 】

$$\text{式 8 右辺} = f(x) \int_{-\infty}^{\infty} \frac{h(x_2 - x)g(x_2)}{\int_{-\infty}^{\infty} h(x_2 - x_1)f(x_1)dx_1} dx_2 \dots (10)$$

20

【 0 0 3 3 】

となる。

【 0 0 3 4 】

上記の関係は、 $f(x)$ が真の原画像である場合に成り立つ。つまり、上記の $f(x)$ を算出することが劣化画像の復元に相当するものである。

【 0 0 3 5 】

ここで、式 9 の $f(x)$ を $f_{k+1}(x)$ 、式 10 の $f(x)$ を $f_k(x)$ として、

【 0 0 3 6 】

【 数 7 】

$$f_{k+1}(x) = f_k(x) \int_{-\infty}^{\infty} \frac{h(x_2 - x)g(x_2)}{\int_{-\infty}^{\infty} h(x_2 - x_1)f(x_1)dx_1} dx_2 \dots (11)$$

【 0 0 3 7 】

上記の式 11 が得られる。

【 0 0 3 8 】

上記の式 11 に関する反復計算を行うことで、 f_k の収束値すなわち原画像の分布を得ることが出来る。

40

【 0 0 3 9 】

上述したベイズ統計に基づく復元方法を用いることで、劣化画像と光学系の伝達特性が既知であれば、未知である原画像を復元できることがわかる。また、上記と同様の原理により、劣化画像とそれに対する原画像が既知であれば光学系の伝達特性を復元することが可能となる。また、上記は光学系の伝達特性としてPSFを考えていたが、フーリエ変換を用いることで、正確な位相特性まで考慮したOTFとして復元することも可能である。

【 0 0 4 0 】

また別の手法として、MAP法を用いた場合、下記に示すような事後確立密度を最大とする $f(x)$ を求める手法がとられる。

【 0 0 4 1 】

50

【数 8】

$$f(x) = \arg \max P(f(x) | g(x)) \propto P(g(x) | f(x)) P(f(x)) \cdots (12)$$

【0042】

ここで、劣化画像にはガウスノイズ n が付加されると考え、さらに上記の光学系のPSFとして与えた $h(x)$ を線形作用する $m \times m$ のコンボリューション行列 C とすると、該劣化画像と原画像の2つの画像は下記のようにも表すことができる。

$$g(x) = C \times f(x) + n \cdots (13)$$

ここで、新たに与えた行列 C はPSFのみではなく、撮像システムに起因する劣化要因を含むものであってもかまわない。

【0043】

以上の仮定を踏まえた場合、式12で事後確立密度が最大となる $f(x)$ は式12の比例式から下記評価関数が最小となる $f(x)$ を求めることになる。

$$T(f) = \|g(x) - C \times f(x)\|^2 + Z(f) \cdots (14)$$

ここで $Z(f)$ は画像の滑らかさや付加条件からの拘束項などを含む拘束関数、 λ は重み係数である。上記評価関数の最小化には、従来の最急降下法などを用いることができる。

【0044】

上記の式14を最小とする $f(x)$ を算出することが劣化画像の復元に相当するものである。

【0045】

上記で説明した式11と14の推定式、評価関数から劣化画像の復元には、初期推定分布 f を設定する必要があるが、初期の推定分布は回復画像と撮像倍率の一致する劣化画像である g が用いられることが一般的である。また、PSF又はOTFなどの光学系の伝達特性と付加条件や拘束条件などから得られる拘束項が重要であることが理解される。しかしながら、光学系の伝達特性はレンズの収差や照明波長、撮像素子開口等のパラメータに依存し、正確に評価することは一般的に困難である。そのため、初期条件のPSFとしてガウス分布等が簡易的に用いられるが、実際の撮像系においてPSFがガウス分布と一致することは稀であり、ほとんどの場合推定誤差の増加要因となる。また、上述の原理により劣化画像からPSFまで推定することが考えられるが、劣化画像では多くの情報が欠如しているため正確なPSFを推定することも困難である。そのため、超解像技術に新たな強い拘束条件を付加することで超解像技術の精度向上を達成することを考える。本発明における上記の強い拘束条件として、復元したい劣化画像とは撮像倍率の異なる高解像度の画像を付加条件とすることとする。撮像倍率の異なる画像とは、図8に示すように、被写体120aを撮影した画像のうち一部領域の画像120bを復元したい拡大劣化画像とする。そうしたとき、同一被写体に対して画角を異ならせて被写体120a内の破線内部を拡大して撮影された画像120cのような関係を有する画像を指すこととする。上述したように撮像倍率の異なる高解像度画像を用いることで、劣化画像内の一部の領域における詳細な情報を取得することが可能となる。そのため、例えば主要被写体の存在する劣化画像中央領域のPSFを高解像度画像をもとに、より正確に推定し、式11の反復計算により、従来手法と比べてより高精度な復元が可能となる。また、劣化画像一部領域の詳細が事前に取得されるため、式14の拘束関数に高解像度画像と該劣化画像一部領域の相関を評価値とした相関関数を追加することでより高精度な復元が可能となる。また、上記の原理から、劣化画像内のできるだけ広い範囲についての詳細情報を取得することがより高精度な復元を可能とすることは明確である。つまり、複眼撮像装置において連続的ズーム機能を実現するためには、複数の画角の異なる結像光学系を備えることが重要である。

【0046】

次に、複眼撮像装置における被写体距離算出の原理について説明する。図9は従来の複眼撮影方式のモデルを説明する図である。座標は左右カメラの中心を原点として、水平方向に x 軸、奥行き方向に y 軸とする。高さ方向は簡略化のために省略する。左右カメラの結像光学系の主点がそれぞれ $(-W_c, 0)$ 、 $(W_c, 0)$ に配置されているとする。こ

10

20

30

40

50

ここで左右カメラの結像光学系焦点距離は f とする。この状態で y 軸上 (0 、 y_1) にある被写体 A を夫々のカメラで撮影すると、左右カメラのセンサー中心から被写体 A 像のズレ量を撮影視差として、それぞれ Plc 、 $Pr c$ とすると下記式で表すことができる。

【0047】

【数9】

$$Pr c = \frac{wc}{y_1} \cdot f \quad \dots (15)$$

【0048】

【数10】

$$Plc = -\frac{wc}{y_1} \cdot f \quad \dots (16)$$

【0049】

以上の原理により同一被写体を異なる視点から撮影することで、夫々主点位置ズレ（基線）方向に上記式（15）（16）で示すズレ量を持つ左右視差画像を取得することができる。このズレ量から被写体 A までの距離 y_1 は、下記式で算出することができる。

【0050】

【数11】

$$y_1 = \frac{2wc}{Pr c - Plc} \cdot f \quad \dots (17)$$

【0051】

ここで、実際には上記撮影視差量 Plc 、 $Pr c$ は撮像系の画素サイズの分解能で取得されるため、撮影視差量が画素サイズに近くなると被写体距離算出における誤差が増大することが理解できる。つまり、複眼撮像装置における被写体距離算出の精度を向上させるためには撮影視差量が出来るだけ大きくなるように構成することが重要である。

【0052】

そこで本発明では、少なくとも3つの異なる画角を有する光学系を備え、そのうち最も広い画角を有する光学系対が最大の基線長を有するよう配置した撮像装置を新規に提案する。

【0053】

以下に本発明の好ましい実施の形態を、添付の図面に基づいて詳細に説明する。

【実施例1】

【0054】

以下、図面を参照して、本発明の第1の実施形態による、複眼撮像装置について説明する。

【0055】

図1は第1の実施例の複眼撮像装置1の構成図である。結像光学系101a、101b、101c、101dは複眼を構成する結像光学系（複眼光学系）である。図1に示されるように、撮像素子102は、撮像領域102a、102b、102c、102dを有する。撮像領域102a～dは、結像光学系101a～dにそれぞれ対応する領域である。撮像領域102a～dは、それぞれ結像光学系101a～dを介して素子面上に到達した光学像を電気信号に変換する。また、A/D変換器103は撮像素子102のアナログ信号出力をデジタル信号に変換して画像処理部104に供給する。画像処理部104は、A/D変換器103からの各画像データに対して所定の画素補間処理や色変換処理等を行う。また、画像処理部104（画像復元手段）は、後述するように劣化画像を復元する画像復元処理も行う。また、画像処理部104においては、撮像した各画像データを用いて所定の演算処理が行われる。得られた演算結果はシステムコントローラ108に供給される。情報入力部106は使用者が所望の撮影条件を選択して入力する情報を検知してシス

10

20

30

40

50

テムコントローラ 108 にデータを供給する。システムコントローラ 108 は供給されたデータに基づき撮像駆動制御部 107 を制御し、必要な画像を取得する。

【0056】

画像記録媒体 105 は撮影した複数画像の静止画や動画を格納する他、画像ファイルを構成する場合のファイルヘッダを格納するための記録部である。表示部 200 は例えば液晶表示素子で構成された表示装置からなる。基準画像選択部 110 は各結像光学系 101 a、101 b、101 c、101 d によって結像された複数の視差画像から基準画像を選択し、対応点抽出部 111 は視差画像内の対応する画素を抽出する。また、視差量算出部 112 は上記で抽出された全ての対応点の視差量を夫々算出し、距離情報算出部 113 (算出手段) はその算出された視差量から画像内の被写体距離情報を算出する。

10

【0057】

図 1 に示されるように、複眼撮像装置 1 は 4 つの結像光学系 101 a、101 b、101 c、101 d を備えている。4 つの結像光学系 101 a ~ d はそれぞれの光軸がほぼ平行になるように配置される。ここで、ほぼ平行とは、完全に平行な場合と、許容誤差の範囲内で完全に平行な場合からずれている場合とを含む意味である。以下の実施例においても同様である。また、4 つの結像光学系 101 a ~ d は、各光学系の光軸間を結ぶ基線が交差(直交)するように配置されている。さらに対角方向の対角頂点位置に配置された結像光学系 101 a、101 d (第 1 の光学系、第 2 の光学系) は 4 つの結像光学系の中で最も広い撮影画角(第 1 の画角) 4 を有する広角結像光学系対として構成される。さらに、結像光学系 101 b (第 3 の光学系) は結像光学系 101 a、101 d に比べて撮影画角が半分の(第 1 の画角よりも狭い第 2 の画角) 2 となるように構成されている。さらに、結像光学系 101 c (第 4 の光学系) は結像光学系 101 b に比べて撮影画角が半分の(第 2 の画角よりも狭い第 3 の画角) となるように構成されている。簡単な説明のため、図 2 に上記の結像光学系配置で撮像した場合の夫々の結像光学系 101 a ~ d に対応する撮像イメージ 10 a、10 b、10 c、10 d を示す。なお、撮像イメージ 10 a は、撮像素子 102 の撮像領域 102 a (第 1 の光学系に対応する第 1 の撮像領域) から得られた第 1 の画像である。撮像イメージ 10 d は、撮像素子 102 の撮像領域 102 d (第 2 の光学系に対応する第 2 の撮像領域) から得られた第 2 の画像である。撮像イメージ 10 b は、撮像素子 102 の撮像領域 102 b (第 3 の光学系に対応する第 3 の撮像領域) から得られた第 3 の画像である。撮像イメージ 10 c は、撮像素子 102 の撮像領域 102 c (第 4 の光学系に対応する第 4 の撮像領域) から得られた第 4 の画像である。図 2 に示されたように結像光学系 101 a、101 d に対応する撮像イメージ 10 a、10 d が最も広い被写体空間を撮像しており、101 b、101 c に対応する撮像イメージ 10 b、10 c は画角に応じて撮像される被写体空間が狭くなっている。

20

30

【0058】

以下、この複眼撮像装置において連続的なズーム機能を実現させる撮影動作の詳細について、図 3 のフローチャートを用いて説明する。まず始めに、S301 にて、使用者からの撮影信号が入力されると、最も広い被写体空間を撮像した広角画像(第 1 の画像)と該広角画像より狭い被写体空間を撮像した望遠画像(第 3 の画像)とを同時に取得する。ここでは、例示的に、広角画像 10 a (第 1 の画像)と望遠画像 10 b (第 3 の画像)を同時に取得する。第 1、第 3 の画像 10 a、10 b は光学性能が保証された広角、望遠での撮影画像であるため、十分高解像度の画像となっている。なお、第 1 の画像 10 a は、第 3 の画像 10 b の少なくとも一部(好ましくは全部)を含んでいる。

40

【0059】

次に、S302 にて、第 1 の画像から使用者が所望する任意の画角を切り出して拡大する。ここで、拡大された画像(拡大画像)は従来のデジタルズーム技術である線形補間を用いて拡大するため劣化画像となる。なお、この劣化画像(拡大画像)は、本実施例では、第 1 の画角と第 2 の画角の間にある画角の画像である。換言すれば、劣化画像は、第 3 の画像 10 b の少なくとも一部(好ましくは全部)を含んでいる。次に、S303 にて、劣化画像の分布 g を特定する。次に、S304 にて、劣化画像内での第 3 の画像である参

50

照画像 10b との被写体同一領域を特定する。被写体同一領域の特定に関しては、後述するブロックマッチング法などを用いればよい。また、被写体同一領域の特定に関しては、第 3 の画像である参照画像 10b を、劣化画像と同サイズまで縮小してもよいし、劣化画像を拡大して比較してもよい。

【0060】

次に上述した超解像原理に基づいて、超解像処理を行う。ここでは、S305にて、式 14 で示した評価関数 $T(f)$ を作成する。本実施例においては、評価関数 $T(f)$ 内の $Z(f)$ の項に上述した劣化画像と参照画像 10b の同一被写体領域の相関が高い場合に値が小さくなる相関関数を追加することで、従来と比較してより高精度な画像復元を可能とする。また、劣化画像と参照画像 10b は同一被写体を撮影したものであり、それぞれの撮像倍率を 1 、 2 としたとき、

$$1 < 2$$

の関係を満たしている。この様な関係となる参照画像は、被写体のより高周波成分まで取得することができているため、高周波成分まで高精度に画像復元することが可能となっている。

【0061】

次に、S306にて、評価関数が最小となる推定分布 f を最急降下法などを用いて算出する。

【0062】

次に、S307にて、算出した推定分布 f となる画像を回復画像として保存して本フローを完了とする。

【0063】

また、表示部 200 には、画像処理後（画像回復後）の画像に表示用の所定の処理を行った画像を表示しても良いし、画像処理を行わない、又は簡易的な補正処理を行った画像を表示しても良い。また、撮影中の表示についても第 1 の画像をそのまま表示しておいて撮影後に使用者が所望の画角を指定して上述した処理を開始してもよいし、撮影中に所望の画角を指定しておいてもよい。また、補正量に関しては、実施に当たっての許容量をいかに設定するかによって決定されるものであるので、得ようとする画質レベルの目的や処理の負荷量に応じて決定すればよい。

【0064】

同様に第 1 の画像と第 3 の画像として、望遠画像 10b とさらなる望遠画像 10c を用いることでさらに高倍領域に対する連続ズームを実現することが可能である。また、このように本実施例では、連続する異なる画角を有する結像光学系において、広角側の画角と望遠側の画角比が 2 となるように構成されているが、これは説明を簡単にするための一例である。望ましくは、複数の結像光学系を構成する任意の結像光学系の画角を W 、該任意の結像光学系の次に狭い画角を有する結像光学系の画角を W_n とするとき、下記の条件式 (18) を満足することが望ましい。

$$1.1 < W / W_n < 3 \quad \dots (18)$$

条件式 (18) の下限を下回ると、撮像装置の高変倍比を達成するために非常に多くの結像光学系が必要となるため装置が大型化してしまう。また、条件式 (18) の上限を上回ると、上記超解像技術を用いても高精度に画像復元することが困難になってしまうため、ズーム後の画質が劣化してしまう。

【0065】

本実施例のように、複数の異なる画角を有する複眼レンズを用いた場合には解像度を保持した連続ズームが可能となり、ズーム駆動装置などを必要としない構成を実現できるため複眼撮像装置の薄型化に貢献することができる。

【0066】

次に本実施例の複眼撮像装置 1 の被写体距離情報記録動作について、図 4 のフローチャートを用いて詳細に説明する。ここではまず、最も広い被写体空間を撮像する広角光学系 101a、101d の結像光学系によって得られる視差画像を用いた場合の動作について

説明する。まず始めに、システムコントローラ 108 は、使用者からの撮影信号が入力されると、S401にて、撮像装置 1 全体の駆動制御を開始する。つぎに、S402にて、結像光学系 101a、101dを介した光学像を撮像素子 102で光電変換させ、A/D変換器 103を通して画像処理部 104に転送させ、所定の演算処理を行って画像データ（視差画像）として取得する。

【0067】

次に、S403にて、基準画像選択部 110により取得された視差画像データの一方を視差量算出のための基準画像として選択する。本実施例では結像光学系 101aによって得られる画像を基準画像（第1の画像）として選択する。

【0068】

次に、S404にて、対応点抽出部 111により、選択された基準画像に対して、結像光学系 101dから得られる画像を参照画像（第2の画像）とし、対応する画素を検出する。ここで対応する画素とは、例えば上記撮影モデルでの点像被写体 A に対して得られる視差画像データ内で同一被写体 A に対応する夫々の画素である。対応点抽出手法について詳細に説明する。ここで、画像座標 (X, Y) を使用する。

【0069】

画像座標 (X, Y) は、図 10におけるそれぞれの画素群の左上を原点として定義し、水平方向を X 軸、垂直方向を Y 軸とする。また、基準画像データ 501の画像座標 (X, Y) の輝度を $F1(X, Y)$ とし、参照画像データ 502の輝度を $F2(X, Y)$ として説明する。

【0070】

基準画像データにおける任意の座標 (X, Y) に対応する参照画像データの画素は、座標 (X, Y) における基準画像データの輝度 $F1(X, Y)$ と最も類似した参照画像データの輝度を探すことで求めることができる。図 10では、基準画像データにおける任意の座標 (X, Y) を、図 10の 501内縦線画素とし、該座標 (X, Y) に対応する参照画像データの画素を、図 10の 502内縦線画素とする。但し、一般的に、任意の画素と最も類似した画素を探することは難しいため、画像座標 (X, Y) の近傍の画素も用い、ブロックマッチングと呼ばれる手法にて類似画素を探索する。

【0071】

たとえば、ブロックサイズが 3 である場合のブロックマッチング処理について説明する。基準画像データの任意の座標 (X, Y) の画素と、その前後 (X - 1, Y), (X + 1, Y) の 2 つの画素の計 3 画素の輝度値はそれぞれ、 $F1(X, Y)$, $F1(X - 1, Y)$, $F1(X + 1, Y)$ となる。

【0072】

これに対し、座標 (X, Y) から X 方向に k だけずれた参照画像データの画素の輝度値はそれぞれ、 $F2(X + k, Y)$, $F2(X + k - 1, Y)$, $F2(X + k + 1, Y)$ となる。

【0073】

この場合、基準画像データの座標 (X, Y) の画素との類似度 E を以下の式 (19) で定義する。

【0074】

【数 12】

$$E = [F1(X, Y) - F2(X + k, Y)] + [F1(X - 1, Y) - F2(X + k - 1, Y)] + [F1(X + 1, Y) - F2(X + k + 1, Y)] = \sum_{j=-1}^1 [F1(X + j, Y) - F2(X + k + j, Y)] \quad \dots (19)$$

【0075】

この式 (19) において逐次 k の値を変えて上記類似度 E の値を計算し、最も小さい類

10

20

30

40

50

似度Eを与える $(X+k, Y)$ が、基準画像データの座標 (X, Y) に対する対応点である。ここでは、簡単のため水平方向に基線を有する視差画像について説明したが、同様の原理を用いて垂直方向、斜め方向に対しても対応点を検出することが可能である。

【0076】

次に、S405にて、視差量算出部112により、上記で抽出された各対応点について視差量を算出する。算出手法としては、上記ブロックマッチング法で得られた基準画像データの各画素に対応する参照画像データの各画素との画素位置差分として算出する。次に、S406にて、距離情報算出部113により、上記で算出された視差量と既知の情報である結像光学系の焦点距離と結像光学系101a, 101dの基線長データから式17を用いて撮影被写体に対する距離情報を算出する。ここで上記でも述べたように、被写体距離算出の精度を向上させるためには撮影視差量が出来ただけ大きくなるように構成することが重要である。また、撮影者にとっては撮影される被写体空間全域に対する距離情報が重要である。そのため、本実施例では、結像光学系のうち最も広い被写体空間を撮像する広角光学系101a, 101dの基線長が最も大きくなるように対角上に配置する構成としている。また、ここでは結像光学系101a, 101dを用いた場合の距離情報算出について説明したが、同様の原理によって他の結像光学系対（例えば光学系101a, 101bの対）を用いても距離情報算出することが可能である。ここで、画角の異なる画像によって上記手法を用いる場合は、広い画角の画像から狭い画角の画像に対応する部分を切り出して対応点を抽出する手法がより望ましい。次に、S407にて、取得された画像データとともに算出された被写体距離情報を記録して本フローを完了とする。

【0077】

以上のように、画角の異なる3種の結像光学系を備えることにより、ズーム駆動装置などを必要としない連続ズーム機能を実現することが可能である。さらに、本実施例では結像光学系のうち最も広い被写体空間を撮像する広角光学系を対として備え、その光学系対を基線長が最も大きくなるように対角上に配置する構成とすることで、距離情報取得精度向上を両立させている。つまり、本発明の構成によってビデオカメラ、デジタルカメラ等の撮像装置を、薄型、高変倍比でありながら、撮影する被写体空間についての高度な周辺空間情報を容易に取得することができる撮像装置へと発展させることが可能となる。

【0078】

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

【実施例2】

【0079】

以下、図面を参照して、本発明の第2の実施形態による、複眼撮像装置について説明する。

【0080】

図5は第2の実施例の複眼撮像装置2の構成図である。結像光学系201a, 201b, 201c, 201d, 201eが複眼を構成する結像光学系（複眼光学系）である。撮像素子202は、撮像領域202a, 202b, 202c, 202d, 202eを有する。撮像領域202a~eは、結像光学系201a~eにそれぞれ対応する領域である。撮像領域202a~eは、それぞれ結像光学系201a~eを介して素子面上に到達した光学像を電気信号に変換する。その他同一番号の部分については実施例1と同様であるため説明を省略する。

【0081】

図5に示されるように、複眼撮像装置2は5つの結像光学系201a, 201b, 201c, 201d, 201eを備えている。5つの結像光学系201a~eはそれぞれ光軸がほぼ平行になるように配置される。また、5つの結像光学系201a~eは、各光学系の光軸間を結ぶ基線が交差（一部は直交）するように配置されている。さらに対角方向に配置された結像光学系201a, 201dが5つの結像光学系の中で最も広い撮影画角8を有する広角結像光学系対として構成される。さらに、結像光学系201bは201a

10

20

30

40

50

、201dに比べて撮影画角が半分の4であり、結像光学系201eはさらに撮影画角が半分の2であり、結像光学系201cはさらに撮影画角が半分のとなるように構成されている。連続ズーム機能の実現手段、距離情報取得精度向上の構成理由は第1の実施例と同様となるため、ここでは詳細な説明は省略する。

【0082】

以上のように、画角の異なる4種の結像光学系を備えることにより、ズーム駆動装置などを必要としない連続ズーム機能を実現することが可能である。さらに、本実施例では結像光学系のうち最も広い被写体空間を撮像する広角光学系を対として備え、その光学系対を基線長が最も大きくなるように対角上に配置する構成とすることで、距離情報取得精度向上を両立させている。つまり、本発明の構成によってビデオカメラ、デジタルカメラ等の撮像装置を、薄型、高変倍比でありながら、撮影する被写体空間についての高度な周辺空間情報を容易に取得することができる撮像装置へと発展させることが可能となる。

10

【0083】

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

【実施例3】

【0084】

以下、図面を参照して、本発明の第3の実施形態による、複眼撮像装置について説明する。

【0085】

図6は第3の実施例の複眼撮像装置3の構成図である。結像光学系301a、301b、301c、301d、301e、301f、301g、301h、301iが複眼を構成する結像光学系（複眼光学系）である。撮像素子302は、撮像領域302a、302b、302c、302d、302e、302f、302g、302h、302iを有する。撮像領域302a～iは、結像光学系301a～iにそれぞれ対応する領域である。撮像領域302a～iは、それぞれ結像光学系301a～iを介して素子面上に到達した光学像を電気信号に変換する。その他同一番号の部分については実施例1と同様であるため説明を省略する。

20

【0086】

図6に示されるように、複眼撮像装置3は9つの結像光学系301a、301b、301c、301d、301e、301f、301g、301h、301iを備えている。9つの結像光学系301a～iはそれぞれほぼ光軸が平行になるように配置される。また、9つの結像光学系301a～iは、各光学系の光軸間を結ぶ基線が交差（直交）するように配置されている。さらに対角方向に配置された結像光学系301a、301iが9つの結像光学系の中で最も広い撮影画角8を有する広角結像光学系対として構成される。さらに、結像光学系301bは7であり、結像光学系301cは6であり、結像光学系301fは5となるように構成されている。さらに、結像光学系301eは4であり、結像光学系301dは3であり、結像光学系301gは2であり、結像光学系301hはとなるように構成されている。連続ズーム機能の実現手段、距離情報取得精度向上の構成理由は第1の実施例と同様となるため、ここでは詳細な説明は省略する。また、このように本実施例では、連続する異なる画角を有する結像光学系において、広角側の画角と望遠側の画角比が1.14～2となるように構成されているが、これは説明を簡単にするための一例である。望ましくは、複数の結像光学系を構成する任意の結像光学系の画角をW、該任意の結像光学系の次に狭い画角を有する結像光学系の画角をW_nとするととき、上記の条件式(18)を満足することが望ましい。

30

40

【0087】

条件式(18)の下限を下回ると、撮像装置の高変倍比を達成するために非常に多くの結像光学系が必要となるため装置が大型化してしまう。また、条件式(18)の上限を上回ると、上記超解像技術を用いても高精度に画像復元することが困難となってしまうため、ズーム後の画質が劣化してしまう。

50

【0088】

以上のように、画角の異なる8種の結像光学系を備えることにより、ズーム駆動装置などを必要としない連続ズーム機能を実現することが可能である。さらに、本実施例では結像光学系のうち最も広い被写体空間を撮像する広角光学系を対として備え、その光学系対を基線長が最も大きくなるように対角上に配置する構成とすることで、距離情報取得精度向上を両立させている。つまり、本発明の構成によってビデオカメラ、デジタルカメラ等の撮像装置を、薄型、高変倍比でありながら、撮影する被写体空間についての高度な周辺空間情報を容易に取得することができる撮像装置へと発展させることが可能となる。

【0089】

さらに、上記のように構成された撮像装置1, 2, 3の他の周辺空間情報取得モード、又は周辺空間情報応用モードについて説明する。ハイダイナミックレンジモードは、複眼を構成するそれぞれのユニットで露出条件を変えて撮影を行い、撮影された夫々の画像を合成することによって、ダイナミックレンジの広い画像情報を取得する。ボケ付加モードは、上記のように算出した被写体距離情報に基づいて背景にボケを付加することで主要被写体を強調する画像を得る。背景除去モードは、上記のように算出した被写体距離情報に基づいて主要被写体以外の背景を除去した画像を得る。立体画像撮像モードは、水平方向に配列された複眼を構成するそれぞれのユニットで左右視差画像を取得し、一方の狭い画角の画像とそれに対応する他方の広い画角の画像領域の一部を用いて立体画像として画像を保存する。このように、本発明の複眼撮像装置は、立体画像撮像装置としても機能することができる。撮影構図選択モードは、図2のように複数の画角による画像を表示部2000に表示することで、撮影者に所望の画角画像を選択させる。次に、ベストショットモードについて図7を用いて簡単に説明する。ここで、図7は複眼撮像装置1の結像光学系101aに対応した画角範囲の画像であり、破線部131は結像光学系101bに対応した画角範囲であるとする。結像光学系101bに対応する画角で撮影者が動体である人物130の撮影を行うように操作した場合、撮影目的である動体(人物130)が破線部131の領域に入るタイミングを画像処理部104で算出する。上記タイミングの算出には結像光学系101aに対応した広い画角範囲の画像から動体の動きベクトル等を用いて算出することができる。撮影領域変更モードは、夫々の結像光学系を夫々の光軸と垂直な面内で変位可能とすることで、夫々の結像光学系に対応する被写体空間領域を変更して夫々の画像を保存する。このように、本発明は、実施例1~3に記載の複数の結像光学系のそれぞれを光軸と垂直な面内で変位させる変位手段を備えていてもよい。例えば、広角結像光学系101aに対応する画面内の任意の領域を望遠結像光学系101cを変位させることで拡大表示させることが可能となる。

【0090】

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

【産業上の利用可能性】

【0091】

本発明の複眼撮像装置は、ビデオカメラやコンパクトデジタルカメラなどの光学装置に好適に利用できる。

【符号の説明】

【0092】

- 1 複眼撮像装置
- 101a, 101b, 101d 結像光学系
- 102 撮像素子

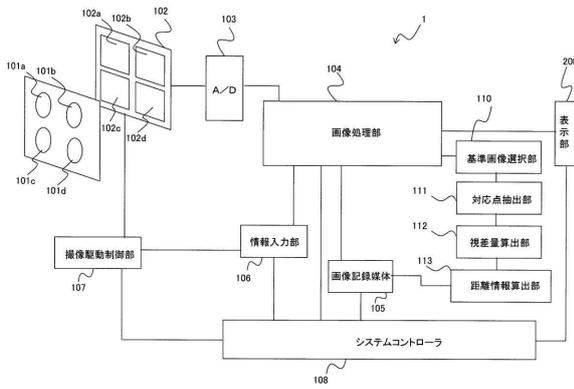
10

20

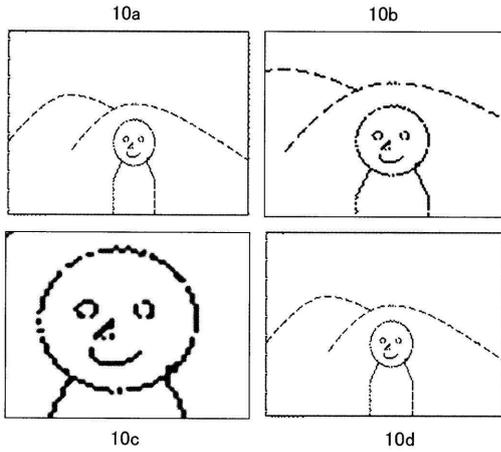
30

40

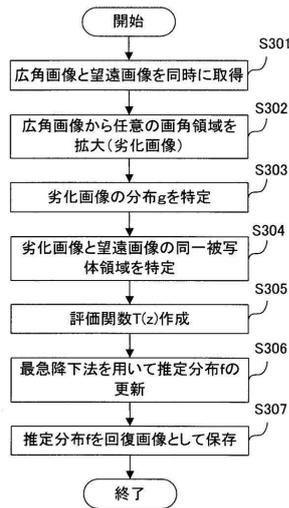
【図1】



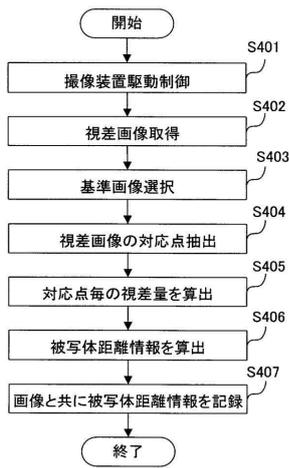
【図2】



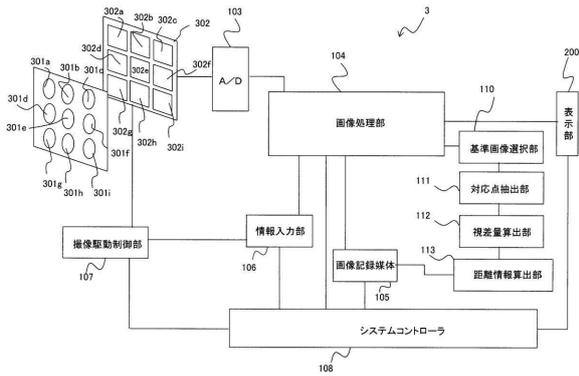
【図3】



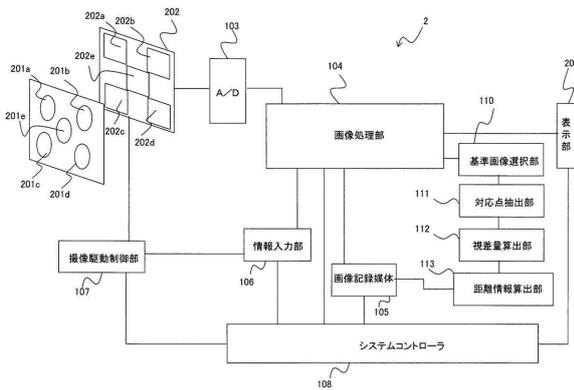
【図4】



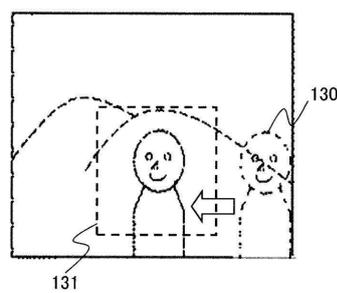
【図6】



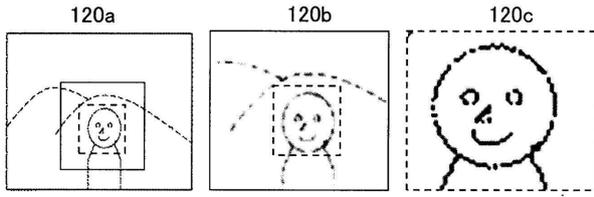
【図5】



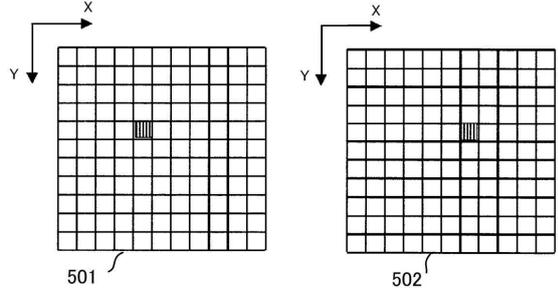
【図7】



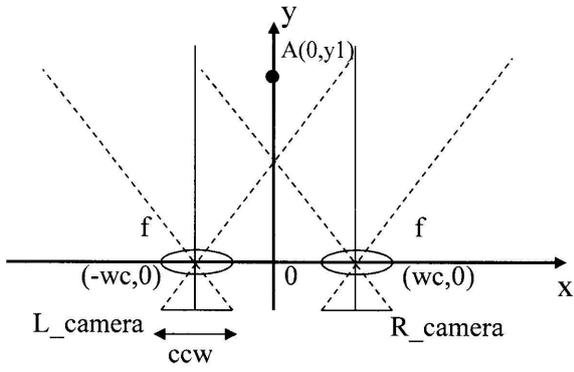
【 8 】



【 10 】



【 9 】



フロントページの続き

(51) Int.Cl. F I
 G 0 6 T 3/00 (2006.01) G 0 6 T 3/00 7 8 0

(56) 参考文献 特開 2 0 0 9 - 1 1 7 9 7 6 (J P , A)
 特開 2 0 1 2 - 1 0 8 5 1 5 (J P , A)
 特開 2 0 1 1 - 1 9 3 3 3 8 (J P , A)
 特開 2 0 0 5 - 0 3 1 4 6 6 (J P , A)
 特開 2 0 1 2 - 2 4 9 0 7 0 (J P , A)
 特開 2 0 1 2 - 1 4 7 0 8 8 (J P , A)
 特開 2 0 0 2 - 1 7 1 5 3 7 (J P , A)
 米国特許出願公開第 2 0 0 2 / 0 0 7 5 4 5 0 (U S , A 1)
 米国特許出願公開第 2 0 1 2 / 0 0 7 4 2 2 7 (U S , A 1)
 特開 2 0 0 6 - 2 1 4 7 3 5 (J P , A)
 特表 2 0 1 2 - 5 2 7 8 2 0 (J P , A)

(58) 調査した分野(Int.Cl. , DB名)

G 0 3 B 3 / 0 0 - 3 / 1 2
 G 0 3 B 1 5 / 0 0 - 1 5 / 0 3 5
 G 0 3 B 1 5 / 0 6 - 1 5 / 1 6
 G 0 3 B 1 9 / 0 0 - 1 9 / 1 6
 G 0 6 T 3 / 0 0
 H 0 4 N 5 / 2 2 2 - 5 / 2 5 7