

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4598162号
(P4598162)

(45) 発行日 平成22年12月15日(2010.12.15)

(24) 登録日 平成22年10月1日(2010.10.1)

(51) Int.Cl.		F I			
HO4N	9/07	(2006.01)	HO4N	9/07	A
HO4N	9/04	(2006.01)	HO4N	9/04	B

請求項の数 14 (全 32 頁)

(21) 出願番号	特願2010-527282 (P2010-527282)	(73) 特許権者	000005821
(86) (22) 出願日	平成22年2月4日(2010.2.4)		パナソニック株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2010/000680		大阪府門真市大字門真1006番地
(87) 国際公開番号	W02010/090025	(74) 代理人	100101683
(87) 国際公開日	平成22年8月12日(2010.8.12)		弁理士 奥田 誠司
審査請求日	平成22年7月13日(2010.7.13)	(72) 発明者	吾妻 健夫
(31) 優先権主張番号	特願2009-25139 (P2009-25139)		大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
(32) 優先日	平成21年2月5日(2009.2.5)	(72) 発明者	菰淵 寛仁
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
早期審査対象出願		(72) 発明者	今川 太郎
			大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 撮像処理装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光学素子と、

複数の色からなるカラーフィルターアレイが装着された単板撮像素子であって、前記光学素子に導かれて前記カラーフィルターアレイを透過した光の量に応じた値を出力し、フレーム時刻毎に前記複数の色ごとの画像の取得を可能にする単板撮像素子と、

複数のフレーム時刻にわたって得られた各画像の、前記複数の色における第1色に対応する値を加算する第1の加算部と、

同じフレーム時刻に撮影された画像の、前記複数の色における、前記第1色以外の第2色に対応する複数の値を加算する第2の加算部と、

前記第1の加算部により加算された前記第1色に基づく画像、および、前記第2の加算部により加算された前記第2色に基づく画像から、各フレーム時刻における複数の色を含む画像を復元する画像復元部と、

を備えた、撮像処理装置。

【請求項2】

前記カラーフィルターアレイは、前記複数の色として、前記第1色および前記第2色のいずれとも異なる第3の色を含んでおり、

前記第2の加算部は、同じフレーム時刻に撮影された画像の、前記第3色に対応する複数の値を加算し、

前記画像復元部は、

前記第2の加算部により加算された前記第2色の画像および前記第3色の画像から動きを検出し、検出した動きに関する動き情報を出力する動き検出部と、

前記第1色の画像、前記第2色の画像および前記第3の画像と、動き検出部により検出された動き情報とに基づいて、各フレーム時刻における複数の色を含む画像を復元する復元部と

を備えた、請求項1に記載の撮像処理装置。

【請求項3】

前記第2の加算部、および、前記第1の加算部の動作を制御する制御部をさらに備え、前記制御部は、前記単板撮像素子が受けた光の量または画素値に応じて、または、ユーザが指定した動作モードに応じて、前記第2の加算部、および、前記第1の加算部が加算する対象の画素の数を制御する、請求項1に記載の撮像処理装置。

10

【請求項4】

単板撮像素子は積層型である、請求項1から3のいずれかに記載の撮像処理装置。

【請求項5】

前記第1色は緑、前記第2色および前記第3色は赤および青である、請求項2に記載の撮像処理装置。

【請求項6】

赤、緑、青および白のカラーフィルターアレイが装着された単板撮像素子であって、前記カラーフィルターアレイを透過した光の量に応じた値を出力し、フレーム時刻毎に前記カラーフィルターアレイの色ごとの画像の取得を可能にする単板撮像素子と、

20

複数のフレーム時刻にわたって得られた、前記赤、前記緑および前記青の各画像に対応する値を加算する第1の加算部と、

前記白色の画像から動きを検出し、検出した動きに関する動き情報を出力する動き検出部と、

前記第1の加算部により加算された前記赤、前記緑および前記青の各画像、前記白色の画像、および、前記動き情報に基づいて、各フレーム時刻における前記赤、前記緑および前記青を含む画像を復元する画像復元部と、

を備えた、撮像処理装置。

【請求項7】

赤、緑、青および白のカラーフィルターアレイが装着された単板撮像素子であって、前記カラーフィルターアレイを透過した光の量に応じた値を出力し、フレーム時刻毎に前記カラーフィルターアレイの色ごとの画像の取得を可能にする単板撮像素子と、

30

複数のフレーム時刻にわたって得られた、前記赤、前記緑および前記青の各画像に対応する値を加算する第1の加算部と、

同じフレーム時刻に撮影された白色の画像に対応する複数の値を加算する第2の加算部と、

前記第2の加算部により加算された前記白色の画像から動きを検出し、検出した動きに関する動き情報を出力する動き検出部と、

前記第1の加算部により加算された前記赤、前記緑および前記青の各画像、前記第2の加算部により加算された白色の画像、および、前記動き情報に基づいて、各フレーム時刻における前記赤、前記緑および前記青を含む画像を復元する画像復元部と、

40

を備えた、撮像処理装置。

【請求項8】

前記第1の加算部は、前記単板撮像素子における露光時間を複数のフレーム時刻にわたる長さにする事により、前記赤、前記緑および前記青の各画像に対応する値を加算しており

前記第1の加算部は、前記赤、前記緑および前記青に対して露光時間を変化させる、請求項6または7に記載の撮像処理装置。

【請求項9】

光学素子と、

50

複数の色からなるカラーフィルターアレイが装着された単板撮像素子であって、前記光学素子に導かれて前記カラーフィルターアレイを透過した光の量に応じた値を出力し、フレーム時刻毎に前記複数の色ごとの画像の取得を可能にする単板撮像素子と

を備えた撮像処理装置に実装されたコンピュータによって実行されるコンピュータプログラムであって、

前記コンピュータプログラムは、前記コンピュータに対し、

複数のフレーム時刻にわたって得られた各画像の、前記複数の色における第1色に対応する値を加算するステップと、

同じフレーム時刻に撮影された画像の、前記複数の色における、前記第1色以外の第2色に対応する複数の値を加算するステップと、

前記第1の加算部により加算された前記第1色に基づく画像、および、前記第2の加算部により加算された前記第2色に基づく画像から、各フレーム時刻における複数の色を含む画像を復元するステップと

を実行させる、コンピュータプログラム。

【請求項10】

光学素子と、

複数の色からなるカラーフィルターアレイが装着された単板撮像素子であって、前記光学素子に導かれて前記カラーフィルターアレイを透過した光の量に応じた値を出力し、フレーム時刻毎に前記複数の色ごとの画像の取得を可能にする単板撮像素子と

を備えた撮像処理装置によって取得された、前記複数の色ごとの画像を処理する方法であって、

複数のフレーム時刻にわたって得られた各画像の、前記複数の色における第1色に対応する値を加算する第1の加算ステップと、

同じフレーム時刻に撮影された画像の、前記複数の色における、前記第1色以外の第2色に対応する複数の値を加算する第2の加算ステップと、

前記第1の加算ステップにより加算された前記第1色に基づく画像、および、前記第2の加算ステップにより加算された前記第2色に基づく画像から、各フレーム時刻における複数の色を含む画像を復元するステップと

を包含する、画像処理方法。

【請求項11】

赤、緑、青および白のカラーフィルターアレイが装着された単板撮像素子であって、前記カラーフィルターアレイを透過した光の量に応じた値を出力し、フレーム時刻毎に前記カラーフィルターアレイの色ごとの画像の取得を可能にする単板撮像素子を備えた撮像処理装置によって取得された、前記カラーフィルターアレイの色ごとの画像を処理する方法であって、

複数のフレーム時刻にわたって得られた、前記赤、前記緑および前記青の各画像に対応する値を加算する第1の加算ステップと、

前記白色の画像から動きを検出し、検出した動きに関する動き情報を出力するステップと、

前記第1の加算ステップにより加算された前記赤、前記緑および前記青の各画像、前記白色の画像、および、前記動き情報に基づいて、各フレーム時刻における前記赤、前記緑および前記青を含む画像を復元するステップと

を包含する、画像処理方法。

【請求項12】

赤、緑、青および白のカラーフィルターアレイが装着された単板撮像素子であって、前記カラーフィルターアレイを透過した光の量に応じた値を出力し、フレーム時刻毎に前記カラーフィルターアレイの色ごとの画像の取得を可能にする単板撮像素子を備えた撮像処理装置に実装されたコンピュータによって実行されるコンピュータプログラムであって、

前記コンピュータプログラムは、前記コンピュータに対し、

複数のフレーム時刻にわたって得られた、前記赤、前記緑および前記青の各画像に対応

10

20

30

40

50

する値を加算するステップと、

前記白色の画像から動きを検出し、検出した動きに関する動き情報を出力するステップと、

加算する前記ステップにより加算された前記赤、前記緑および前記青の各画像、前記白色の画像、および、前記動き情報に基づいて、各フレーム時刻における前記赤、前記緑および前記青を含む画像を復元するステップと

を実行させる、コンピュータプログラム。

【請求項 1 3】

赤、緑、青および白のカラーフィルターアレイが装着された単板撮像素子であって、前記カラーフィルターアレイを透過した光の量に応じた値を出力し、フレーム時刻毎に前記カラーフィルターアレイの色ごとの画像の取得を可能にする単板撮像素子を備えた撮像処理装置によって取得された、前記カラーフィルターアレイの色ごとの画像を処理する方法であって、

複数のフレーム時刻にわたって得られた、前記赤、前記緑および前記青の各画像に対応する値を加算する第 1 の加算ステップと、

同じフレーム時刻に撮影された白色の画像に対応する複数の値を加算する第 2 の加算ステップと、

前記第 2 の加算ステップにより加算された前記白色の画像から動きを検出し、検出した動きに関する動き情報を出力するステップと、

前記第 1 の加算ステップにより加算された前記赤、前記緑および前記青の各画像、前記第 2 の加算ステップにより加算された白色の画像、および、前記動き情報に基づいて、各フレーム時刻における前記赤、前記緑および前記青を含む画像を復元するステップと

を包含する、画像処理方法。

【請求項 1 4】

赤、緑、青および白のカラーフィルターアレイが装着された単板撮像素子であって、前記カラーフィルターアレイを透過した光の量に応じた値を出力し、フレーム時刻毎に前記カラーフィルターアレイの色ごとの画像の取得を可能にする単板撮像素子を備えた撮像処理装置に実装されたコンピュータによって実行されるコンピュータプログラムであって、

前記コンピュータプログラムは、前記コンピュータに対し、

複数のフレーム時刻にわたって得られた、前記赤、前記緑および前記青の各画像に対応する値を加算する第 1 の加算ステップと、

同じフレーム時刻に撮影された白色の画像に対応する複数の値を加算する第 2 の加算ステップと、

前記第 2 の加算ステップにより加算された前記白色の画像から動きを検出し、検出した動きに関する動き情報を出力するステップと、

前記第 1 の加算ステップにより加算された前記赤、前記緑および前記青の各画像、前記第 2 の加算ステップにより加算された白色の画像、および、前記動き情報に基づいて、各フレーム時刻における前記赤、前記緑および前記青を含む画像を復元するステップと

を実行させる、コンピュータプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、動画像の画像処理に関する。より具体的には、撮影された動画像の解像度およびフレームレートの少なくとも一方を画像処理によって高くした動画像を生成する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 は、単板撮像素子を用いたカラー画像撮影を行う技術を開示している。たとえば図 15 は、特許文献 1 の単板撮像素子に装着される、ベイヤー配列と呼ばれる配列のカラーフィルターアレイの一例を示す。図中の "R"、"G"、"B" はそれぞれ「赤」、「緑

10

20

30

40

50

」、 「青」のフィルターを示している（以下、本明細書および図面において同様の表記を採用する）。

【0003】

図15に示すベイヤー配列のカラーフィルターを透過した光は、撮像素子の各画素に入射する。撮像素子の各画素から出力される信号は、R、G、Bいずれかの色についての値を持つ。

【0004】

この説明から明らかな通り、撮像素子の各「画素」とは、各色のカラーフィルターを透過した光を受け、受けた光の強さに応じた信号を出力する撮像素子の1単位である。

【0005】

一方、上記のようにして撮像された画像を表示する際には、各画素においてR、G、B（もしくはY、Pb、Pr等の3色）の値が必要である。そこで、非特許文献1～3は、撮像素子の各画素において取得されていない色の画素値を演算によって復元し、撮像素子の各画素におけるR、G、Bの画素値を求めることによって、画素数が多いカラー画像を得る方法を開示している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】米国特許第3971065号明細書

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献1】Daniel Keren, Margarita Osadchy, "Restoring subsampled color images", Machine Vision and Applications, 11, pp. 197-202, 1999

【非特許文献2】Ron Kimmel, "Demosaicing: Image Reconstruction from Color CCD Samples", IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 8, No. 9, September 1999

【非特許文献3】David Alleysson, Sabine Su"sstrunk, "Linear Demosaicing Inspired by the Human Visual System", IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 14, No. 4, April 2005

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら、従来の撮像処理装置では、高解像度化を図る目的で撮像素子の画素寸法が小型化されるにつれて、撮像素子の1画素に入射する光量が減少していた。その結果、各画素の信号対雑音比(S/N)の低下につながり、画質を維持することが困難であった。

【0009】

本発明の目的は、撮像素子のS/Nの低下を抑えながら、画質を維持する撮像処理装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明による撮像処理装置は、光学素子と、複数の色からなるカラーフィルターアレイが装着された単板撮像素子であって、前記光学素子に導かれて前記カラーフィルターアレイを透過した光の量に応じた値を出力し、フレーム時刻毎に前記複数の色ごとの画像の取得を可能にする単板撮像素子と、複数のフレーム時刻にわたって得られた各画像の、前記

10

20

30

40

50

複数の色における第1色に対応する値を加算する第1の加算部と、同じフレーム時刻に撮影された画像の、前記複数の色における、前記第1色以外の第2色に対応する複数の値を加算する第2の加算部と、前記第1の加算部により加算された前記第1色に基づく画像、および、前記第2の加算部により加算された前記第2色に基づく画像から、各フレーム時刻における複数の色を含む画像を復元する画像復元部とを備えている。

【0011】

前記カラーフィルターアレイは、前記複数の色として、前記第1色および前記第2色のいずれとも異なる第3の色を含んでおり、前記第2の加算部は、同じフレーム時刻に撮影された画像の、前記第3色に対応する複数の値を加算し、前記画像復元部は、前記第2の加算部により加算された前記第2色の画像および前記第3色の画像から動きを検出し、検出した動きに関する動き情報を出力する動き検出部と、前記第1色の画像、前記第2色の画像および前記第3の画像と、動き検出部により検出された動き情報とに基づいて、各フレーム時刻における複数の色を含む画像を復元する復元部とを備えていてもよい。

10

【0012】

前記撮像処理装置は、前記第2の加算部、および、前記第1の加算部の動作を制御する制御部をさらに備え、前記制御部は、前記単板撮像素子が受けた光の量または画素値に応じて、または、ユーザが指定した動作モードに応じて、前記第2の加算部、および、前記第1の加算部が加算する対象の画素の数を制御してもよい。

【0013】

単板撮像素子は積層型であってもよい。

20

【0014】

前記第1色は緑、前記第2色および前記第3色は赤および青であってもよい。

【0015】

本発明による撮像処理装置は、赤、緑、青および白のカラーフィルターアレイが装着された単板撮像素子であって、前記カラーフィルターアレイを透過した光の量に応じた値を出力し、フレーム時刻毎に前記カラーフィルターアレイの色ごとの画像の取得を可能にする単板撮像素子と、複数のフレーム時刻にわたって得られた、前記赤、前記緑および前記青の各画像に対応する値を加算する第1の加算部と、前記白色の画像から動きを検出し、検出した動きに関する動き情報を出力する動き検出部と、前記第1の加算部により加算された前記赤、前記緑および前記青の各画像、前記白色の画像、および、前記動き情報に基づいて、各フレーム時刻における前記赤、前記緑および前記青を含む画像を復元する画像復元部とを備えている。

30

【0016】

本発明による撮像処理装置は、赤、緑、青および白のカラーフィルターアレイが装着された単板撮像素子であって、前記カラーフィルターアレイを透過した光の量に応じた値を出力し、フレーム時刻毎に前記カラーフィルターアレイの色ごとの画像の取得を可能にする単板撮像素子と、複数のフレーム時刻にわたって得られた、前記赤、前記緑および前記青の各画像に対応する値を加算する第1の加算部と、同じフレーム時刻に撮影された白色の画像に対応する複数の値を加算する第2の加算部と、前記第2の加算部により加算された前記白色の画像から動きを検出し、検出した動きに関する動き情報を出力する動き検出部と、前記第1の加算部により加算された前記赤、前記緑および前記青の各画像、前記第2の加算部により加算された白色の画像、および、前記動き情報に基づいて、各フレーム時刻における前記赤、前記緑および前記青を含む画像を復元する画像復元部とを備えている。

40

【0017】

前記第1の加算部は、前記単板撮像素子における露光時間を複数のフレーム時刻にわたる長さにするることにより、前記赤、前記緑および前記青の各画像に対応する値を加算しており、前記第1の加算部は、前記赤、前記緑および前記青に対して露光時間を変化させてもよい。

【0018】

50

本発明によるコンピュータプログラムは、光学素子と、複数の色からなるカラーフィルターアレイが装着された単板撮像素子であって、前記光学素子に導かれて前記カラーフィルターアレイを透過した光の量に応じた値を出力し、フレーム時刻毎に前記複数の色ごとの画像の取得を可能にする単板撮像素子とを備えた撮像処理装置に実装されたコンピュータによって実行され、前記コンピュータプログラムは、前記コンピュータに対し、複数のフレーム時刻にわたって得られた各画像の、前記複数の色における第1色に対応する値を加算するステップと、同じフレーム時刻に撮影された画像の、前記複数の色における、前記第1色以外の第2色に対応する複数の値を加算するステップと、前記第1の加算部により加算された前記第1色に基づく画像、および、前記第2の加算部により加算された前記第2色に基づく画像から、各フレーム時刻における複数の色を含む画像を復元するステップとを実行させる。

10

【発明の効果】

【0019】

本発明の撮像処理装置によれば、単板撮像素子に時間加算と空間加算の機能を付加し、画素毎に時間加算もしくは空間加算された入力画像に対して復元処理を行うという構成により、撮像時に光量を確保しつつ高解像度かつ高フレームレートの画像を推定し復元することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】実施形態1における撮像処理装置100の構成を示すブロック図である。

20

【図2】画像復元部105のより詳細な構成の一例を示す構成図である。

【図3】(a)および(b)は、ブロックマッチングによって動き検出を行うときの基準フレームと参照フレームとを示す図である。(a)は、基準フレームとなる、時刻tにおける画像を示す図であり、(b)は、参照フレームとなる、時刻t+ Δ tにおける画像を示す図である。

【図4】(a)および(b)は、2×2画素の空間加算をする際の仮想的サンプル位置を示す。

【図5】復元処理部202の構成の一例を示す図である。

【図6】RGB色空間と球面座標系(θ 、 ϕ 、r)との対応例を示す。

【図7】実施形態2による撮像処理装置300の構成を示す構成図である。

30

【図8】配置と露光時間が、R、G、Bについては長時間露光されるように設定され、白については短時間露光されるように設定されている撮像素子の構成例を示す。

【図9】実施形態3における撮像処理装置400の構成を示すブロック図である。

【図10】長時間露光するRGBの露光開始と終了のタイミングが揃っている場合の例を示す図である。

【図11】長時間露光するRGBの露光開始と終了のタイミングがずれている場合の例を示す図である。

【図12】カラーフィルターアレイと露光時間との組み合わせの他の例を示す図である。

【図13】(a)は3板式の撮像素子用に用いられる薄膜光学フィルターの分光特性を示す図であり、(b)は単板用に用いられる染料フィルターの分光特性を示す図である。

40

【図14】(a)はグローバルシャッタを用いた露光タイミングを示す図であり、(b)はフォーカルプレーン現象発生時の露光タイミングを示す図である。

【図15】従来技術の単板撮像素子に装着される、ベイヤー配列と呼ばれる配列のカラーフィルターアレイの一例を示す。

【発明を実施するための形態】

【0021】

以下、添付の図面を参照しながら、本発明による撮像処理装置の実施形態を説明する。

【0022】

(実施形態1)

図1は、本実施形態における撮像処理装置100の構成を示すブロック図である。図1

50

において、撮像処理装置 100 は、光学系 101 と、単板カラー撮像素子 102 と、2つの加算部（すなわち第 1 の加算部である時間加算部 103 および第 2 の加算部である空間加算部 104 と、画像復元部 105 とを備えている。以下、撮像処理装置 100 の各構成要素を詳細に説明する。

【0023】

光学系 101 は、被写体の像を撮像素子の像面に結像する。

【0024】

単板カラー撮像素子 102 は、カラーフィルターアレイが装着された単板撮像素子である。単板カラー撮像素子 102 は、光学系 101 によって結ばれた光（光学像）を光電変換し、それによって得られた電気信号を出力する。この電気信号の値は、単板カラー撮像素子 102 の各画素値である。単板カラー撮像素子 102 からは、各画素に入射した光の量に応じた画素値が出力される。同じフレーム時刻に撮影された同じ色の画素値により、その色ごとの画像が得られる。全ての色の画像により、カラー画像が得られる。

10

【0025】

時間加算部 103 は、カラー撮像素子 12 によって撮像されたカラー画像の第 1 色の光電変換値を時間方向に複数フレーム加算する。ここで、「時間方向への加算」とは、連続する複数のフレーム（画像）の各々において共通の画素座標値を有する各画素の画素値を加算することである。具体的には、2 フレームから 9 フレーム程度の範囲で、画素座標値が同じ画素の画素値を加算する。

【0026】

空間加算部 104 は、カラー撮像素子 12 によって撮像されたカラー画像の第 2 色、第 3 色の光電変換値を空間方向に複数画素分加算する。ここで、「空間方向への加算」とは、ある時刻に撮影された 1 フレーム（画像）を構成する複数の画素の画素値を加算することである。具体的には、画素値が加算される「複数の画素」の例は、水平 2 画素×垂直 1 画素、水平 1 画素×垂直 2 画素、水平 2 画素×垂直 2 画素、水平 2 画素×垂直 3 画素、水平 3 画素×垂直 2 画素、水平 3 画素×垂直 3 画素、等である。これらの複数の画素に関する画素値（光電変換値）を空間方向に加算する。

20

【0027】

画像復元部 105 は、時間加算部 103 によって時間加算された第 1 色画像、および、空間加算部 104 によって空間加算された第 2 色画像および第 3 色画像の各データを受け取り、これらに画像復元を行うことによって各画素における第 1 色から第 3 色の値を推定しカラー画像を復元する。

30

【0028】

図 2 は、画像復元部 105 のより詳細な構成の一例を示す構成図である。図 2 において、画像復元部 105 以外の構成は、図 1 と同一である。画像復元部 105 は、動き検出部 201 および復元処理部 202 を有している。

【0029】

動き検出部 201 は、ブロックマッチング、勾配法、位相相関法等の公知技術により、空間加算された第 2 色画像、第 3 色画像のデータから、動き（オプティカルフロー）を検出する。動き検出部 201 は、検出されたこの動きの情報（動き情報）を出力する。公知技術として、たとえば P. Anandan. "Computational framework and an algorithm for the measurement of visual motion", International Journal of Computer Vision, Vol. 2, pp. 283 - 310, 1989 が知られている。

40

【0030】

図 3 (a) および (b) は、ブロックマッチングによって動き検出を行うときの基準フレームと参照フレームとを示している。動き検出部 201 は、基準とするフレーム（動きを求めるべく着目している時刻 t における画像）内に、図 3 (a) に示す窓領域 A を設定する。そして、窓領域内のパターンと類似するパターンを参照フレーム内で探索する。参照フレームとして、たとえば着目フレームの次のフレームが利用されることが多い。

【0031】

50

探索範囲は、図3(b)に示すように、通常、移動量ゼロの位置Bを基準に予め一定の範囲(同図3(b)中のC)が設定される。また、パターンの類似の度合い(程度)は、(数1)に示す残差平方和(SSD: Sum of Square Differences)や、(数2)に示す残差絶対値和(SAD: Sum of Absoluted Differences)を評価値として計算することによって評価する。

【数1】

$$SSD = \sum_{x,y \in W} (f(x+u, y+v, t+\Delta t) - f(x, y, t))^2$$

10

【数2】

$$SAD = \sum_{x,y \in W} |f(x+u, y+v, t+\Delta t) - f(x, y, t)|$$

(数1)および(数2)において、 $f(x, y, t)$ は画像すなわち画素値の時空間的な分布であり、 $x, y \in W$ は、基準フレームの窓領域内に含まれる画素の座標値を意味する。

【0032】

動き検出部201は、探索範囲内で (u, v) を変化させることにより、上記評価値を最小とする (u, v) の組を探索し、これをフレーム間での動きベクトルとする。窓領域の設定位置を順次シフトさせることによって、動きを画素毎もしくはブロック毎(例えば8画素×8画素)に求める。

20

【0033】

ここで、本願発明ではカラーフィルターアレイを装着した単板カラー画像の3色中の2色の空間加算画像に対して動き検出を行うため、探索範囲内での (u, v) の変化ステップには注意が必要である。

【0034】

図4(a)は、2×2画素の空間加算をする際の仮想的サンプル位置を示す。ここでは、Gを第1色とし、RとBを第2色、第3色とする。なお、単に「R」、「G」、「B」と記載したときは、その色成分のみを含む画像を意味することもある。

30

【0035】

図4(b)は、図4(a)のRとBを2×2画素の空間加算した場合の、仮想的なサンプル位置を示す。この場合、仮想的なサンプル位置は、RもしくはBだけについては、4画素おきに均等な配置になっているが、RとBの双方を同時に含むサンプル位置は非均等になっている。そのため、(数1)もしくは(数2)による (u, v) を、この場合4画素おきに変化させる必要がある。もしくは、図4(b)に示す仮想的なサンプル位置のRとBの値から、各画素におけるRとBの値を公知の補間方法によって求めた上で、上記の (u, v) を1画素おきに変化させるようにしてもよい。

【0036】

上記の様にして得られた(数1)または(数2)を最小にする (u, v) の近傍での (u, v) の値の分布に対して、1次ないし2次関数を当てはめる(等角フィッティング法やパラボラフィッティング法として知られる公知の技術)ことによって、サブピクセル精度の動き検出を行う。

40

【0037】

<各画素におけるGの画素値の復元>

復元処理部202は、次式を最小化して、各画素におけるGの画素値を計算する。

【数3】

$$\|\mathbf{Hf} - \mathbf{g}\|^M + Q$$

ここで、Hはサンプリング過程、fは復元すべき高空間解像度かつ高時間解像度のG画像、gは撮像部101によって撮像されたGの画像、Mはべき指数、Qは復元すべき画像fが満たすべき条件、すなわち拘束条件である。

【0038】

fおよびgは、動画像の各画素値を要素とする縦ベクトルである。以下では、画像についてのベクトル表記は、画素値をラスタースキャン順に並べた縦ベクトルを意味し、関数表記は、画素値の時空間的分布を意味する。画素値としては、輝度値の場合は、1画素につき1個の値を考えればよい。fの要素数は、例えば、復元すべき動画像を横2000画素、縦1000画素、30フレームとすると、 $2000 \times 1000 \times 30 = 600000$ となる。

10

【0039】

図4、図15に示すようなベイヤー配列の撮像素子で撮像する場合、gの要素数はfの2分の1となり、300000となる。fの縦横の画素数と信号処理に用いるフレーム数は、画像復元部105によって設定される。サンプリング過程Hは、fをサンプリングする。Hは、行数がgの要素数と等しく、列数がfの要素数と等しい行列である。

20

【0040】

現在一般に普及しているコンピュータでは、動画像の画素数（例えば幅2000画素×高さ1000画素）とフレーム数（例えば30フレーム）に関する情報が多すぎるため、（数2）を最小化するfを単一の処理で求めることはできない。この場合、時間的、空間的な部分領域についてfの一部を求める処理を繰り返すことにより、復元すべき動画像fを計算することができる。

【0041】

次に、サンプリング過程Hの定式化を簡単な例を用いて説明する。幅2画素（ $x = 1, 2$ ）、高さ2画素（ $y = 1, 2$ ）、2フレーム（ $t = 1, 2$ ）の画像をベイヤー配列の撮像素子で撮像し、Gを2フレーム分時間加算する場合のGの撮像過程について考える。

30

【数4】

$$\mathbf{f} = (G_{111} \quad G_{211} \quad G_{121} \quad G_{221} \quad G_{112} \quad G_{212} \quad G_{122} \quad G_{222})^T$$

【数5】

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

40

これらによれば、サンプリング過程Hは以下のように定式化される。

【数6】

$$\begin{aligned} \mathbf{g} = \mathbf{Hf} &= \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} (G_{111} \quad G_{211} \quad G_{121} \quad G_{221} \quad G_{112} \quad G_{212} \quad G_{122} \quad G_{222})^T \\ &= (G_{211} + G_{212} \quad G_{121} + G_{122})^T \end{aligned}$$

【0042】

（数4）において、 $G_{111} \sim G_{222}$ は各画素におけるGの値を示し、3個の添字は順にx、y、tの値を示す。gはベイヤー配列の撮像素子により撮像して得た画像なので、その

50

画素数は、全画素読み出した画像の2分の1である。

【0043】

(数3)のべき指数Mの値は、特に限定するものではないが、演算量の観点から、1または2が好ましい。

【0044】

(数6)は、fをペイヤー配列の撮像素子により撮像してgを得る過程を示す。逆に、gからfを復元する問題は、一般に逆問題といわれる。拘束条件Qがない場合、下記(数7)を最小化するfは無数に存在する。

【数7】

$$\|Hf - g\|^M$$

10

【0045】

これは、サンプリングされない画素値に任意の値を入れても(数7)が成り立つことにより、容易に説明できる。そのため、(数7)の最小化によってfを一意に解くことはできない。

【0046】

fについての一意な解を得るために、Qとして、画素値fの分布に関する滑らかさの拘束や、fから得られる画像の動きの分布に関する滑らかさの拘束を与える。

【0047】

画素値fの分布に関する滑らかさの拘束としては、以下の拘束式を用いる。

20

【数8】

$$Q = \left| \frac{\partial f}{\partial x} \right|^m + \left| \frac{\partial f}{\partial y} \right|^m$$

【数9】

$$Q = \left| \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right|^m + \left| \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \right|^m$$

30

ここで、 f / x は復元すべき動画の画素値のx方向の1階の微分値を要素とする縦ベクトル、 f / y は復元すべき動画の画素値のy方向の1階の微分値を要素とする縦ベクトル、 $\partial^2 f / \partial x^2$ は復元すべき動画の画素値のx方向の2階の微分値を要素とする縦ベクトル、 $\partial^2 f / \partial y^2$ は復元すべき動画の画素値のy方向の2階の微分値を要素とする縦ベクトルである。また、 $\| \cdot \|$ はベクトルのノルムを表す。べき指数mの値は、(数2)、(数7)におけるべき指数Mと同様に、1または2が望ましい。

【0048】

なお、上記の偏微分値 f / x 、 f / y 、 $\partial^2 f / \partial x^2$ 、 $\partial^2 f / \partial y^2$ は、着目画素近傍の画素値による差分展開により、例えば(数10)により近似計算することができる。

40

【数 1 0】

$$\frac{\partial f(x, y, t)}{\partial x} = \frac{f(x+1, y, t) - f(x-1, y, t)}{2}$$

$$\frac{\partial f(x, y, t)}{\partial y} = \frac{f(x, y+1, t) - f(x, y-1, t)}{2}$$

$$\frac{\partial^2 f(x, y, t)}{\partial x^2} = f(x+1, y, t) - 2f(x, y, t) + f(x-1, y, t)$$

$$\frac{\partial^2 f(x, y, t)}{\partial y^2} = f(x, y+1, t) - 2f(x, y, t) + f(x, y-1, t)$$

10

差分展開は上記（数 1 0）に限らず、例えば（数 1 1）の様に、近傍の他の画素を参照するようにしてもよい。

【数 1 1】

$$\begin{aligned} \frac{\partial f(x, y, t)}{\partial x} = & \frac{1}{6} (f(x+1, y-1, t) - f(x-1, y-1, t) \\ & + f(x+1, y, t) - f(x-1, y, t) \\ & + f(x+1, y+1, t) - f(x-1, y+1, t)) \end{aligned}$$

20

$$\begin{aligned} \frac{\partial f(x, y, t)}{\partial y} = & \frac{1}{6} (f(x-1, y+1, t) - f(x-1, y-1, t) \\ & + f(x, y+1, t) - f(x, y-1, t) \\ & + f(x+1, y+1, t) - f(x+1, y-1, t)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 f(x, y, t)}{\partial x^2} = & \frac{1}{3} (f(x+1, y-1, t) - 2f(x, y-1, t) + f(x-1, y-1, t) \\ & + f(x+1, y, t) - 2f(x, y, t) + f(x-1, y, t) \\ & + f(x+1, y+1, t) - 2f(x, y+1, t) + f(x-1, y+1, t)) \end{aligned}$$

30

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 f(x, y, t)}{\partial y^2} = & \frac{1}{3} (f(x-1, y+1, t) - 2f(x-1, y, t) + f(x-1, y-1, t) \\ & + f(x, y+1, t) - 2f(x, y, t) + f(x, y-1, t) \\ & + f(x+1, y+1, t) - 2f(x+1, y, t) + f(x+1, y-1, t)) \end{aligned}$$

【0049】

（数 1 1）は（数 1 0）による計算値に対して、近傍で平均化することになる。これにより、空間解像度は低下するが、ノイズの影響を受けにくくできる。さらに、両者の中間的なものとして、0 から 1 の範囲の α で重み付けをして、以下の式を採用してもよい。

40

【数 1 2】

$$\frac{\partial f(x, y, t)}{\partial x} = \frac{1-\alpha}{2} \frac{f(x+1, y-1, t) - f(x-1, y-1, t)}{2} + \alpha \frac{f(x+1, y, t) - f(x-1, y, t)}{2} + \frac{1-\alpha}{2} \frac{f(x+1, y+1, t) - f(x-1, y+1, t)}{2}$$

$$\frac{\partial f(x, y, t)}{\partial y} = \frac{1-\alpha}{2} \frac{f(x-1, y+1, t) - f(x-1, y-1, t)}{2} + \alpha \frac{f(x, y+1, t) - f(x, y-1, t)}{2} + \frac{1-\alpha}{2} \frac{f(x+1, y+1, t) - f(x+1, y-1, t)}{2}$$

10

$$\frac{\partial^2 f(x, y, t)}{\partial x^2} = \frac{1-\alpha}{2} (f(x+1, y-1, t) - 2f(x, y-1, t) + f(x-1, y-1, t)) + \alpha (f(x+1, y, t) - 2f(x, y, t) + f(x-1, y, t)) + \frac{1-\alpha}{2} (f(x+1, y+1, t) - 2f(x, y+1, t) + f(x-1, y+1, t))$$

20

$$\frac{\partial^2 f(x, y, t)}{\partial y^2} = \frac{1-\alpha}{2} (f(x-1, y+1, t) - 2f(x-1, y, t) + f(x-1, y-1, t)) + \alpha (f(x, y+1, t) - 2f(x, y, t) + f(x, y-1, t)) + \frac{1-\alpha}{2} (f(x+1, y+1, t) - 2f(x+1, y, t) + f(x+1, y-1, t))$$

【0050】

差分展開をどのように計算するかに関して、処理結果の画質がより改善されるようにノイズレベルに応じて を予め決めてもよいし、もしくは、回路規模や演算量を少しでも小さくするために、(数10)を用いるようにしてもよい。

30

【0051】

なお、画像 f の画素値の分布に関する滑らかさの拘束としては、(数8)、(数9)に限らず、例えば、(数13)に示す2階の方向微分の絶対値の m 乗を用いても良い。

【数 1 3】

$$Q = \left| \frac{\partial}{\partial \mathbf{n}_{\min}} \left(\frac{\partial f}{\partial \mathbf{n}_{\min}} \right) \right|^m = \left| \frac{\partial}{\partial \mathbf{n}_{\min}} \left(-\sin \theta \frac{\partial f}{\partial x} + \cos \theta \frac{\partial f}{\partial y} \right) \right|^m$$

$$= \left| -\sin \theta \frac{\partial}{\partial x} \left(-\sin \theta \frac{\partial f}{\partial x} + \cos \theta \frac{\partial f}{\partial y} \right) + \cos \theta \frac{\partial}{\partial y} \left(-\sin \theta \frac{\partial f}{\partial x} + \cos \theta \frac{\partial f}{\partial y} \right) \right|^m$$

$$= \left| \sin^2 \theta \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} - \sin \theta \cos \theta \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} - \sin \theta \cos \theta \frac{\partial^2 f}{\partial y \partial x} + \cos^2 \theta \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \right|^m$$

40

ここで、ベクトル \mathbf{n}_{\min} および角度 θ は1階の方向微分の2乗が最小になる方向であり、下記(数14)によって与えられる。

【数 1 4】

$$\mathbf{n}_{\min} = \left(\frac{-\frac{\partial f}{\partial y}}{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}} \quad \frac{\frac{\partial f}{\partial x}}{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}} \right)^T = (-\sin\theta \quad \cos\theta)^T$$

【0052】

さらに、画像 f の画素値の分布に関する滑らかさの拘束としては、下記（数 1 5）から（数 1 7）のいずれかの Q を用いて、 f の画素値のこう配に応じて拘束条件を適応的に変化させてもよい。

10

【数 1 5】

$$Q = w(x, y) \left| \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 \right|$$

【数 1 6】

$$Q = w(x, y) \left| \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \right)^2 \right|$$

20

【数 1 7】

$$Q = w(x, y) \left| \frac{\partial}{\partial \mathbf{n}_{\min}} \left(\frac{\partial f}{\partial \mathbf{n}_{\min}} \right) \right|^m$$

30

【0053】

（数 1 5）から（数 1 7）において、 $w(x, y)$ は画素値のこう配の関数であり、拘束条件に対する重み関数である。例えば、下記（数 1 8）に示す画素値のこう配成分のべき乗和が、大きい場合には $w(x, y)$ の値が小さく、逆の場合には $w(x, y)$ の値が大きくなるようにすると、 f のこう配に応じて拘束条件を適応的に変化させることができる。

【数 1 8】

$$\left| \frac{\partial f}{\partial x} \right|^m + \left| \frac{\partial f}{\partial y} \right|^m$$

40

【0054】

このような重み関数を導入することにより、復元される画像 f が必要以上に平滑化されることを防ぐことができる。

【0055】

また、（数 1 8）に示す輝度こう配の成分の 2 乗和の代わりに、（数 1 9）に示す方向微分のべき乗の大小によって、重み関数 $w(x, y)$ を定義してもよい。

【数 1 9】

$$\left| \frac{\partial f}{\partial \mathbf{n}_{\max}} \right|^m = \left| \cos \theta \frac{\partial f}{\partial x} + \sin \theta \frac{\partial f}{\partial y} \right|^m$$

ここで、ベクトル \mathbf{n}_{\max} および角度 θ は方向微分が最大になる方向であり、下記 (数 2 0) によって与えられる。

【数 2 0】

$$\mathbf{n}_{\max} = \left(\frac{\frac{\partial f}{\partial x}}{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}} \quad \frac{\frac{\partial f}{\partial y}}{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}} \right)^T = (\cos \theta \quad \sin \theta)^T$$

10

【0 0 5 6】

(数 8)、(数 9)、(数 1 3) ~ (数 1 7) に示したような、動画像 f の画素値の分布に関する滑らかさの拘束を導入して (数 2) を解く問題は、公知の解法 (有限要素法等の変分問題の解法) によって計算することができる。

20

【0 0 5 7】

f に含まれる画像の動きの分布に関する滑らかさの拘束としては、下記 (数 2 1) または (数 2 2) を用いる。

【数 2 1】

$$Q = \left| \frac{\partial u}{\partial x} \right|^m + \left| \frac{\partial u}{\partial y} \right|^m + \left| \frac{\partial v}{\partial x} \right|^m + \left| \frac{\partial v}{\partial y} \right|^m$$

【数 2 2】

$$Q = \left| \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right|^m + \left| \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right|^m + \left| \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \right|^m + \left| \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right|^m$$

30

ここで、 u は動画像 f から得られる各画素についての動きベクトルの x 方向の成分を要素とする縦ベクトル、 v は動画像 f から得られる各画素についての動きベクトルの y 方向の成分を要素とする縦ベクトルである。

【0 0 5 8】

f から得られる画像の動きの分布に関する滑らかさの拘束としては、(数 1 7)、(数 1 8) に限らず、例えば (数 2 3)、(数 2 4) に示す 1 階または 2 階の方向微分としてもよい。

40

【数 2 3】

$$Q = \left| \frac{\partial u}{\partial \mathbf{n}_{\min}} \right|^m + \left| \frac{\partial v}{\partial \mathbf{n}_{\min}} \right|^m$$

【数 2 4】

$$Q = \left| \frac{\partial}{\partial \mathbf{n}_{\min}} \left(\frac{\partial u}{\partial \mathbf{n}_{\min}} \right) \right|^m + \left| \frac{\partial}{\partial \mathbf{n}_{\min}} \left(\frac{\partial v}{\partial \mathbf{n}_{\min}} \right) \right|^m$$

【0059】

さらに、(数 2 5) ~ (数 2 8) に示すように、(数 1 7) ~ (数 2 0) の拘束条件を、 f の画素値のこう配に応じて適応的に変化させてもよい。

【数 2 5】

10

$$Q = w(x, y) \left(\left| \frac{\partial u}{\partial x} \right|^m + \left| \frac{\partial u}{\partial y} \right|^m + \left| \frac{\partial v}{\partial x} \right|^m + \left| \frac{\partial v}{\partial y} \right|^m \right)$$

【数 2 6】

$$Q = w(x, y) \left(\left| \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right|^m + \left| \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right|^m + \left| \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \right|^m + \left| \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right|^m \right)$$

20

【数 2 7】

$$Q = w(x, y) \left(\left| \frac{\partial u}{\partial \mathbf{n}_{\min}} \right|^m + \left| \frac{\partial v}{\partial \mathbf{n}_{\min}} \right|^m \right)$$

【数 2 8】

$$Q = w(x, y) \left(\left| \frac{\partial}{\partial \mathbf{n}_{\min}} \left(\frac{\partial u}{\partial \mathbf{n}_{\min}} \right) \right|^m + \left| \frac{\partial}{\partial \mathbf{n}_{\min}} \left(\frac{\partial v}{\partial \mathbf{n}_{\min}} \right) \right|^m \right)$$

30

ここで、 $w(x, y)$ は、 f の画素値のこう配に関する重み関数と同一のものであり、(数 1 8) に示す画素値のこう配の成分のべき乗和、または、(数 1 9) に示す方向微分のべき乗によって定義されるものである。

【0060】

このような重み関数を導入することにより、 f の動き情報が必要以上に平滑化されることを防ぐことができ、その結果、復元される画像 f が必要以上に平滑化されることを防ぐことができる。

40

【0061】

(数 2 1) ~ (数 2 8) に示したような、画像 f から得られる動きの分布に関する滑らかさの拘束を導入して(数 2)を解く問題は、復元すべき画像 f と動き情報 (u, v) が相互に依存するため、 f についての滑らかさの拘束を用いる場合と比較して複雑な計算が必要となる。

【0062】

これに対しては、公知の解法 (EM アルゴリズム等を用いた変分問題の解法) によって計算することができる。その際、繰り返し計算に、復元すべき画像 f と動き情報 (u, v) の初期値が必要になる。 f の初期値としては、入力画像の補間拡大画像を用いればよい。

50

【 0 0 6 3 】

一方、動き情報としては、動き検出部 2 0 1 において (数 1) ないし (数 2) を計算して求めた動き情報を用いる。その結果、復元処理部 2 0 2 において、上述のごとく、(数 2 1) ~ (数 2 8) に示したような、画像 f から得られる動きの分布に関する滑らかさの拘束を導入して (数 2) を解くことにより、超解像処理結果の画質を向上させることができる。

【 0 0 6 4 】

復元処理部 2 0 2 における処理は、(数 8)、(数 9)、(数 1 3) ~ (数 1 7) に示した画素値の分布に関する滑らかさの拘束のいずれかと、(数 2 1) ~ (数 2 8) に示した動きの分布に関する滑らかさの拘束のいずれかの両方を組み合わせて、(数 2 9) のように同時に用いてもよい。

【 数 2 9 】

$$Q = \lambda_1 Q_f + \lambda_2 Q_{uv}$$

ここで、 Q_f は f の画素値のこう配に関する滑らかさの拘束、 Q_{uv} は f から得られる画像の動きの分布に関する滑らかさの拘束、 λ_1 、 λ_2 は Q_f と Q_{uv} の拘束に関する重みである。

【 0 0 6 5 】

画素値の分布に関する滑らかさの拘束と、画像の動きの分布に関する滑らかさの拘束の両方を導入して (数 3) を解く問題も、公知の解法 (E M アルゴリズム等を用いた変分問題の解法) によって計算することができる。

【 0 0 6 6 】

また、動きに関する拘束は、(数 2 1) ~ (数 2 8) に示した動きベクトルの分布の滑らかさに関するものに限らず、対応点間の残差 (動きベクトルの始点と終点間における画素値の差) を評価値として、これを小さくするようにしてもよい。対応点間の残差は、 f を関数 $f(x, y, t)$ として表すと、

【 数 3 0 】

$$f(x+u, y+v, t+\Delta t) - f(x, y, t)$$

と表せる。

【 0 0 6 7 】

f をベクトルとして、画像全体について考えると、各画素における残差は下記 (数 3 1) に示すようにベクトル表現できる。

【 数 3 1 】

$$\mathbf{H}_m \mathbf{f}$$

残差の平方和は下記 (数 3 2) に示すように表すことができる。

【 数 3 2 】

$$(\mathbf{H}_m \mathbf{f})^2 = \mathbf{f}^T \mathbf{H}_m^T \mathbf{H}_m \mathbf{f}$$

【 0 0 6 8 】

(数 3 1)、(数 3 2) において、 \mathbf{H}_m はベクトル f の要素数 (時空間の総画素数) \times f の要素数の行列である。 \mathbf{H}_m は、各行において、動きベクトルの視点と終点に相当する要素だけが 0 でない値を持ち、それ以外の要素は 0 の値を持つ。動きベクトルが整数精度の場合、視点と終点に相当する要素が、それぞれ、- 1 と 1 の値を持ち、他の要素は 0 である。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 9 】

動きベクトルがサブピクセル精度の場合には、動きベクトルのサブピクセル成分の値に応じて、終点近傍の複数の画素に相当する複数の要素が値を持つことになる。

【 0 0 7 0 】

(数 3 2) を Q_m とおき、拘束条件を (数 3 3) のようにしてもよい。

【 数 3 3 】

$$Q = \lambda_1 Q_f + \lambda_2 Q_{uv} + \lambda_3 Q_m$$

ここで、 λ_3 は拘束条件 Q_m に関する重みである。

10

【 0 0 7 1 】

以上述べた方法によって R と B の低解像度動画像から抽出した動き情報を用いることにより、ベイヤー配列の撮像素子によって撮像された G の動画像 (複数フレームにわたって露光された画像) を高時空間解像度化することができる。

【 0 0 7 2 】

< 各画素における R, B の画素値の復元 >

R と B については、図 5 に示すように、補間拡大した R 画像、B 画像に、前記高時空間解像度化した G の高周波成分を重畳することにより、簡易な処理によってより高解像度化した結果をカラー画像として出力できる。その際、高周波数域以外 (中低周波数域の) の R、G、B 間の局所的な相関関係に応じて、上記重畳する高域成分の振幅を制御することにより、偽色の発生を抑え、見た目に自然な高解像度化処理を行うことができる。

20

【 0 0 7 3 】

また、R、B についても、G の高域を重畳して高解像度化するので、より安定した高解像度化が可能となる。

【 0 0 7 4 】

図 5 は、上述の動作を行う復元処理部 202 の構成の一例である。復元処理部 202 は、G 復元部 501 と、サブサンプリング部 502 と、G 補間部 503 と、R 補間部 504 と、R 用ゲイン制御部 505 と、B 補間部 506 と、B 用ゲイン制御部 507 とを備えている。

【 0 0 7 5 】

G 復元部 501 は、上述した G の復元を行う。

30

【 0 0 7 6 】

サブサンプリング部 502 は、高解像度化した G を R、B と同じ画素数に間引く。

【 0 0 7 7 】

G 補間部 503 は、サブサンプリングによって画素値が失われた画素における画素値を補間によって計算する。

【 0 0 7 8 】

R 補間部 504 は、R を補間する。

【 0 0 7 9 】

R 用ゲイン制御部 505 は、R に重畳する G の高域成分に対するゲイン係数を計算する

40

【 0 0 8 0 】

B 補間部 506 は、B を補間する。

【 0 0 8 1 】

B 用ゲイン制御部 507 は、B に重畳する G の高域成分に対するゲイン係数を計算する

【 0 0 8 2 】

以下、上述の復元処理部 202 の動作を説明する。

【 0 0 8 3 】

G 復元部 501 は、G を高解像度高フレームレート画像として復元する。G 復元部 50

50

1 は、復元結果を出力画像の G 成分として出力する。当該 G 成分はサブサンプリング部 502 に入力される。サブサンプリング部 502 は、入力された G 成分を間引く（サブサンプリングする）。

【0084】

G 補間部 503 は、サブサンプリング部 502 で間引かれた G 画像を補間する。これにより、サブサンプリングによって画素値が失われた画素における画素値が、周囲の画素値からの補間によって計算される。このようにして補間計算された G 画像を、G 復元部 501 の出力から差し引くことによって、G の高空間周波数成分が抽出される。

【0085】

一方、R 補間部 504 は、空間加算された R 画像を G と同じ画素数になるよう補間拡大する。R 用ゲイン制御部 505 は、G 補間部 503 の出力（すなわち、G の低空間周波成分）と R 補間部 504 の出力との間での、局所的な相関係数を計算する。局所的な相関係数として、例えば（数 34）により、着目画素（ x, y ）の近傍 3×3 画素における相関係数が計算される。

【数 34】

$$\rho = \frac{\sum_{i=-1,0,1}^3 \sum_{j=-1,0,1}^3 (R(x+i, y+j) - \bar{R})(G(x+i, y+j) - \bar{G})}{\sqrt{\sum_{i=-1,0,1}^3 \sum_{j=-1,0,1}^3 (R(x+i, y+j) - \bar{R})^2} \sqrt{\sum_{i=-1,0,1}^3 \sum_{j=-1,0,1}^3 (G(x+i, y+j) - \bar{G})^2}} \quad 20$$

ここで、

$$\bar{R} = \frac{1}{9} \sum_{i=-1,0,1}^3 \sum_{j=-1,0,1}^3 R(x+i, y+j)$$

$$\bar{G} = \frac{1}{9} \sum_{i=-1,0,1}^3 \sum_{j=-1,0,1}^3 G(x+i, y+j)$$

【0086】

このようにして計算された R と G の低空間周波数成分における相関係数を、G の高空間周波数成分に乗じた後、R 補間部 504 の出力に加算することにより、R 成分の高解像度化が行なわれる。

【0087】

B 成分についても R 成分と同様に処理する。すなわち、B 補間部 506 は、空間加算された B 画像を、G と同じ画素数になるよう補間拡大する。B 用ゲイン制御部 507 は、G 補間部 503 の出力（すなわち、G の低空間周波成分）と B 補間部 506 の出力との間での、局所的な相関係数を計算する。局所的な相関係数として、例えば（数 35）により、着目画素（ x, y ）の近傍 3×3 画素における相関係数が計算される。

【数 35】

$$\rho = \frac{\sum_{i=-1,0,1}^3 \sum_{j=-1,0,1}^3 (B(x+i, y+j) - \bar{B})(G(x+i, y+j) - \bar{G})}{\sqrt{\sum_{i=-1,0,1}^3 \sum_{j=-1,0,1}^3 (B(x+i, y+j) - \bar{B})^2} \sqrt{\sum_{i=-1,0,1}^3 \sum_{j=-1,0,1}^3 (G(x+i, y+j) - \bar{G})^2}} \quad 40$$

ここで、

$$\bar{B} = \frac{1}{9} \sum_{i=-1,0,1}^3 \sum_{j=-1,0,1}^3 B(x+i, y+j)$$

$$\bar{G} = \frac{1}{9} \sum_{i=-1,0,1}^3 \sum_{j=-1,0,1}^3 G(x+i, y+j)$$

10

20

30

40

50

【 0 0 8 8 】

このようにして計算された B と G の低空間周波数成分における相関係数を、G の高空間周波数成分に乗じた後、B 補間部 5 0 6 の出力に加算することにより、B 成分の高解像度化が行なわれる。

【 0 0 8 9 】

なお、上述した復元部 2 0 2 における G および R, B の画素値の計算方法は一例であり、他の計算方法を採用してもよい。例えば復元部 2 0 2 において R, G, B の画素値を同時に計算してもよい。

【 0 0 9 0 】

すなわち復元部 2 0 2 において、目的とするカラー画像 g における各色の画像の空間的変化パターンが近い程度を表す評価関数 J を設定し、評価関数 J を最小化する目的画像 g を求める。空間的変化パターンが近いことは、青画像、赤画像、および緑画像の空間的変化が相互に相似していることを意味する。評価関数 J の一例を (数 3 6) に示す。

【 数 3 6 】

$$J(\mathbf{g}) = \|\mathbf{H}_R \mathbf{R}_H - \mathbf{R}_L\|^2 + \|\mathbf{H}_G \mathbf{G}_H - \mathbf{G}_L\|^2 + \|\mathbf{H}_B \mathbf{B}_H - \mathbf{B}_L\|^2 \\ + \lambda_\theta \|\mathbf{Q}_S \mathbf{C}_\theta \mathbf{g}\|^p + \lambda_\phi \|\mathbf{Q}_S \mathbf{C}_\phi \mathbf{g}\|^p + \lambda_\gamma \|\mathbf{Q}_S \mathbf{C}_\gamma \mathbf{g}\|^p$$

【 0 0 9 1 】

評価関数 J は、生成したい高解像度カラー画像 (目的画像) g を構成する赤、緑、および青の各色の画像 (画像ベクトルとして R_H 、 G_H 、 B_H と表記) の関数として定義される。(数 3 6) における H_R 、 H_G 、 H_B は、それぞれ、目的画像 g の各色画像 R_H 、 G_H 、 B_H から、各色の入力画像 R_L 、 G_L 、 B_L (ベクトル表記) への低解像度化変換を表す。 H_R および H_G 、 H_B は、それぞれ、例えば (数 3 7) (数 3 8) (数 3 9) に示されるような低解像度化の変換である。

【 数 3 7 】

$$R_L(x_{RL}, y_{RL}) = \sum_{(x', y') \in C} w_R(x', y') \cdot R_H(x(x_{RL}) + x', y(y_{RL}) + y')$$

【 数 3 8 】

$$G_L(x_{GL}, y_{GL}) = \sum_{(x', y') \in C} w_G(x', y') \cdot G_H(x(x_{GL}) + x', y(y_{GL}) + y')$$

【 数 3 9 】

$$B_L(x_{BL}, y_{BL}) = \sum_{(x', y') \in C} w_B(x', y') \cdot B_H(x(x_{BL}) + x', y(y_{BL}) + y')$$

【 0 0 9 2 】

入力画像の画素値は、目的画像の対応する位置を中心とした、局所領域の画素値の重み付け和となっている。

【 0 0 9 3 】

(数 3 7)、(数 3 8)、(数 3 9) において、 $R_H(x, y)$ $G_H(x, y)$ $B_H(x, y)$ は、それぞれ、目的画像 g の画素位置 (x, y) における赤 (R) の画素値、緑 (G) の画素値、青 (B) の画素値を示す。また、 $R_L(x_{RL}, y_{RL})$ 、 $G_L(x_{GL}, y_{GL})$ 、 $B_L(x_{BL}, y_{BL})$ は、それぞれ、赤入力画像の画素位置 (x_{RL} , y_{RL}) の画素値、緑入力画像の画素位置 (x_{GL} , y_{GL}) の画素値、青入力画像の画素位置 (x_{BL} , y_{BL}) の画

10

20

30

40

50

素値を示している。x (x_{RL})、y (y_{RL})、x (x_{GL})、y (y_{GL})、x (x_{BL})、y (y_{BL}) は、それぞれ、入力画像の赤画像の画素位置 (x_{RL} , y_{RL}) に対応する目的画像の画素位置の x、y 座標と、入力画像の緑画像の画素位置 (x_{GL} , y_{GL}) に対応する目的画像の画素位置の x、y 座標と、入力画像の青画像の画素位置 (x_{BL} , y_{BL}) に対応する目的画像の画素位置の x、y 座標とを表している。また、w_R と w_G と w_B は、赤画像と緑画像と青画像の入力画像の画素値に対する目的画像の画素値の重み関数をそれぞれ示している。なお、(x' , y') C は、w_R と w_G と w_B とが定義される局所領域の範囲を示している。

【 0 0 9 4 】

低解像度化画像および入力画像の対応画素位置における画素値の差の2乗和を、評価関数の評価条件として設定する ((数 3 0) の第 1 項、第 2 項、および第 3 項)。つまり、これらの評価条件は、低解像度化画像に含まれる各画素値を要素とするベクトルと、入力画像に含まれる各画素値を要素とするベクトルとの差分ベクトルの大きさを表す値により設定される。

10

【 0 0 9 5 】

(数 3 6) の第 4 項の Q_s は、画素値の空間的な滑らかさを評価する評価条件である。

【 0 0 9 6 】

Q_s の例である Q_{s1} および Q_{s2} を (数 4 0) および (数 4 1) に示す。

【 数 4 0 】

$$Q_{s1} = \sum_x \sum_y [\lambda_\theta(x,y) \cdot \{4 \cdot \theta_H(x,y) - \theta_H(x,y-1) - \theta_H(x,y+1) - \theta_H(x-1,y) - \theta_H(x+1,y)\}^2 + \lambda_\phi(x,y) \cdot \{4 \cdot \phi_H(x,y) - \phi_H(x,y-1) - \phi_H(x,y+1) - \phi_H(x-1,y) - \phi_H(x+1,y)\}^2 + \lambda_r(x,y) \cdot \{4 \cdot r_H(x,y) - r_H(x,y-1) - r_H(x,y+1) - r_H(x-1,y) - r_H(x+1,y)\}^2]$$

20

(数 4 0) において、θ_H(x , y)、φ_H(x , y)、r_H(x , y) は、目的画像の画素位置 (x , y) における赤、緑、青のそれぞれの画素値で表される 3 次元直交色空間 (いわゆる R G B 色空間) 内の位置を、R G B 色空間に対応する球面座標系 (θ、φ、r) で表現した場合の座標値である。ここで、θ_H(x , y) と φ_H(x , y) は 2 種類の偏角を表し、r_H(x , y) は動径を表す。

30

【 0 0 9 7 】

図 6 は、R G B 色空間と球面座標系 (θ、φ、r) との対応例を示す。

【 0 0 9 8 】

図 6 では、一例として、θ = 0 ° かつ φ = 0 ° の方向を R G B 色空間の R 軸の正方向とし、θ = 9 0 ° かつ φ = 0 ° の方向を R G B 色空間の G 軸の正方向としている。ここで、偏角の基準方向は、図 6 に示す方向に限定されることなく、他の方向であってもよい。このような対応に従って、画素ごとに、R G B 色空間の座標値である赤、緑、青のそれぞれの画素値を、球面座標系 (θ、φ、r) の座標値に変換する。

【 0 0 9 9 】

目的画像の各画素の画素値を R G B 色空間内の 3 次元ベクトルとして考えた場合に、3 次元ベクトルを R G B 色空間に対応付けられる球面座標系 (θ、φ、r) で表現することにより、画素の明るさ (信号強度、輝度も同義である) は、ベクトルの大きさを表す r 軸の座標値に相当する。また、画素の色彩 (色相、色差、彩度などを含む色情報) を表すベクトルの向きは、θ 軸および φ 軸の座標値によって規定される。このため、球面座標系 (θ、φ、r) を用いることにより、画素の明るさおよび色彩を規定する r、θ、φ の 3 つのパラメータを個別に取り扱うことができる。

40

【 0 1 0 0 】

(数 4 0) は、目的画像の球面座標系で表現された画素値の、x y 空間方向の 2 階差分値の 2 乗和を定義している。(数 4 0) は、目的画像内で空間的に隣り合う画素における

50

球面座標系で表現された画素値の変化が一様であるほど、値が小さくなる条件 Q_{s1} を定義している。画素値の変化が一様であることは、画素の色が連続していることに対応する。条件 Q_{s1} の値が小さくあるべきということは、目的画像内の空間的に隣り合う画素の色が連続すべきということを表している。

【 0 1 0 1 】

画像中において画素の明るさの変化および画素の色彩の変化は、物理的に異なる事象から生じ得る。このため、(数 4 0) に示すように、画素の明るさの連続性 (r 軸の座標値の変化の一様性) に関する条件 ((数 4 0) の大括弧内の第 3 項) と、画素の色彩の連続性 (軸および 軸の座標値の変化の一様性) に関する条件 ((数 4 0) の大括弧内の第 1 項および第 2 項) とを個別に設定することにより、望ましい画質が得やすくなる。

10

【 0 1 0 2 】

(x , y)、 (x , y)、および $r(x, y)$ は、それぞれ、 軸、 軸、および r 軸の座標値を用いて設定される条件に対して、目的画像の画素位置 (x , y) において適用される重みである。これらの値は、予め定めておく。簡単には、 (x , y) = (x , y) = 1 . 0、 $r(x, y) = 0 . 0 1$ のように、画素位置やフレームに依らずに設定してもよい。また、好ましくは、画像中の画素値の不連続性などが予測できる位置において、この重みを小さく設定してもよい。画素値が不連続であることは、入力画像のフレーム画像内の隣り合う画素における画素値の差分値や 2 階差分値の絶対値が一定値以上であることにより判断してもよい。

【 0 1 0 3 】

20

画素の色彩の連続性に関する条件に適用する重みを、画素の明るさの連続性に関する条件に適用する重みよりも大きくしておくことが望ましい。これは、被写体表面の凹凸や動きによる被写体表面の向き (法線の向き) の変化によって、画像中の画素の明るさが色彩に比べて変化しやすい (変化の一様性に乏しい) ことによる。

【 0 1 0 4 】

なお、(数 4 0) では、目的画像の球面座標系で表現された画素値の、 x y 空間方向の 2 階差分値の 2 乗和を条件 Q_{s1} として設定したが、2 階差分値の絶対値和、または 1 階差分値の 2 乗和もしくは絶対値和を条件として設定してもよい。

【 0 1 0 5 】

上記説明では R G B 色空間に対応付けられる球面座標系 (、 、 r) を用いて色空間条件を設定したが、用いる座標系は球面座標系に限るものではなく、画素の明るさと色彩とを分離しやすい座標軸を有する新たな直交座標系において条件を設定することで、前述と同様の効果が得られる。

30

【 0 1 0 6 】

新たな直交座標系の座標軸は、例えば、入力動画像または基準となる他の動画像に含まれる画素値の R G B 色空間内での頻度分布を主成分分析することで固有ベクトルの方向を求め、求めた固有ベクトルの方向に設ける (固有ベクトル軸とする) ことができる。

【 0 1 0 7 】

【数 4 1】

$$Q_{s2} = \sum_x \sum_y [\lambda_{c1}(x, y) \cdot \{4 \cdot C_1(x, y) - C_1(x, y-1) - C_1(x, y+1) - C_1(x-1, y) - C_1(x+1, y)\}^2 + \lambda_{c2}(x, y) \cdot \{4 \cdot C_2(x, y) - C_2(x, y-1) - C_2(x, y+1) - C_2(x-1, y) - C_2(x+1, y)\}^2 + \lambda_{c3}(x, y) \cdot \{4 \cdot C_3(x, y) - C_3(x, y-1) - C_3(x, y+1) - C_3(x-1, y) - C_3(x+1, y)\}^2]$$

40

(数 4 1) において、 $C_1(x, y)$ 、 $C_2(x, y)$ 、 $C_3(x, y)$ は、目的画像の画素位置 (x , y) における赤、緑、青のそれぞれの画素値である R G B 色空間の座標値を、新たな直交座標系の座標軸 C_1 、 C_2 、 C_3 の座標値に変換する回転変換である。

【 0 1 0 8 】

50

(数41)は、目的画像の新たな直交座標系で表現された画素値の、 x y 空間方向の2階差分値の2乗和を定義している。(数41)は、目的画像の各フレーム画像内で空間的に隣り合う画素における新たな直交座標系で表現された画素値の変化が一様である(つまり画素値が連続している)ほど、値が小さくなる条件 Q_{s2} を定義している。

【0109】

条件 Q_{s2} の値が小さくあるべきことは、目的画像内の空間的に隣り合う画素の色が連続すべきことを表している。

【0110】

$c_1(x, y)$ 、 $c_2(x, y)$ 、 $c_3(x, y)$ はそれぞれ、 C_1 軸、 C_2 軸、 C_3 軸の座標値を用いて設定される条件に対して、目的画像の画素位置 (x, y) において適用される重みであり、予め定めておく。

10

【0111】

C_1 軸、 C_2 軸、 C_3 軸が固有ベクトル軸である場合、各固有ベクトル軸に沿って $c_1(x, y)$ 、 $c_2(x, y)$ 、 $c_3(x, y)$ の値を個別に設定することで、固有ベクトル軸によって異なる分散の値に応じて好適な c_i の値を設定できるという利点がある。すなわち、非主成分の方向には分散が小さく、2階差分の2乗和が小さくなることが期待できるため、 c_i の値を大きくする。逆に、主成分の方向には c_i の値を相対的に小さくする。

【0112】

以上、2種類の条件 Q_{s1} 、 Q_{s2} の例を説明した。条件 Q_s としては、 Q_{s1} 、 Q_{s2} いずれを用いることもできる。

20

【0113】

例えば、(数40)に示される条件 Q_{s1} を用いた場合、球面座標系 (θ, ϕ, r) を導入することにより、色情報を表す θ 軸および ϕ 軸の座標値、ならびに信号強度を表す r 軸の座標値のそれぞれの座標値を個別に用いて条件を設定し、かつ条件の設定に際して色情報と信号強度とにそれぞれ好適な重みパラメータを付与できるので、高画質の画像の生成が容易になるという利点がある。

【0114】

(数41)に示される条件 Q_{s2} を用いた場合、RGB色空間の座標値から線型(回転)変換によって得られる新たな直交座標系の座標値で条件を設定するため、演算が簡素化できる利点がある。

30

【0115】

また、固有ベクトル軸を新たな直交座標系の座標軸 C_1 、 C_2 、 C_3 とすることにより、より多くの画素が影響を受ける色の変化を反映した固有ベクトル軸の座標値を用いて条件を設定できる。このため、単純に赤、緑、青の各色コンポーネントの画素値を用いて条件を設定する場合と比べて、得られる目的画像の画質の向上が期待できる。

【0116】

なお、評価関数 J は、上記に限定するものではなく、(数36)の項を類似式からなる項と置換し、また異なる条件を表す新たな項を追加してもよい。

【0117】

次に、(数36)の評価関数 J の値をできるだけ小さく(望ましくは最小に)する目的画像の各画素値を求めることによって、目的画像の各色画像 R_H 、 G_H 、 B_H を生成する。評価関数 J を最小にする目的画像 g は、例えば、 J を目的画像の各色画像 R_H 、 G_H 、 B_H の各画素値成分で微分した式を全て0とおいた(数42)の方程式を解いて求めてもよく、また最急勾配法などの反復演算型の最適化手法を用いて求めてもよい。

40

【数42】

$$\frac{\partial J}{\partial R_H(x, y)} = \frac{\partial J}{\partial G_H(x, y)} = \frac{\partial J}{\partial B_H(x, y)} = 0$$

【0118】

50

なお、本実施形態では、出力するカラー画像を R、G、B として説明したが、例えば Y、Pb、Pr 等の RGB 以外のカラー画像を出力することももちろんできる。すなわち、上記(数42)と、下記(数43)とから、(数44)に示す変数変換を行うことができる。

【数43】

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -0.00015 & 1.574765 \\ 1 & -0.18728 & -0.46812 \\ 1 & 1.85561 & 0.000106 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y \\ Pb \\ Pr \end{pmatrix}$$

10

【数44】

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial J}{\partial Y_H(x,y)} \\ \frac{\partial J}{\partial Pb_H(x,y)} \\ \frac{\partial J}{\partial Pr_H(x,y)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial J}{\partial R_H(x,y)} \frac{\partial R_H(x,y)}{\partial Y_H(x,y)} + \frac{\partial J}{\partial G_H(x,y)} \frac{\partial G_H(x,y)}{\partial Y_H(x,y)} + \frac{\partial J}{\partial B_H(x,y)} \frac{\partial B_H(x,y)}{\partial Y_H(x,y)} \\ \frac{\partial J}{\partial R_H(x,y)} \frac{\partial R_H(x,y)}{\partial Pb_H(x,y)} + \frac{\partial J}{\partial G_H(x,y)} \frac{\partial G_H(x,y)}{\partial Pb_H(x,y)} + \frac{\partial J}{\partial B_H(x,y)} \frac{\partial B_H(x,y)}{\partial Pb_H(x,y)} \\ \frac{\partial J}{\partial R_H(x,y)} \frac{\partial R_H(x,y)}{\partial Pr_H(x,y)} + \frac{\partial J}{\partial G_H(x,y)} \frac{\partial G_H(x,y)}{\partial Pr_H(x,y)} + \frac{\partial J}{\partial B_H(x,y)} \frac{\partial B_H(x,y)}{\partial Pr_H(x,y)} \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -0.00015 & -0.18728 & 1.85561 \\ 1.574765 & -0.46812 & 0.000106 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\partial J}{\partial R_H(x,y)} \\ \frac{\partial J}{\partial G_H(x,y)} \\ \frac{\partial J}{\partial B_H(x,y)} \end{pmatrix} = 0$$

20

【0119】

さらに、Pb、Pr は Y と比べて水平画素数が半分であることを考慮して、下記(数45)の関係を利用することにより、 Y_H 、 Pb_L 、 Pr_L についての連立方程式を立てることができる。

30

【数45】

$$Pb_L(x+0.5) = 0.5(Pb_H(x) + Pb_H(x+1))$$

$$Pr_L(x+0.5) = 0.5(Pr_H(x) + Pr_H(x+1))$$

この場合、連立方程式で解くべき変数の総数を RGB の場合と比べて3分の2に低減させることができ、演算量を低減できる。

40

【0120】

以上述べたように、本実施形態によれば、単板撮像素子に時間加算と空間加算の機能を付加し、画素毎に時間加算もしくは空間加算された入力画像に対して復元処理を施すことによって、撮像時に光量を確保しつつ高解像度かつ高フレームレートの画像(空間加算と時間加算を行わずに全画素を読み出した画像)を推定し復元することができる。

【0121】

(実施形態2)

実施形態1では、R、B についての空間的な加算の画素数と、G についての時間的な加算の画素数があらかじめ決まっている場合について説明した。本実施形態では、光量に応じて上記加算画素数をコントロールする場合について説明する。

50

【 0 1 2 2 】

図7は、本実施形態による撮像処理装置300の構成を示す構成図である。図7において、図1と同じ動作をする構成要素には、図1と同一の符号を付し、説明を省略する。以下、制御部107の動作を説明する。

【 0 1 2 3 】

制御部7は、光量に応じて時間加算部103、空間加算部104による加算画素数を変更する。光量の検出は、撮像素子からの読み出し信号の全平均、色毎の平均を見てもよいし、時間加算後や空間加算後の信号を見てもよいし、画像復元105によって復元された画像の輝度レベルを見てもよいし、別途センサを設けるようにしてもよい。そして、光量が十分な場合（飽和レベルの半分以上の場合）には、加算読み出しを行わずに、1フレーム 10
に対して全画素を読み出す。光量が不足し、飽和レベルの1/2、1/3、1/4、1/6、1/9と低下するにつれ、制御部は時間加算部103、空間加算部104における時間加算のフレーム数と空間加算の画素数を、それぞれ、2、3、4、6、9と切り替えて制御する。

【 0 1 2 4 】

これにより、カメラへの入射光量に応じて加算処理を切り替えることが可能となり、低光量時から高光量時まで、シームレスに光量に応じた処理を行うことができ、ダイナミックレンジを拡大して、飽和を抑えて撮像することが可能となる。

【 0 1 2 5 】

なお、上記加算画素数の制御は画像全体に対して制御するものに限らず、場所毎、領域 20
毎に適応的に切り替えるようにしてもよいことは言うまでもない。

【 0 1 2 6 】

なお、上述の説明から明らかなように、光量に代えて、画素値を利用して加算処理を切り替えるよう、制御部7を動作させてもよい。または、ユーザからの指定によって動作モードを変更することにより、加算処理を切り替えてもよい。

【 0 1 2 7 】

（実施形態3）

実施形態1および2では、ベイヤー配列のカラーフィルターアレイを用いて撮像する場合を主に説明した。本実施形態においては、異なる種類のカラーフィルターアレイを用いた撮像素子の例を説明する。 30

【 0 1 2 8 】

図8は、配置と露光時間が、R、G、Bについては長時間露光されるように設定され、白については短時間露光されるように設定されている撮像素子の構成例を示す。なお、説明の便宜上、図8には、2×2画素の最小単位のみが示されている。

【 0 1 2 9 】

ここで、カラーフィルターの「白」とは色フィルターがない状態、もしくは、赤外光や紫外光を遮断し可視光を透過する透明フィルターを示す。

【 0 1 3 0 】

図9は、本実施形態における撮像処理装置400の構成を示すブロック図である。撮像処理装置400は、撮像素子601と、時間加算部602と、動き検出部603と、復元処理部604とを備えている。 40

【 0 1 3 1 】

撮像素子601は、図8に示す様にR、G、B、白のカラーフィルターアレイを装着して、通常の1フレーム分の蓄積時間で撮影を行う。

【 0 1 3 2 】

時間加算部602は、R、G、Bの画素値を時間方向に、例えば3フレーム分加算する。なお、撮像素子601において、画素単位で露光時間を変更できるのであれば、3フレーム分の加算蓄積を画素部で行い、時間加算部602をなくした構成にしてもよい。

【 0 1 3 3 】

動き検出部603は、短時間露光で撮影した白の情報から、動き情報を検出する。動き 50

検出の具体的な方法は、実施形態 1 における R、B に対する動き検出と同様である。

【0134】

復元処理部 604 は、動き検出部 603 が検出した動き情報と、時間加算部 602 によって時間加算された R、G、B 画像と撮像素子 601 で撮像された白画像を入力し、各画素の各フレームにおける R、G、B の画素値を復元し出力する。

【0135】

以上述べたように、本実施形態によれば、単板撮像素子に時間加算の機能を付加し、画素毎に時間加算もしくは空間加算された入力画像に対して復元処理を施すことによって、撮像時に光量を確保しつつ高解像度かつ高フレームレートの画像（空間加算と時間加算を行わずに全画素を読み出した画像）を推定し復元することができる。

10

【0136】

なお、本実施形態では、白画素についての空間加算を行わない場合について説明したが、白画素について空間加算を行うようにしてもよい。

【0137】

なお、長時間露光する RGB の露光開始と終了のタイミングは、図 10 に示すように揃っていてもよいが、必ずしもこれに限るものではない。例えば、図 11 に示すように開始および終了のタイミングがずれていてもよい。その場合、R、G、B のサンプリング時間がずれていることが、時間解像度の向上に繋がる。

【0138】

なお、カラーフィルターアレイと露光時間の組み合わせは、本実施形態における図 8 に示すものに限らず、例えば、図 12 に示すものにし、R、G、B の画素について空間加算を行うようにしても、同様の効果を得ることができ、本発明に含まれる。

20

【0139】

なお、実施形態 1 から 3 では、撮像時のカラーフィルターアレイとして原色系の RGB フィルターを用いる場合について説明したが、カラーフィルターアレイとしてはこれに限る必要はない。補色系の CMY（シアン、マゼンタ、イエロー）フィルターを用いてもよい。CMY フィルターを用いると、色再現性の面で RGB フィルターに及ばないが、光量の面では概ね 2 倍有利になる。

【0140】

なお、上述の各実施形態において、異なる色フィルターと時間加算、空間加算によって撮像される画素値（時間加算後、空間加算後の画素値、すなわち、光量に相当）の範囲は、広い色範囲を扱えることが当然望ましい。例えば、実施形態 1、2 の場合、空間加算を 2 画素とすると時間加算が 2 フレームを用いて時間加算を行い、空間加算を 4 画素とすると 4 フレームを用いて時間加算を行った。このように、例えば、時間加算を行うフレーム数などを事前に揃えておくことが望ましい。また、実施形態 3 の場合、R、G、B の時間加算を 3 フレームとすることで、白画素との光量を概略揃えることができる。

30

【0141】

一方、特殊な例として、被写体の色が特定の色に偏っているときには、例えば原色系のフィルターを用いる場合、R、G、B で時間加算、空間加算の画素数を適応的に変えることで、ダイナミックレンジを各色毎に有効に使うことができる。

40

【0142】

<フィルターの分光特性の説明>

なお、本発明の各実施形態においては単板式の撮像素子を用いたものについて説明したが、3 板式の撮像素子用に用いられる薄膜光学フィルターと、単板用に用いられる染料フィルターとでは、図 13 に示す様に、分光特性が異なる。薄膜光学フィルターは分光特性の透過率の立ち上がりが、染料フィルターのそれと比べて急峻であり、RGB 間で透過率の相互の重なりが少ない。これに対して、染料フィルターは透過率の立ち上がりが、薄膜光学フィルターのそれと比べて急峻でなく、RGB 間で透過率の相互の重なりが多い。

【0143】

本発明の各実施形態においては、R、B の画像から検出した動き情報を用いて G の時間

50

加算画像を時間的、空間的に分解するため、染料フィルターの様にGの情報がR, Bに含まれている方が、Gの処理にとって好ましい。

【0144】

<フォーカルプレーン現象の補正>

なお、上述したいずれの実施形態においても、1フレームの画像内の色毎の各画素について、露光の開始と終了時間が同一（すなわち、いわゆるグローバルシャッターを用いた撮影）であるとして説明した。たとえば図14(a)は、グローバルシャッターを用いた露光タイミングを示している。

【0145】

しかしながら、本発明の適用可能な範囲はこれに限るものではない。たとえば図14(b)に示す様な、CMOS撮像素子での撮影時にしばしば問題となるフォーカルプレーン現象についても、各素子の露光タイミングが異なっていることを定式化することにより、グローバルシャッターを用いて撮影した画像を復元することができる。

10

【0146】

上述の実施形態では、撮像処理装置は、図に示す種々の構成を有するとして説明した。たとえば、画像復元部105（図1、図2）などは、機能的に見たブロックとして記載されていた。これらの機能ブロックは、ハードウェア的には、デジタル信号プロセッサ（DSP）のような1つの半導体チップまたはICによって実現することも可能であるし、たとえばコンピュータとソフトウェア（コンピュータプログラム）とを用いて実現することもできる。コンピュータ（プロセッサ）は、たとえば撮像処理装置に実装されていてもよく、コンピュータプログラムを実行することにより、たとえば時間加算部103、空間加算部104および画像復元部105の処理の少なくとも1つを実現することが可能である。

20

【産業上の利用可能性】

【0147】

本発明の撮像処理装置は、低光量時の高解像度撮影や小型画素による撮像に有用である。また、処理部は装置としての実施に限らず、プログラムとしても適用が可能である。

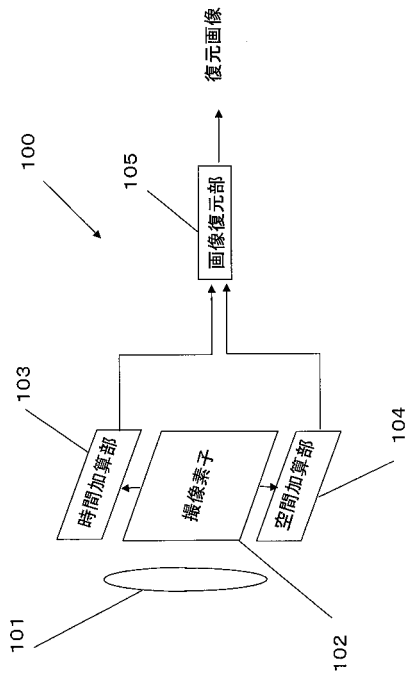
【符号の説明】

【0148】

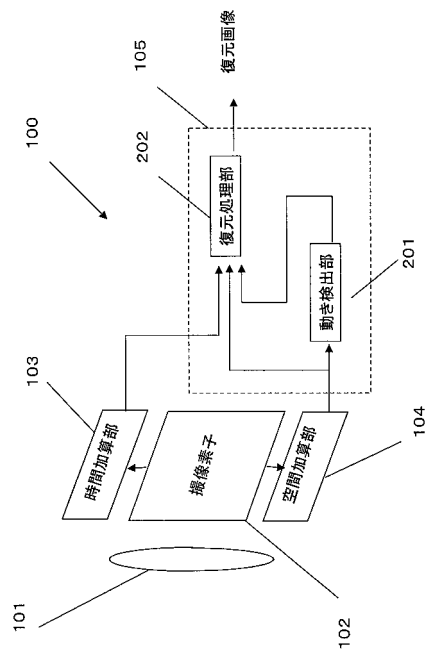
- 100 撮像処理装置
- 101 光学系
- 102 単板カラー撮像素子
- 103、602 時間加算部（第1の加算部）
- 104 空間加算部（第2の加算部）
- 105 画像復元部

30

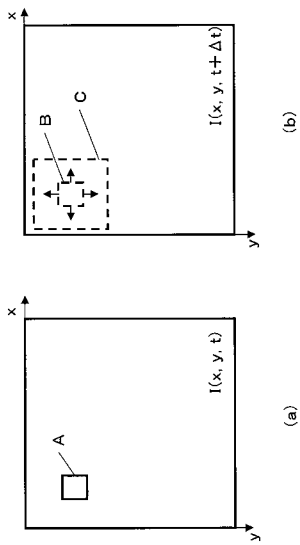
【 図 1 】



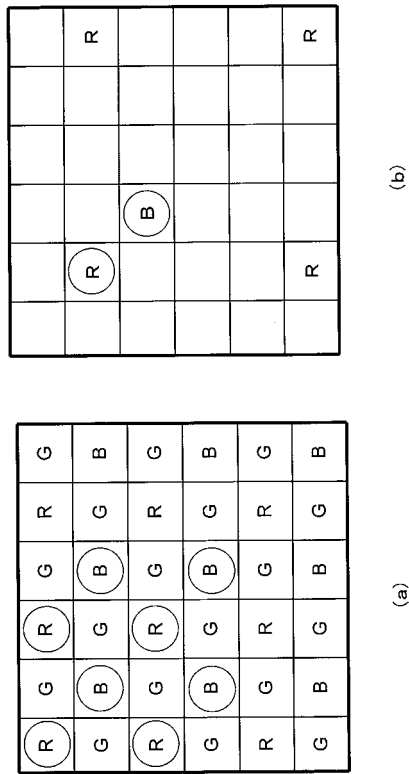
【 図 2 】



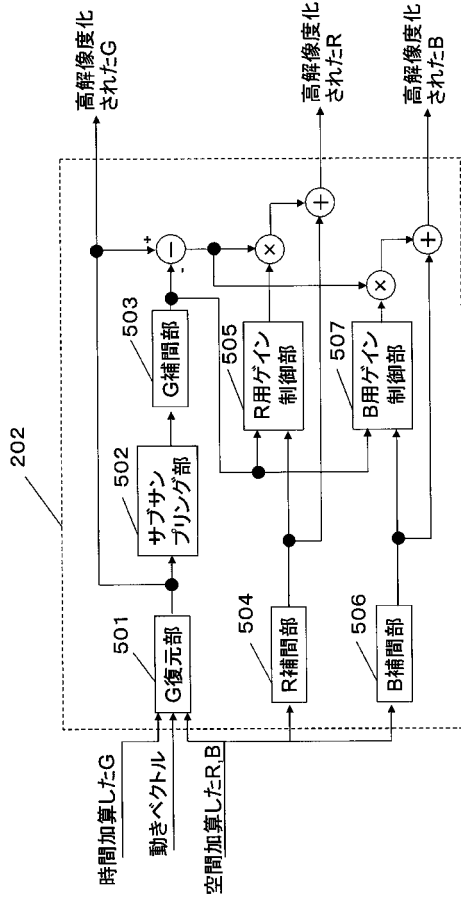
【 図 3 】



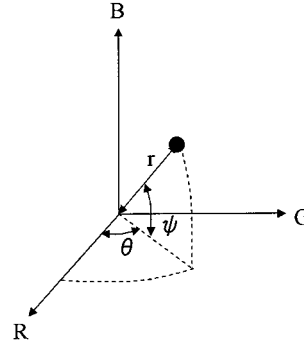
【 図 4 】



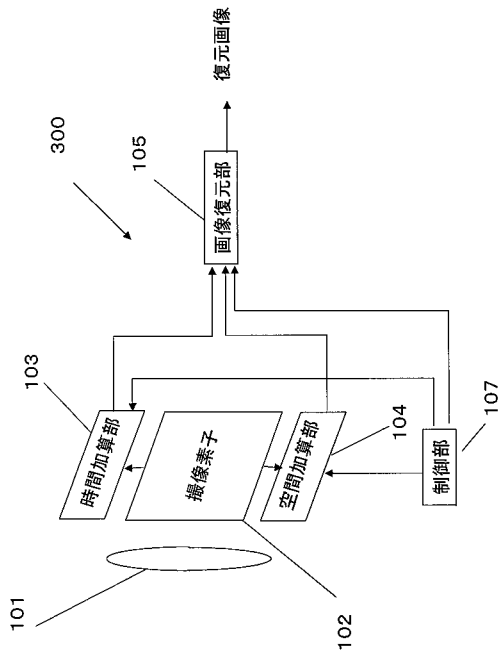
【図5】



【図6】



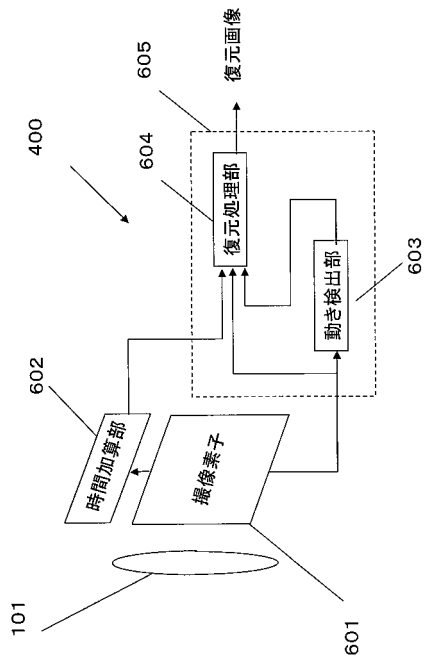
【図7】



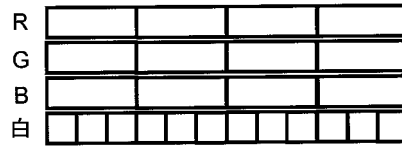
【図8】

R長	G長
B長	白短

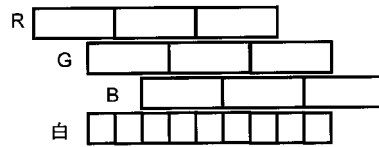
【図9】



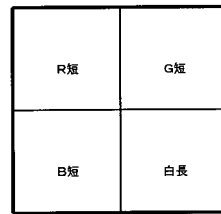
【図10】



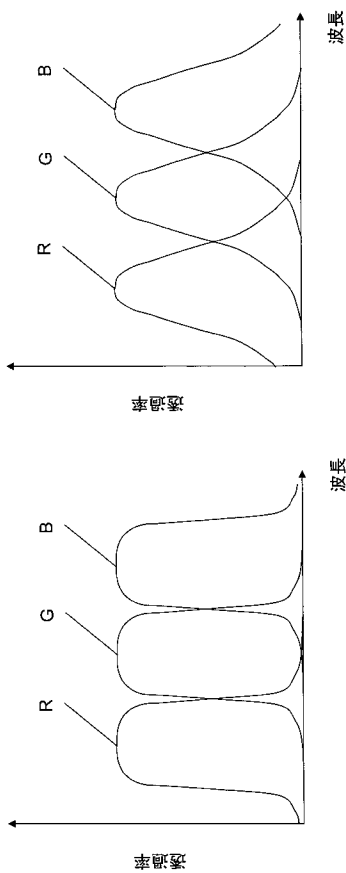
【図11】



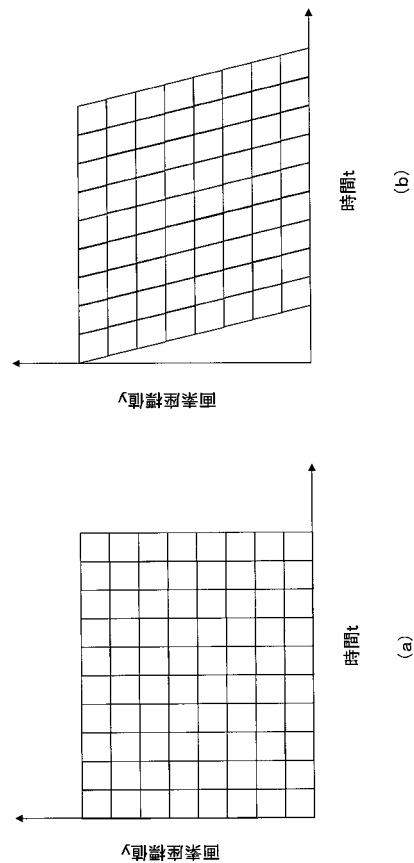
【図12】



【図13】



【図14】



【 15】

R	G	R	G	R	G
G	B	G	B	G	B
R	G	R	G	R	G
G	B	G	B	G	B
R	G	R	G	R	G
G	B	G	B	G	B

フロントページの続き

審査官 内田 勝久

- (56)参考文献 特開平07-240931(JP,A)
特開平06-315154(JP,A)
特開2009-010823(JP,A)
特開2009-044593(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H04N 9/04 ~ 9/11