

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7632913号
(P7632913)

(45)発行日 令和7年2月19日(2025.2.19)

(24)登録日 令和7年2月10日(2025.2.10)

(51)国際特許分類

F I

H 0 4 N 23/60 (2023.01)

H 0 4 N 23/60 5 0 0

H 0 4 N 17/04 (2006.01)

H 0 4 N 17/04 A

請求項の数 19 (全26頁)

(21)出願番号	特願2023-503158(P2023-503158)	(73)特許権者	523016858
(86)(22)出願日	令和3年4月8日(2021.4.8)		テクノティーム ホールディング ゲーエ
(65)公表番号	特表2023-535370(P2023-535370		ムベーパー
	A)		ドイツ連邦共和国、9 8 6 9 3 イルメ
(43)公表日	令和5年8月17日(2023.8.17)		ナウ、ヴェルナー - フォン - ジーメンス
(86)国際出願番号	PCT/EP2021/059168		- シュトラーセ 5
(87)国際公開番号	WO2022/012789	(74)代理人	110000475
(87)国際公開日	令和4年1月20日(2022.1.20)		弁理士法人みのり特許事務所
審査請求日	令和5年5月15日(2023.5.15)	(72)発明者	ロツ chorl, インゴ
(31)優先権主張番号	102020208974.4		ドイツ連邦共和国、6 4 2 8 9 ダルム
(32)優先日	令和2年7月17日(2020.7.17)		シュタット、グーテンベルクシュトラー
(33)優先権主張国・地域又は機関	ドイツ(DE)		セ 2 6
		(72)発明者	クリューガー, ウド
			ドイツ連邦共和国、9 9 8 3 7 ヴェラ
			- ズール - タール オーター ヴュンシェ
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 画素型表示装置からの画像のエイリアシング誤差を抑制するため及びこのような表示装置の評価のための方法及び装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも1つのカメラ画像から形成されるモアレ補正された結果画像におけるエイリアシング誤差を抑制するための方法であって、
前記少なくとも1つのカメラ画像は、結像光学系(1.1)とセンサ画素(1.3)を有するセンサ面(1.2)とを備えたカメラ(1)によって、マトリクス状に表示画素ピッチ(DA)で間隔を空けて配置された表示画素(2.1)を有する表示装置(2)の表示画像の画像として前記センサ面(1.2)に記録される画像であり、この少なくとも1つのカメラ画像の記録中に、前記カメラ(1)及び/又は前記センサ面(1.2)が、各カメラ画像に割り当てられた開始位置(S)から始まる少なくとも1つのオフセット経路(VP)に沿って前記表示装置(2)に対して相対的に移動し、第1カメラ画像、第2カメラ画像及び少なくとも第3カメラ画像又は更なるカメラ画像が記録されるのであって、
・前記第1カメラ画像及び前記第2カメラ画像は、同一の前記表示装置(2)によって表示される互いに構造的に同一の表示画像の各画像として記録され、
・前記第1カメラ画像及び少なくとも1つの前記第3カメラ画像又は更なるカメラ画像の前記記録中に、前記カメラ(1)は、前記表示装置(2)に対して相対的に移動されないか又は僅かに移動されるのみであり、
・前記第2カメラ画像の前記記録中に、前記カメラ(1)は、少なくとも1つのオフセット経路(VP)に沿って前記表示装置(2)に対して相対的に移動され、
・前記第1カメラ画像及び前記第2カメラ画像に対して、各フーリエ変換の第1及び第2

マグニチュード応答 ($|X_{T1}(f_x; f_y)|$, $|X_{T2}(f_x; f_y)|$) が決定され、

・前記第 1 及び第 2 マグニチュード応答からオフセットフィルタの振幅応答 $|G_{T2}(f_x; f_y)|$ が決定され、

・少なくとも 1 つの前記第 3 カメラ画像又は更なるカメラ画像に対して、前記フーリエ変換は、各場合に決定され、また、各場合に前記オフセットフィルタの前記振幅応答 $|G_{T2}(f_x; f_y)|$ と乗算され、かつ、これにより、

・モアレ補正された結果画像が逆フーリエ変換で決定されることを特徴とする方法。

【請求項 2】

前記カメラ (1) は、少なくとも 1 つのカメラ画像の前記記録中に各カメラ画像に割り当てられた開始位置 (S) から始まる少なくとも 1 つのオフセット経路 (VP) に沿って、前記表示装置 (2) に対して移動されることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 3】

前記第 1 カメラ画像及び前記第 2 カメラ画像は、第 1 表示装置 (2) から記録され、各更なるカメラ画像は、各場合において前記第 1 表示装置 (2) と同一の構造であり、前記カメラ (1) に対して前記第 1 表示装置 (2) と同じ位置に配置される更なる表示装置 (2) から記録される

ことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記振幅応答 $|G_{T2}(f_x; f_y)|$ から、二値化によって二値振幅応答 $|\tilde{G}_{T2}(f_{x'}, f_{y'})|$

20

が算出され、

この場合において、前記振幅応答 $|G_{T2}(f_x; f_y)|$ は、前記第 1 マグニチュード応答 $|X_{T1}(f_x; f_y)|$ に対する前記第 2 マグニチュード応答 $|X_{T2}(f_x; f_y)|$ の商 $|G_{T2}(f_x; f_y)|$ として決定され、

前記二値化において、前記商 $|G_{T2}(f_x; f_y)|$ が所定の閾値より低いとき、値 0 が前記二値振幅応答

$$|\tilde{G}_{T2}(f_{x'}, f_{y'})|$$

30

に割り当てられ、

前記商 $|G_{T2}(f_x; f_y)|$ が所定の閾値より高いとき又は同一であるとき、値 1 が前記二値振幅応答

$$|\tilde{G}_{T2}(f_{x'}, f_{y'})|$$

に割り当てられる

ことを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の方法。

40

【請求項 5】

前記センサ面 (1, 2) に平行なオフセット経路 (VP) に沿うオフセット (V) が最大で表示画素ピッチ (D_A) の 5 倍である

ことを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の方法。

【請求項 6】

ティーチイン・ステップにおいて、前記表示装置 (2) と前記カメラ (1) とを一致させるオフセット振幅は、前記少なくとも 1 つのカメラ画像の前記記録中に、前記カメラ (1) が前記オフセット振幅以下のオフセット (V) を有するオフセット経路 (VP) を移動するときに、モアレ干渉測定値が所定のモアレ閾値以下及び / 又は最小となるように決

50

定される

ことを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれかに記載の方法。

【請求項 7】

ティーチイン・ステップにおいて、前記表示装置 (2) と前記カメラ (1) とを一致させる少なくとも 1 つのオフセット経路 (V P) は、前記少なくとも 1 つのカメラ画像の前記記録中に、前記カメラ (1) が開始位置 (S) に対してこのオフセット経路 (V P) に沿って移動するときに、モアレ干渉測定値が所定のモアレ閾値以下及び / 又は最小となるように決定される

ことを特徴とする請求項 1 ～ 6 のいずれかに記載の方法。

【請求項 8】

少なくとも 1 つのカメラ画像について、前記カメラ (1) は、前記表示装置 (2) に対して垂直に変位する

ことを特徴とする請求項 1 ～ 7 のいずれかに記載の方法。

【請求項 9】

少なくとも 1 つのカメラ画像は、第 1 オフセット経路 (V P) 、及び第 1 オフセット経路 (V P) に対称に配置された第 2 オフセット経路 (V P) に沿って、表示画像に対して相対的に移動される

ことを特徴とする請求項 1 ～ 8 のいずれかに記載の方法。

【請求項 10】

前記表示装置 (2) と前記カメラ (1) の前記センサ面 (1 . 2) との間にカラーフィルタを配置することによって各場合における複数のカラーチャンネルに対するカラーチャンネル関連結果画像が決定され、カラーチャンネル関連オフセット間隔が各カラーチャンネルに対して決定され、複数のカラーチャンネル関連結果画像が互いに重ね合わされる

ことを特徴とする請求項 1 ～ 9 のいずれかに記載の方法。

【請求項 11】

画素ベース表示装置 (2) の表示品質を評価する方法であって、請求項 1 ～ 10 のいずれかに記載の方法に従って、前記カメラ (1) で記録された少なくとも 1 つのカメラ画像からモアレ補正された結果画像が形成され、前記モアレ補正された結果画像に基づいて、表示品質が評価される

ことを特徴とする方法。

【請求項 12】

前記表示装置 (2) の欠陥のある表示画素 (2 . 1) が検出及び / 又は位置特定されることを特徴とする請求項 11 に記載の方法。

【請求項 13】

前記表示装置 (2) 全体にわたる測光パラメータの局所的な分布が決定されることを特徴とする請求項 11 又は 12 に記載の方法。

【請求項 14】

前記表示装置 (2) 全体にわたる輝度の局所的な分布が決定される
ことを特徴とする請求項 12 に記載の方法。

【請求項 15】

請求項 1 ～ 14 のいずれかに記載の方法を実施するための装置であって、カメラ (1) 、位置決めユニット (3) 、制御ユニット (4) 及び評価ユニット (5) を備え、前記位置決めユニット (3) は、オフセット間隔内にあるオフセット (V) だけ前記カメラ (1) を移動するように設定され、
前記制御ユニット (4) は、カメラ画像の記録を始動するように設定され、
前記評価ユニット (5) は、請求項 1 ～ 11 のいずれかに記載の方法を用いて少なくとも 1 つのカメラ画像から、モアレ補正された結果画像を形成するように設定される
ことを特徴とする装置。

【請求項 16】

前記制御ユニット (4) は、前記位置決めユニット (3) を制御し、前記位置決めユニ

10

20

30

40

50

ット(3)の移動と協調する方法でカメラ画像の記録を始動するように設定されることを特徴とする請求項15に記載の装置。

【請求項17】

前記制御ユニット(4)及び前記評価ユニット(5)は、制御及び評価ユニットの一部としてそれぞれ設計される

ことを特徴とする請求項15又は16に記載の装置。

【請求項18】

前記位置決めユニット(3)は、振動ユニットとして設計され、前記カメラ(1)のハウジング上に配置される

ことを特徴とする請求項15～17のいずれかに記載の装置。

10

【請求項19】

前記カメラ(1)は、輝度測定カメラとして設計される

ことを特徴とする請求項15～18のいずれかに記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、表示画素がマトリクス状に配置された画素型表示装置によって表示される表示画像からカメラで撮影された少なくとも1つのカメラ画像から形成されるモアレ補正された結果画像におけるエイリアシング誤差を抑制する方法に関するものである。

【0002】

20

更に、本発明は、このようにして形成された少なくとも1つの結果画像に基づいて、画素ベースの表示装置の表示品質を評価する方法に関するものである。

【0003】

更に、本発明は、このような方法を実施するための装置に関するものである。

【背景技術】

【0004】

マトリクス状に配置された表示画素を有する表示装置によって表示される表示画像を、マトリクス状に配置されたセンサ画素を有するセンサを含むカメラによって記録する場合、モアレ干渉、モアレ現象又は略してモアレと呼ばれるエイリアシングによるアーチファクトが発生し得る。このようなエイリアシング誤差は、特に、カメラのセンサ画素の画素ピッチ、すなわち、第1画素の中心から隣接する第2画素の中心までの距離が、表示装置の表示画素の画像スケールに適合した画素ピッチにほぼ等しい場合に発生する。

30

【0005】

画像側画像スケール β' は、表示画像上の被写体の範囲 s と、カメラのセンサ上のその被写体の画像の範囲 s' との比として定義される。

$$\beta' = \frac{s'}{s}$$

【0006】

40

モアレは、特別な測定配置、特に正確に1つの表示画素を正確に1つ(又は固定整数)のセンサ画素にマッピングすれば、回避できることが知られている。しかしながら、カメラレンズによって引き起こされる画像の歪み、及びカメラと表示装置との間の必要な正確な位置合わせのために、これらの測定配置は、實際上、実現が困難である。

【0007】

更に、モアレ干渉は、少なくとも1つの光学素子、例えばカメラのセンサをカメラ内の他の素子に対して動かすことによって低減できることが、文献JP2008-035241A、US7705883B2及びEP2097783A1より知られている。文献US7705883B2は、カメラの手振れ補正ユニットを用いてエイリアシング又はモアレ干渉を抑制するための装置及び方法が記載されている。例示的な実施形態において、この

50

方法は、カメラの動きを感知することと、カメラによって取得された画像を感知することと、画像の露光中にカメラ内の少なくとも1つの光学素子を移動させることとで、画像を安定させ、画像内のエイリアシング又はモアレ干渉を抑制する。

【0008】

このような方法において、カメラ内のセンサに対する光学素子の相対的な移動は、センサの画素ピッチに合わせられ、かつセンサ画素のナイキスト周波数のオーダーで行われる。

【0009】

また、モアレ干渉は、光学的デフォーカス、すなわちカメラレンズによってカメラのセンサ上に表示画像をわずかにピンぼけさせて撮像させることによって緩和又は回避できることが知られている。しかし、この場合、カメラ画像の有効空間解像度が低下する。エイリアシング誤差は、誤発生した非常に低い空間周波数（カメラのセンサが決定するナイキスト空間周波数よりはるかに低い空間周波数）として現れるが、光学デフォーカスによって検出が難しく、しばしば回避できないか又は完全に回避できない。しかし、このようなエイリアシング誤差の発生と位置（すなわち、カメラの周波数空間における割り当てられた空間周波数）は、センサ画素の画素ピッチだけでなく、表示画素の画素ピッチにも依存する。特に、そのようなエイリアシング誤差の発生や位置は、表示装置とカメラの画素ピッチの比率に依存する。

【0010】

一般に、エイリアシング誤差は、カメラのセンサ画素の画素ピッチと表示画素の画素ピッチとの比（カメラの倍率（倍率）で補正したものであって、再現スケール（RPS）と呼ばれる）が1より大きく2より小さい範囲にあるときに特に激しく発生する。しかし、原理的にはRPSが1以下や1以上であっても、例えばRPSが3又は4でも、エイリアシング誤差は起こり得る。

【0011】

カメラのセンサ画素の画素ピッチを D_S 、表示画素の画素ピッチを D_A とすると、RPSは次のように与えられる。

$$RPS = \frac{D_S}{\beta' D_A}$$

【0012】

また、エイリアシング誤差は、表示画素の形状や開口部の影響を受ける。例えば、正方形の表示画素を縦横に等間隔に配置した表示装置は、同じ表示画素ピッチでも長方形の表示画素を持つ表示装置と異なるモアレ干渉が発生する。また、縦方向（列方向）の表示画素ピッチと横方向（行方向）の表示画素ピッチを異なるものにすると、異なるモアレ干渉が発生する可能性がある。そのため、表示装置に特化したモアレ干渉の補正方法が求められている。

【0013】

デフォーカス処理と同様のモアレ干渉の低減は、カメラ画像のフィルタリングを平滑化することによっても実現できる。カメラ画像を位置空間内でフィルタリングするためのローパスフィルタが知られている。しかし、このような平滑化もまた、有効な空間解像度の損失を引き起こし、非常に低いエイリアシング空間周波数を確実に抑制することができない。

【0014】

更に、カメラ画像を、例えば2次元離散フーリエ変換によって周波数空間に変換し、エイリアシングによって周波数空間に発生する誤った周波数成分を除去又は抑制することが可能である。このようにクリーニングされた周波数空間表現から、モアレ干渉が抑制された位置空間に逆変換することで、クリーニングされた画像を生成することが可能である。しかし、この方法では、実際に存在する可能性のある空間周波数と周波数や強度が区別できない誤った周波数成分（エイリアシングによるもの）を除去することはできない。例え

ば、エイリアシングされた非常に低い空間周波数は、(均一に駆動された)ディスプレイの局所的に不均一な輝度によって引き起こされる正しく記録された空間周波数と区別することができないか、不完全にしか区別することができない。

【0015】

J P 3 7 5 5 3 7 5 B 2 から、電子ディスプレイによって撮影されたカメラ画像におけるモアレ干渉を抑制するための方法が知られている。この方法では、複数のカメラ画像がカメラによって記録される。個々のカメラ画像の記録間で、カメラは、最初のカメラ画像が撮影された開始位置を基準として、ディスプレイに対して垂直方向に(つまり、マトリクス状に配置されたディスプレイ画素の列に沿って)及び/又は水平方向に(つまり、マトリクス状に配置されたディスプレイ画素の行に沿って)オフセットされ、各方向のオフ

10

【0016】

このようにして撮影された個々のカメラ画像から平均化によりモアレ補正された結果画像が生成される。

【0017】

文献US 6, 831, 995 B 1 には、更に、複数の n^2 個のカメラ画像が取得され、各カメラ画像は、1つのカメラ画像の取得時間の間、それぞれ固定された取得位置で撮影されることが開示されている。撮影位置は、縦/横の範囲が縦/横の表示画素ピッチに等しい正方形又は長方形に格子状に千鳥状に配置されている。文献US 6, 831, 995 B 1 では、これら複数のカメラ画像から n 回オーバーサンプリングした合成画像を生成し、その中のモアレ干渉をスライド平均化することで低減又は除去することが提案されている。

20

【0018】

文献J P 2 0 1 4 - 1 7 4 8 0 3 A は、2次元フーリエ変換を行い、低い空間周波数に関連する周波数成分を抽出することによって、画像からモアレノイズを除去する方法が記載されている。また、比較的高い空間周波数に関連する他の周波数成分を除去する。このように修正されたフーリエ変換は、空間領域に逆変換される。

【0019】

文献WO 2 0 1 8 / 1 4 6 7 6 5 A 1 には、画像解像度に影響を与えることなくモアレを抑制する方法が記載されている。第1のデフォーカスされた画像から、低い空間周波数に関連する周波数成分がフーリエ領域で抽出される。第2のデフォーカスされていない画像から、高い空間周波数に関連する周波数成分がフーリエ領域で取り出される。第1及び第2の画像から取り出された周波数成分は、合成され、空間領域に逆変換される。

30

【0020】

本発明の目的は、少なくとも1つのカメラ画像から形成されるモアレ補正された結果画像におけるエイリアシング誤差を抑制するための改良された方法を提供することである。

【発明の概要】

【0021】

本発明によれば、この目的は、請求項1に記載の特徴を有する方法によって達成される。

【0022】

更に、本発明の目的は、画素ベースの表示装置の表示品質を評価するための改良された方法を提供することである。

40

【0023】

本発明によれば、この目的は、請求項11の特徴を有する方法によって達成される。

【0024】

更に、本発明の目的は、これらの方法のうちの1つを実施するための装置を提供することである。

【0025】

この目的は、本発明によれば、請求項14の特徴を有する装置によって達成される。

【0026】

50

本発明の有利な実施形態は、従属請求項の主題である。

【0027】

エイリアシング誤差を抑制するための方法において、モアレ補正された結果画像が、少なくとも1つのカメラ画像から形成される。少なくとも1つのカメラ画像は、結像光学系とセンサ画素を有するセンサ面とを備えたカメラによって、表示画像の画像として取り込まれる。この表示画像は、マトリクス状に配置された表示画素を有する表示装置を利用してカメラのセンサ面に結像される。表示画素は、表示画素ピッチずつ離間している。表示画素ピッチは、ある表示画素の中心から、それぞれ最も近い他の表示画素の中心までの距離である。

【0028】

本発明によれば、カメラは、少なくとも1つのカメラ画像を取り込みながら、少なくとも1つのオフセット経路に沿って表示装置に対して移動させられる。

【0029】

カメラ画像取得時間 $0 \leq t \leq T$ の間にカメラが表示装置に対して移動させられると、表示画像の虚点又は実点、例えばほぼ中央にある表示画素の中心の、カメラのセンサ面への投影は一般に変化する。

【0030】

カメラの移動に伴う時間依存の軌跡である

$$x(t) = x_0 + \delta_x(t)$$

$$y(t) = y_0 + \delta_y(t)$$

は、オフセット経路と呼ばれ、 x_0, y_0 はカメラ画像の記録開始時のカメラの x 方向、 y 方向の座標を表し、一方、 $\delta_x(t), \delta_y(t)$ は露光中に生じた x 方向、 y 方向の変位量を表している。

【0031】

座標 x, y は、表示装置に固定的に選択された座標系を基準として指定される。

【0032】

このようなオフセットパスの長さである

$$L = \int_{t=0}^T \sqrt{\dot{x}(t)^2 + \dot{y}(t)^2} dt$$

は、オフセットと呼ばれる。

【0033】

カメラ及び表示装置から独立したワールド座標系に関連して、オフセットは、ワールド座標系に対してカメラを移動させること及び/又は表示装置を移動させることによって達成することができる。つまり、表示装置に関連する x, y の座標系は、ワールド座標系に対して静止していてもよいし、同様に移動可能であってもよい。オフセット経路の説明では、カメラと表示装置との間の相対移動のみが重要である。したがって、以下では、「カメラの移動」は常に表示装置に関する相対的な移動を意味し、「カメラの移動」は、表示装置のワールド座標系に対する移動によって部分的又は完全に達成することもできる。

【0034】

好ましくは、カメラが移動されるとき、表示装置に対するカメラの向きは、ほぼ維持される。しかし、近似値 $\sin(\alpha)$ α が適用される非常に小さなパンニング角 α によってカメラ又は表示装置をパンニングすることは、実質的に並進と同等であることが当業者に知られている。したがって、カメラと表示装置との間の距離が十分に大きければ、カメラ又は表示装置をパンニングすることによってオフセットを生じさせることもできる。

【0035】

表示装置は、センサ面の平面において、表示画素の開口度とカメラの結像光学系とに応

じた 2 次元の輝度分布 $l(x', y')$ を生成する（ここで、 x', y' はセンサ面の平面における互いに直交する 2 つの座標を示す）。この輝度分布は、（センサ面の平面全体にわたる）センサ画素の 2 次元感度分布関数 $s(x', y')$ に従って、センサ画素の開口度に依存して取り込まれる。

【 0 0 3 6 】

センサ領域内の連続した空間座標 x', y' 全体におけるカメラ画像の 2 次元階調値分布関数 $g(x', y')$ はカメラと表示装置とが相対的に固定配置された状態で、輝度分布 $l(x', y')$ を点ごとに感度分布関数 $s(x', y')$ で乗算することによって、特定することができる。

$$g(x', y') = l(x', y') \cdot s(x', y')$$

10

【 0 0 3 7 】

この階調値分布関数をセンサ領域にわたって積分することで、センサ画素の信号値が得られる。

これは、輝度分布と画素感度を畳み込み、次いでセンサ画素の位置でサンプリングしていると表現できる。特に、表示画素のピッチとセンサ画素の画素ピッチとが同一又は類似の大きさの場合、このサンプリングによって、モアレ干渉が発生することが知られている。

【 0 0 3 8 】

時間 $0 \leq t \leq T$ において、1 つのカメラ画像の露光中にカメラを移動させることで、表示画像の 1 つの点がセンサ面の複数の点にマップされる。これらの点の総和は、動きに起因する点広がり関数（PSF） $h(x', y')$ と見なすことができる。

20

【 0 0 3 9 】

例えば、 x' 方向に Δx だけマッピングされた点の一樣な直線運動をもたらすカメラの移動（平行移動又は非常に小さなパンニング角度によるパンニング）に対して、点応答は次のようになる。

$$h(x', y') = \begin{cases} \frac{1}{T} & \text{für } x'_0 \leq x' \leq x'_0 + \Delta x, y' = y'_0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

30

【 0 0 4 0 】

従って、カメラのセンサ領域における補正された階調分布関数 $g'(x', y')$ は、動きに起因する PSF との畳み込みにより、次のように求められる。

$$g'(x', y') = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} g(x' - \xi, y' - \nu) \cdot h(\xi, \nu) d\xi d\nu$$

【 0 0 4 1 】

動きに起因する PSF のフーリエ変換 $H(\omega x', \omega y')$ は一般にローパス特性を示すが、オフセット経路の長さだけでなく、空間コースに依存する。例えば、（水平方向） x 方向にのみオフセットがある場合、高い水平空間周波数のみが減衰するのに対して、高い垂直空間周波数は減衰しない。

40

【 0 0 4 2 】

驚くべきことに、表示装置に対してカメラを相対的に移動させ（オフセット経路）、それによって表示画像に対してカメラ画像を相対的に移動させることによって、先行技術から知られているモアレ補正された結果画像における実効空間分解能が著しく低下するという欠点なしに、モアレ干渉が減少するか又は除去されることさえあることが見出された。

【 0 0 4 3 】

オフセット、すなわち、表示装置に対してカメラが相対的に移動する軌跡の長さが、表示画素ピッチの大きさとほぼ同程度になるように、オフセット経路を選択することが特に

50

有利であることが見出されている。これにより、表示画像を詳細に、特に表示画素に分解して、取得し評価することが可能となる。

【 0 0 4 4 】

更に、本発明の方法によれば、例えば表示装置上の非均一な明るさの分布に起因する、表示画像内の低い空間周波数は保持される。対照的に、エイリアシングによって誤って引き起こされる低い空間周波数は、本方法によって低減又は除去される。

【 0 0 4 5 】

本発明による方法の別の利点は、カメラ内で移動する要素、例えばセンサチップに対して相対的に移動する光学素子なしに実施できることである。このことは、カメラ、特に輝度測定カメラの較正を容易にする。

【 0 0 4 6 】

本発明による方法の更なる利点は、モアレ干渉の抑制に役立つカメラの動きを、画像スケール β' を考慮することなく、また、センサ画素ピッチも考慮することなく、表示画素ピッチに基づいてのみ決定することもできることである。しかしながら、これは、撮像スケール β' 及び γ 又はセンサ画素ピッチが追加的に使用される実施形態、すなわち、モアレ干渉の抑制を更に改善するための実施形態を除外することを意図していない。

【 0 0 4 7 】

本発明による方法では、特に少数の個別に記録されたカメラ画像を用いて、モアレ補正（又はエイリアシング誤差の抑制）をすることができる。好ましくは、モアレ補正は、1つの記録されたカメラ画像を用いて行われる。これは、表示画像の明るさが低いために、カメラ画像の記録のために長い露光時間を設定しなければならない場合には、少数の記録されたカメラ画像を用いて測定時間を著しく短くすることができる点で、特に有利である。

【 0 0 4 8 】

好ましくは、オフセット経路は、オフセットの最大が表示画素ピッチの5倍以下となるように選択される。これを超えるオフセットは、モアレ干渉の補正に寄与しないか、わずかに寄与するだけで、カメラ画像の空間解像度だけでなく、ひいてはそこから形成されるモアレ補正された結果画像の空間解像度も悪くなることが分かっている。

【 0 0 4 9 】

本発明の実施形態では、モアレ補正された結果画像は、複数のカメラ画像から形成される。カメラを移動させることにより、それぞれのカメラ画像に対して、それぞれの開始点から始まるオフセット経路が生成される。第1カメラ画像と少なくとも1つの更なるカメラ画像との間で、カメラが表示装置に対してオフセットされ、その結果、少なくとも1つの更なるカメラ画像に関連する開始点は、第1カメラ画像に関連する開始点と異なる。

【 0 0 5 0 】

個々のカメラ画像は重ね合わされ、すなわち、画素ごとに合計又は平均化される。平均化処理では、異なるカメラ画像に異なる重み付けをすることができ、カメラが表示装置から少なくとも1つのオフセットだけオフセットされている間に、各カメラ画像を取り込むことが可能である。また、それら複数のカメラ画像のうちの少なくとも1つがその取得（露光）中に表示装置に対してカメラを移動させることなく、取得されることもできる。

【 0 0 5 1 】

複数のカメラ画像からモアレ補正された結果画像を形成することによって、それぞれの場合における単一のカメラ画像に関連するオフセット経路がより短い長さ（より小さいオフセット）を有することができるので、モアレ補正された結果画像が特に高い空間解像度を有するという利点が得られる。

【 0 0 5 2 】

また、本実施形態の利点は、表示装置の明るさやカメラの感度に起因して非常に短く選択しなければならない露光時間であっても、多数の異なるオフセット経路にアプローチすることができることである。したがって、モアレ抑制をより良く達成することができる。

【 0 0 5 3 】

本発明の一実施形態では、第1カメラ画像と、第2カメラ画像と、少なくとも第3カメ

10

20

30

40

50

ラ画像又は更なるカメラ画像とが記録される。

【0054】

第1カメラ画像及び第2カメラ画像は、同一の表示装置によって表示された構造的に同一の表示画像として取り込まれる。第3カメラ画像は、第1及び第2カメラ画像とは構造的に同一であるが異なる表示装置から取得されてもよい。

【0055】

構造的に同一の表示画像とは、周波数特性が異ならないか、又は、取るに足らない程度にしか異ならない表示画像である。表示画素の割り当てが同じである表示画像は、構造的に同一である。

【0056】

しかしながら、個々の表示画素におけるグレー値（明るさの値）の小さな変化、例えば全表示画素の最大1%の割合でのグレー値の変化であっても、本実施形態の方法に係る第1カメラ画像と第2カメラ画像の有用性を損なうものではない。そのような変化した表示画像も、構造的に同一であると理解される。

【0057】

同様に、第1カメラ画像の記録と第2カメラ画像の記録との間の、全ての又は非常に多くの表示画素の均一なわずかな変更、例えば、両方の表示画像の平均グレー値と比較して非常に小さな値の加算又は減算及び/又は1に近い係数で全てのグレー値をスケーリングすることは、この方法のこの実施形態に対する第1及び第2カメラ画像の損なわない。このように変更された表示画像もまた、同じ構造を有すると理解される。

【0058】

一般に、2つの表示画像は、関連するカメラ画像の結果として生じる差が、それぞれの場合にカメラ画像に課されるモアレ干渉よりも著しく小さい場合、構造的に同一であるとみなされることになる。（変更された表示画像又は課されたモアレ干渉によって生じた）カメラ画像間の差を決定するために、例えば、画素空間及び空間周波数空間の両方における平均二乗偏差及び/又は最大偏差を使用することができる。特に、5%以下の相対的な差は小さいと理解するものとする。

【0059】

第1カメラ画像の記録中、及び少なくとも1つの第3カメラ画像又は更なるカメラ画像の記録中も、カメラは、表示装置に対して移動されないか、又はわずかに移動されるだけである。「わずかに動かされる」とは、表示画素ピッチよりも著しく小さい、好ましくは表示画素ピッチの3分の1よりも小さい位置の変化をもたらすカメラの移動を意味するように意図されている。特に、「わずかに動かされる」とは、意図的に引き起こされるものではなく、例えば避けられない振動の結果としてカメラと表示装置との間の相対的な移動をもたらすだけの動きとして理解されるべきである。

【0060】

第2カメラ画像の記録中、カメラは、既に説明した実施形態を参照して説明したように、少なくとも1つのオフセット経路に沿って表示装置に対して移動される。

【0061】

第1及び第2カメラ画像について2次元フーリエ変換が決定され、それらのマグニチュードプロファイル（振幅スペクトル）が、それぞれ第1及び第2マグニチュードプロファイルとして決定される。好ましくは、フーリエ変換は、離散的な（垂直及び水平）空間周波数又は波数に対する離散的なフーリエ変換として決定される。

【0062】

オフセットフィルタの振幅応答は、第1及び第2マグニチュード応答から決定される。オフセットフィルタは、架空の線形の時間不変のシステムであって、オフセット付きで記録された第2カメラ画像を出力に与えるか、オフセットなしで記録された第1カメラ画像が入力に与えられたときにそれを近似する。振幅応答は、このようなオフセットフィルタの伝達関数のマグニチュード応答を示す。

【0063】

10

20

30

40

50

フーリエ変換は、少なくとも1つの第3カメラ画像又は更なるカメラ画像について、各場合に決定され、各場合にオフセットフィルタの振幅応答と乗算される。これから、すなわち少なくとも1つの第3カメラ画像又は更なるカメラ画像のフーリエ変換と振幅応答との積から、モアレ補正された結果画像が逆フーリエ変換（フーリエ逆変換）によって各場合に決定される。

【0064】

第1及び第2カメラ画像から決定され、第2のカメラ画像に対するオフセット移動の影響を近似的に（線形かつ時間不変なシステムに制限して）記述する振幅応答を適用することにより、第3カメラ画像又は更なるカメラ画像に対しても、第2カメラ画像に対するものと同様の方法でモアレ干渉を抑制することができる。本実施形態の利点は、3つ目以降のカメラ画像を撮影する際に、（表示装置に対して）カメラを移動させる必要がないことである。

10

【0065】

これにより、（例えば、非常に明るい表示装置を取り込むときに）非常に短い露光時間のカメラ画像であっても、モアレ補正を行うことができる。更に、オフセット経路に沿った移動中にカメラ及び/又は表示装置が受ける可能性のある機械的ストレスを回避することができる。

【0066】

この実施形態の更なる態様では、第1及び第2カメラ画像は、第1表示装置から取り込まれ、第3カメラ画像又は更なるカメラ画像は、第2又は更なる表示装置から取り込まれる。第2又は更なる表示装置は、第1表示装置と同一構造であり、同一又は類似の記録配置でカメラに対して配置されている。

20

【0067】

類似の記録配置とは、そのような表示装置の生産又は品質管理の範囲内における測定対象物及び/又は測定装置の配置のために通常行われるような幾何学的偏差を有する同じ測定設定内の第2又は更なる同一の表示装置の配置を意味する。

【0068】

同一測定セットアップ内の少なくとも1つの更なる構造的に同一の表示装置に対して、第1表示装置に基づいて導出された振幅応答を適用することは、モアレ補正の適用に際し、各場合において、動きがないか又はわずかな動きの1つのカメラ画像のみを撮影すればよいという利点を有し、これにより、機械的負荷及び必要な測定時間の両方を更に減少させる。これにより、特に、測定セットアップを、第1表示装置に基づいて一度構成し、その後、例えば、生産と品質管理の連続プロセスにおいて、様々な表示装置に変更せずに適用することができる。

30

【0069】

一実施形態において、オフセットフィルタの振幅応答は、第1マグニチュード応答（第1カメラ画像のフーリエ変換から決定された）に対する第2マグニチュード応答（第2カメラ画像のフーリエ変換から決定された）の商として決定される。このようにして、オフセットフィルタの振幅応答は、特に簡単な方法で決定され得る。

【0070】

更なる実施形態において、オフセットフィルタは、第1マグニチュード応答に対する第2マグニチュード応答の商を非線形変換、例えば二値化にかけることによって形成することができる。

40

【0071】

そのような実施形態では、オフセットフィルタの振幅応答は、第1マグニチュード応答（第1カメラ画像のフーリエ変換から決定された）に対する第2マグニチュード応答の商に基づく局所分割アルゴリズムによって、マグニチュード曲線の商が所定の閾値未満にある場合、垂直及び水平空間周波数の各ペアに値0を割り当てることによって二値化される。また、マグニチュード曲線の商がこの所定の閾値以上である場合には、値1が割り当てられる。

50

【 0 0 7 2 】

このようにして、特に安定したオフセットフィルタを決定することができる。更に、二値フィルタとして表現されるこのような振幅応答の安定性は、モルフォロジー演算子などの更なる画像演算を適用することによって、更に向上させることができる。

【 0 0 7 3 】

このようなオフセットフィルタは、既に説明した他のプロセスステップを維持しながら、第2カメラ画像（第1表示装置から記録される）の記録中にカメラを移動させる代わりに、マトリクス状に配置されたセンサ画素を有するセンサのみを表示装置に対して移動させ、カメラは記録された表示装置に対して静止状態にあるという事実によっても決定することができる。つまり、カメラ内では、例えばピエゾアクチュエータによって、第2カメラ画像の記録中にセンサがカメラ筐体に対して移動される。これにより、カメラにかかる機械的ストレスを低減することができる。センサを移動させるための適切なアクチュエータ技術が既に組み込まれているカメラが利用可能であるので、これはまた、オフセットフィルタを決定するための装置関連の労力を低減させることができる。

10

【 0 0 7 4 】

本方法の一実施形態では、モアレ補正された結果画像を得るための少なくとも1つのカメラ画像の記録の前のティーチン・ステップ（t e a c h - i n ステップ）において、モアレ干渉測定値が所定のモアレ閾値以下である及び／又は最小化されるように、表示装置とカメラとを一致させる少なくとも1つの好ましいオフセット経路が決定される。

【 0 0 7 5 】

少なくとも1つの好ましいオフセット経路の決定は、そのパラメータを離散最適化問題のパラメータとして選択することによって行うことができ、モアレ干渉測定値は、最小化すべき最適化基準として選択され、それに対して統計的推定値が、モアレ補正された結果画像のサンプルに基づいて決定される。

20

【 0 0 7 6 】

それぞれの場合において、この推定値の基となるモアレ補正された結果画像は、本発明による方法を用いてカメラ画像から形成される。すなわち、モアレ干渉測定値は、検査された各オフセット経路の品質基準としてティーチン・ステップ（t e a c h - i n ステップ）において決定される。

【 0 0 7 7 】

品質基準（割り当てられたモアレ干渉測定値）が所定のモアレ閾値を下回るような少なくとも1つの好ましいオフセット経路が見つかった場合、この手順を中止することができる。あるいは、所定の数の最適化ステップにおいて、品質基準の改善が達成されなかったか、又は十分でなかった場合、この方法は終了する。このような離散最適化問題を解くための方法は、先行技術から知られている。

30

【 0 0 7 8 】

例えば、好ましいオフセット経路は、表示装置に対するカメラの複数の直線（ストレート）移動を方向と長さ（オフセット）で変化させることによって決定されてもよい。

【 0 0 7 9 】

同様に、好ましいオフセット経路は、方向及び長さ（オフセット）によって変化させた複数の直線（ストレート）移動から多角形の経路として決定されてもよい。

40

【 0 0 8 0 】

また、ティーチン・ステップにおいてランダムに選択されたオフセット経路を実行し、モアレ干渉測定値への影響を調べることにより、複数の好ましいオフセット経路を決定することも可能であり、その場合、その長さ（オフセット）はランダムに変化するがオフセット振幅より小さくなるように選択される。このようにして、オフセット振幅、すなわち、オフセット経路の最大長が決定され、モアレ干渉測定値を特に良好に低減することができる。

【 0 0 8 1 】

当業者に知られている離散最適化方法を使用して、モアレ干渉測定値を十分に良好に又

50

は最適に減少させるパラメータを決定することができる。これらのパラメータは、単一の好ましいオフセット経路を示すことができる。また、また、これらのパラメータは、複数の好ましいオフセット経路が示された長さ（オフセット）、長さ範囲（オフセット間隔）、又は方向などの特性を指定してもよい。

【0082】

例えば、ティーチイン・ステップにおいて、長さ（オフセット）及び方向によって、少なくとも1つのカメラ画像の記録中に変更することなく横断される単一の好ましいオフセット経路を決定することができる。

【0083】

更に、オフセット経路は、空間方向においてランダムに選択され、好ましいと決定された長さ（オフセット）にスケーリングすることができる。

10

【0084】

ティーチイン・ステップを有する実施形態の利点は、表示装置及びカメラの選択された配置に対して最適又は十分に良好なモアレ抑制が達成され得ることである。

【0085】

ティーチイン・ステップの後、各場合においてティーチイン・ステップにおいて決定された好ましいオフセット経路に沿ってカメラ画像が表示画像に対して相対的に移動するように、カメラ画像の記録中にカメラを移動する。また、好ましいオフセット経路からのランダムなずれをカメラ移動に与えることにより、好ましいオフセット経路を確率的に変化させることもできる。

20

【0086】

表示画素の配置によっては、異なる向きのオフセット経路によって、モアレ干渉の抑制の程度が異なる場合がある。例えば、水平（x）方向には互いに隣接して配置されるが、垂直（y）方向には離間して配置された矩形の表示画素を有する表示装置の場合、主に垂直方向のオフセット経路を選択することが有利となることがある。

【0087】

したがって、この実施形態は、モアレ干渉を特に良好に抑制するために、特定の表示装置に合わせたオフセット経路を選択することができる。

【0088】

本方法の一実施形態では、少なくとも1つのカメラ画像の記録中に、オフセット振幅よりも小さいか等しいオフセットを有するオフセット経路をカメラが移動する場合に、モアレ干渉測定値が所定のモアレ閾値未満になる及び/又は最小化するように、ティーチイン・ステップにおいて、表示装置及びカメラに適したオフセット振幅が決定される。少なくとも1つのカメラ画像の記録中に、方向、進路、及びオフセット長さに関してランダムに選択されたオフセット経路が横断されるが、オフセット長さは、ティーチイン・ステップで決定されたオフセット振幅よりも小さいか又は最大でも等しくなるように選択される。

30

【0089】

一実施形態では、少なくとも1つのカメラ画像の記録中にカメラが開始位置に対して好ましいオフセットだけオフセット経路に沿ってオフセットされたときにモアレ干渉測定値が最小になるように、好ましいオフセットがティーチイン・ステップで決定される。更に、所定の間隔幅を有するオフセット間隔が、好ましいオフセットを含む、好ましくは対称的に含むように決定される。モアレ干渉測定値を最小化するために、上述したように、離散最適化法を用いることができる。

40

【0090】

ティーチイン・ステップの後、各場合においてティーチイン・ステップで決定されたオフセット間隔内の長さ（オフセット）を有するオフセット経路に沿ってカメラ画像が表示画像に対してシフトされるように、カメラ画像の記録中にカメラを移動する。

【0091】

本実施形態では、ティーチイン・ステップにおいて、表示装置とカメラの組み合わせに対して、最適又は好ましいオフセット経路の長さが1つのパラメータとして調整されれば

50

十分である。

【 0 0 9 2 】

モアレ補正の特に良好な結果を達成することができる表示装置に対するカメラのオフセット経路は、本質的に表示装置の画素ピッチに依存し、更にセンサ画素の画素ピッチ及び画像スケールにも依存することが判明している。したがって、ティーチイン・ステップのこの実施形態では、カメラ及び表示装置のそれぞれの配置に適合した特に効率的なモアレ低減が可能である。

【 0 0 9 3 】

ティーチイン・ステップにおけるオフセット経路又はオフセット間隔又は好ましいオフセットの決定は、各場合において、カメラ画像のセクション、すなわち、センサ画素の連続領域を参照して実行することもできる。

10

【 0 0 9 4 】

例えば、湾曲した表示装置の場合や、カメラレンズの歪みや、又は遠近歪みに起因して、異なるオフセット経路、異なるオフセット間隔又は異なる好ましいオフセットが、カメラ画像の異なる領域に対するモアレ補正に特に適していることが判明する可能性がある。

【 0 0 9 5 】

本方法のこの実施形態では、カメラ移動の関連パラメータ（オフセット経路、オフセット間隔又は好ましいオフセット）は、カメラ画像全体を完全にカバーする異なるカメラ画像領域についてティーチイン・ステップで離散最適化により各場合で決定される。その後、各カメラ画像領域について少なくとも1つのカメラ画像が記録され、それにより、カメラはそれぞれの割り当てられたパラメータに従って移動される。このようにして撮影されたカメラ画像の大部分は、画像登録処理によって位置合わせされた後、画素ごとに合計又は平均化されてモアレ補正された結果画像が形成される。

20

【 0 0 9 6 】

このようにすれば、表示装置の幾何学的又は光学的配置により、カメラの動きがカメラ画像上の表示画像の像に与える影響が、カメラ画像の異なる領域で異なる場合であっても、良好なモアレ補正された結果画像を取得することができる。

【 0 0 9 7 】

一実施形態では、カメラ画像の少なくとも1つの領域から取得されたセンサ画素値の変動係数がモアレ干渉測定値として形成される。変動係数、すなわち、期待値に関する散らばりは、特に容易かつ迅速に決定することができ、モアレ干渉の影響の良好な近似を表す。

30

【 0 0 9 8 】

本方法の一実施形態では、オフセット経路が確率的に決定される。オフセット経路は、その長さ、すなわち、移動したオフセットに関して、この長さを長さ間隔（オフセット間隔）において一様に分布する確率変数として決定することによって、確率的に決定することができる。オフセット経路は、その空間経路に関して予め決定することも、又はランダムに決定することもでき、このようにして決定された長さに従ってスケールリングされる。

【 0 0 9 9 】

このようにすると、この一様な分布に従って独立して行われる複数のオフセット移動に対して、特に良好なモアレ干渉の抑制が達成される。

40

【 0 1 0 0 】

また、好ましいオフセット経路、例えばティーチイン・ステップで決定されたオフセット経路に確率的に偏差を付与することにより、オフセット経路を確率的に決定することもできる。

【 0 1 0 1 】

本発明の実施形態では、表示装置に対するカメラの移動は、表示画素のマトリックスの列及び/又は行の方向に沿って行われる。すなわち、カメラの移動は、平面表示装置の場合、表示装置に対して平行である。湾曲した表示装置の場合、カメラの移動は、接平面、好ましくは、表示画素のマトリックスの中心又はその近くに位置する表示画素を通過する接平面に対して共平面である。このような2次元面内のオフセット移動により、特に良好

50

なモアレ干渉の抑制を達成することができる。

【 0 1 0 2 】

また、曲面表示装置に対して、複数の異なる接線面を選択することもできる。そして、接平面ごとに、少なくとも 1 つのカメラ画像の記録中にカメラのそれぞれの平行移動が実行され、個々のカメラ画像が画像登録処理によって位置合わせされた後、画素ごとに合計又は平均化されてモアレ補正された結果画像が形成される。これにより、特に正確なモアレ補正を行うことができる。

【 0 1 0 3 】

本方法の一実施形態では、カメラは、表示装置に対してその光軸に沿って移動される。これにより、デフォーカス、すなわち、エッジに向かって傾斜する同心円状の P S F との畳み込み（コンボリューション）が生じる。

10

【 0 1 0 4 】

この実施形態は、移動の一方向に沿ってのみ変位を行えばよいという利点を有する。このような方法は、複数の方向に沿って変位を行うよりも実施が容易である。

【 0 1 0 5 】

本方法の一実施形態では、カメラは、開始位置について対称的なサブパス、すなわち、マグニチュード及び方向が等しいが方向が反対のサブパスからなるオフセット経路に沿って開始位置を中心に移動される。例えば、オフセット経路は、鏡面对称とすることができる。

20

$$\begin{aligned} x(t) &= x_0 + \delta_x(t), 0 \leq t < \frac{T}{2} \\ y(t) &= y_0 + \delta_y(t), 0 \leq t < \frac{T}{2} \\ x\left(t + \frac{T}{2}\right) &= x_0 - \delta_x(t), 0 \leq t < \frac{T}{2} \\ y\left(t + \frac{T}{2}\right) &= y_0 - \delta_y(t), 0 \leq t < \frac{T}{2} \end{aligned}$$

30

【 0 1 0 6 】

これにより、モアレ補正された結果画像が、特に小さな偏差で開始位置に関連付けられることが可能になる。

【 0 1 0 7 】

この方法の一実施形態では、表示装置とカメラのセンサとの間にカラーフィルタを配置することによって、複数のカラーチャンネルに対してカラーチャンネル関連の結果画像が決定され、各カラーチャンネルに対してカラーチャンネル関連のオフセット間隔が決定され、カラーチャンネル関連の結果画像が互いに位置合わせされる。

【 0 1 0 8 】

そのようなカラーフィルタは、異なる厚さ及び異なる屈折率を有する場合があり、表示装置とセンサ面との間でカメラレンズの光軸に対してほぼ垂直に配置される。したがって、例えば平行光束の場合、カラーフィルタによってマグニチュードが異なる平行移動が発生することがある。また、例えば発散光束の場合、（センサ領域内の）位置に応じて異なる歪みを引き起こすことがある。

40

【 0 1 0 9 】

提案する実施形態では、登録されたカラーチャンネル関連の結果画像を重ね合わせることで、モアレ補正されたカラー画像を得ることができる。これにより、表示装置のスペクトル又は少なくともカラーチャンネルに関連する検査も可能となる。

【 0 1 1 0 】

画素ベースの表示装置の表示品質を評価する方法において、カメラで記録された少なく

50

とも1つのカメラ画像から、上述のいずれかの方法に従って、モアレ補正された結果画像を取得し、このモアレ補正された結果画像に基づいて、表示装置の表示品質を判定する。

【0111】

この方法の利点は、モアレ干渉によって、表示装置の品質評価が影響を受けたり歪んだりしないことである。これにより、表示装置の実際の品質を反映した評価が可能となる。また、高い空間周波数（ナイキスト周波数に近い）を持つエイリアシングアーチファクトを除去することにより、特に高い空間解像度、好ましくは1表示画素に正確な空間解像度での偏りのない評価が可能である。その結果、表示装置上の局所的な小さな欠陥や異常も検出し、評価することができる。特に、画素欠陥の誤検出を防ぐことができる。従って、特に信頼性の高い表示装置の評価ができる。

10

【0112】

この方法の実施形態では、表示装置の欠陥のある表示画素が検出され及び/又は位置特定される。このため、表示装置の品質管理を特に簡単に行うことができる。

【0113】

一実施形態において、表示装置全体の明るさ分布の均一性が決定される。本発明の利点は、明るさ分布の均一性の誤差又は乱れを模擬する、低い空間周波数を有するエイリアシングアーチファクトが除去されることである。

【0114】

特に、本発明による評価方法は、表示画素間の動作時間又は強度統計における画素関連の相違の場合で製造技術及び/又は経時変化により発生する明るさの差を補正するためのDeMURAとして知られる方法を可能にする。

20

【0115】

好ましくは、明るさの差は、評価され、及び/又は、そのような明るさの差を補正するためのパラメータが輝度又は明るさが低い表示画像に基づいて決定される。

【0116】

本方法の一実施形態では、表示品質を評価するために、表示装置全体にわたる測光パラメータ（好ましくは輝度）の局所的な分布が決定される。これにより、表示装置の特に正確で客観的に再現可能な評価が可能になる。

【0117】

上述の方法の1つを実施するための装置は、カメラと、位置決めユニットと、制御ユニットと、評価ユニットとを備えている。位置決めユニットは、表示装置に対して固定するように設計することができ、カメラを移動するように設定することができる。また、位置決めユニットは、カメラに対して固定しており、表示装置を移動するように設定することもできる。

30

【0118】

位置決めユニットは、オフセット間隔内にあるオフセットによって、カメラ又は表示装置を電動で移動させるように構成される。制御ユニットは、カメラによるカメラ画像の記録を開始するために構成される。

【0119】

評価ユニットは、上述の方法のうちの1つを用いてモアレ補正された結果画像を形成するように構成される。

40

【0120】

この装置の利点は、上述した方法の利点に起因する。

【0121】

位置決めユニットは、カメラ画像の記録とは無関係に、カメラの確率的又は準確率的な移動のために配置されてもよい。

【0122】

しかしながら、本発明の実施形態では、制御ユニットが、位置決めユニットを制御し、それに従って、すなわち、位置決めユニットによるカメラの移動に従って、カメラ画像の記録を開始するように設定することもできる。その結果、オフセット経路を再現し、モア

50

レ干渉を抑制するためのフィルタ効果をより正確に設定することができる。

【 0 1 2 3 】

装置の一実施形態では、制御ユニットと評価ユニットが、1つの制御及び評価ユニットにまとめられている。これにより、特にコンパクトな設計と、低コストで柔軟性のある部品の使用が可能になる。例えば、制御及び評価ユニットは、P C (パーソナルコンピュータ) 又はノートブックとして設計することができる。

【 0 1 2 4 】

一実施形態では、位置決めユニットは、好ましくは互いに直交する2つの回転軸を中心にカメラを回転させるように設定されたゴニオメータとして設計される。ゴニオメータは、輝度測定に一般的に使用される位置決めユニットであり、この応用分野で容易に入手でき、特に費用対効果の高いセットアップを可能にする。

10

【 0 1 2 5 】

好ましくは、ゴニオメータは、非常に小さな角度、好ましくは1度未満の角度、特に好ましくは1弧分未満の角度を通してカメラ又は表示装置を正確に回転するように設定される。このような非常に小さな回転角の場合、表示装置とカメラとの間に十分に長い距離があれば、ゴニオメータによる回転によって、カメラ画像に対する表示画像の略同一平面上のオフセットが達成される。

【 0 1 2 6 】

しかしながら、位置決めユニットは、少なくとも1つの、好ましくは少なくとも2つの相互に直交する運動方向に沿ってモータによって直線的に変位することができる任意の他の運動ユニットとして設計することもできる。

20

【 0 1 2 7 】

一例として、位置決めユニットは、産業用ロボットとして設計することも可能である。これにより、表示装置又はカメラを特に柔軟に移動させることができる。

【 0 1 2 8 】

位置決めユニットは、2軸に沿って移動可能なクロステーブル (X Y テーブル) として設計することもできる。軸に沿った移動は、電氣的に作動する回転駆動装置及び / 又は直線駆動装置によって行うことができる。例えば、スピンドル駆動の回転モータを横断のために使用することができる。また、ピエゾ式リニア駆動装置を使用することもできる。

【 0 1 2 9 】

30

装置の実施形態において、位置決めユニットは、カメラのハウジング上に配置され、振動状態に設定できる少なくとも1つの振動ユニットとして設計されている。振動ユニットによって、カメラは、カメラ画像の記録中に振動状態に設定される。カメラの振動は、表示画像に対するカメラ画像のオフセット経路として現れる。

【 0 1 3 0 】

カメラに複数の振動ユニットを配置することも可能であり、例えば、水平 X 方向 (センサ画素の行方向) 、垂直 Y 方向 (センサ画素の列方向) にそれぞれ1つの振動ユニット、及びカメラの光軸方向に1つの振動ユニットを配置することが可能である。これにより、オフセット経路を特に柔軟に設計することができる。

【 0 1 3 1 】

40

このような振動ユニットは、例えば、ピエゾアクチュエータとして、又はスピーカとして、又は振動モータとして設計され、カメラハウジング上に配置されることが可能である。

【 0 1 3 2 】

スピーカを用いた実施形態では、少なくとも1つのスピーカは、高調波駆動信号で駆動することができる。このような実施形態の場合、ティーチイン・ステップは、例えば、モアレ干渉レベルが特に良好に低減されるように、駆動信号の周波数及び / 又は振幅を決定することを含んでいてもよい。

【 0 1 3 3 】

二実施形態において、カメラは、輝度測定カメラとして設計され、測光パラメータ、好ましくは表示装置によって発せられた光の輝度の空間分布を記録するように設定される。こ

50

れにより、表示装置の特に正確かつ客観的に再現可能な評価ができる。

【図面の簡単な説明】

【0134】

以下、本発明の例示的な実施形態について、図面を参照しながらより詳細に説明する。

【図1】表示装置の表示画像を撮影するための配置を模式的に示す図である。

【図2A】センサ画素及び表示画素の配置を模式的に示す図である。

【図2B】センサ画素及び表示画素の配置を模式的に示す図である。

【図3A】第1及び第2カメラ画像のフーリエ変換の大きさを概略的に示す図である。

【図3B】第1及び第2カメラ画像のフーリエ変換の大きさを概略的に示す図である。

【図4】オフセットフィルタの振幅応答のマグニチュード応答を模式的に示す図である。

10

【発明を実施するための形態】

【0135】

対応する部品には、全図において同じ参照符号が付されている。

【0136】

図1は、表示装置2が表示する表示画像をカメラ1によって記録するための配置を模式的に示している。表示装置2は、行2.3及び列2.2に沿ってマトリクス状に配置された複数の表示画素2.1を備える。行2.3は、水平なX方向とほぼ平行に延びている。列2.2は、垂直Y方向とほぼ平行に延びている。

【0137】

カメラ1は、センサ面1.2にマトリクス状に配置されたセンサ画素1.3を備えている。センサ面1.2の前方には、表示画素2.1によって表される表示画像をセンサ面1.2に結像させるカメラレンズ1.1が配置されている。カメラ1の光軸Oは、表示画素2.1によって描かれた面に対してほぼ垂直に、かつ、中心に向けられている。

20

【0138】

カメラ1は、(カメラレンズ1.1と、センサ画素1.3を有するセンサ面1.2とを備えた)その全体を、例えばクランプ又はネジ止めされて、位置決めユニット3の保持板3.2上に配置されている。位置決めユニット3は、モータ3.1によって、水平なx方向及び垂直なy方向に沿って保持板3.2を電動で移動させるように設定されている。モータの代わりに、他の移動手段、例えば圧電アクチュエータ等をx方向とy方向に沿った直線移動に使用することもできる。

30

【0139】

位置決めユニット3によって、カメラ1をオフセット経路VPに沿って、表示装置2に対してオフセットVだけ移動させることができる。オフセットVは、オフセット経路VPの長さである。

【0140】

センサ画素1.3から読み出されたセンサ値によって形成されるカメラ画像の記録中に、カメラ1が表示装置2に対してx方向及び/又はy方向にオフセットするように、モータ3.1とカメラ1による画像記録が、それに接続された制御ユニット4によって制御される。

【0141】

また、カメラ1が表示装置2に対してオフセットしている間に、複数のカメラ画像を取り込むこともできる。

40

【0142】

カメラ画像は、評価ユニット5において、カメラ1によって読み出される。カメラ1が移動している間に複数のカメラ画像が記録されると、評価ユニット5によって、個々のカメラ画像が重ね合わされ、例えば加算又は平均化されて、モアレ補正された結果画像が形成される。

【0143】

図2A及び図2Bは、カメラ1が表示装置2に対して移動したとき、センサ画素1.3に対する表示画素2.1の位置の変化を模式的に示している。より明確にするために、マ

50

トリクス状に配置された表示画素 2 . 1 の一部とマトリクス状に配置されたセンサ画素 1 . 3 の一部のみがそれぞれの事例で示されている。

【 0 1 4 4 】

センサ画素 1 . 3 は、センサ画素ピッチ D_S で間隔をあけて配置されている。簡単に表現するために、センサ画素ピッチ D_S は、垂直 y' 方向と水平 x' 方向とで同じであるように選択されているが、垂直方向と水平方向とで異なる距離も可能である。

【 0 1 4 5 】

同様に、表示画素 2 . 1 は、表示画素ピッチ D_A で間隔をあけて配置されている。カメラレンズ 1 . 1 によって達成される再現スケール β' が 1 から逸脱する場合、表示画素 2 . 1 は、センサ画素ピッチ D_S と比較して、この再現スケールによって延長又は短縮した距離で現れる。特に、得られた再現スケール (RPS) により、エイリアシング (モアレ) によってカメラ画像内でどの空間周波数が正しく表示されないかが決定される。

10

【 0 1 4 6 】

図 2 A は、開始位置 S におけるセンサ画素 1 . 3 の位置を示す。図 2 B は、露光中にオフセット経路 VP に沿ってカメラ 1 が移動した後のセンサ画素 1 . 3 の位置を示している。オフセット経路 VP は、オフセット V と呼ばれる長さを有する。

【 0 1 4 7 】

センサ面 1 . 2 への投影において、オフセット経路 VP は、画像側撮像スケール β' を考慮して、以下では画像オフセット V' と呼ばれる長さのオフセット経路画像 VP' として現れる。

20

【 0 1 4 8 】

1 つ以上の表示画素 2 . 1 からセンサ画素 1 . 3 (センサ面上の表示画像の画像) に結像される輝度は、カメラ 1 が移動していないとき、それぞれのセンサ画素 1 . 3 の画素開口 (点広がり関数 PSF) のみで畳み込まれる。

【 0 1 4 9 】

空間周波数領域において、これは、表示装置 2 の撮像された表示画像のスペクトル (すなわち、表示画素 2 のマトリクス) と PSF のスペクトル (モジュール伝達関数 MTF) の乗算を意味する。全センサ画素 1 . 3 のマトリクスは、サンプリングを意味し、周波数領域において、得られたスペクトルの乗算を意味する。その際、高周波成分が基本スペクトルに入り込み、エイリアシングが発生することがある。

30

【 0 1 5 0 】

カメラ 1 を移動させることにより、1 つ以上の表示画素 2 . 1 からセンサ画素 1 . 3 に結像された輝度 (センサ上の表示画像の画像) は、それぞれのセンサ画素 1 . 3 の画素開口 (点広がり関数 PSF) で畳み込まれ、かつ、オフセット経路画像 VP' によって決まるフィルタカーネル $h(x', y')$ で更に畳み込まれる。オフセット経路画像 VP' の位置曲線は、座標 $x' o, y'$ の開始位置 S から出発して、(水平) x' 方向及び垂直 y' 方向のそれぞれの移動量 $\delta_{x'}(t), \delta_{y'}(t)$ によって決定される。フィルタカーネル $h(x', y')$ は、値 $\{\delta_{x'}(t), \delta_{y'}(t)\}$ の総和で決まる位置において、これらの位置におけるカメラ画像に対する表示画像の移動速度 $v(t)$ に反比例し、特に 0 と異なる値をとる。その他の位置

$$(x', y') \notin \{\delta_{x'}(t), \delta_{y'}(t)\}$$

40

では、 $h(x', y') = 0$ を適用する。

【 0 1 5 1 】

従って、空間周波数領域において、これは、表示画像 (表示画素 2 . 1 のマトリクス) のスペクトルに、 PSF のスペクトル (MTF) とオフセット経路画像 VP' のスペクトルを乗算することを意味する。

【 0 1 5 2 】

したがって、カメラ 1 を移動させることにより、センサ画素 1 . 3 の PSF は、オフセット経路画像 VP' と畳み込まれ、これにより、空間周波数領域におけるオフセット経路画

50

像 $V P'$ のフーリエ変換とスペクトルの乗算、すなわちフィルタリングが行われる。このように、オフセット経路 $V P$ によって決まるオフセット経路画像 $V P'$ の選択によって、干渉周波数成分を抑制又は低減する可能性が得られる。

【0153】

したがって、オフセット経路 $V P$ は、位置連続フィルタリング、特に、カメラ画像におけるモアレ干渉を除去又は抑制する平滑化のためのフィルタカーネル $h(x', y')$ を決定するために使用することができる。提案されたティーチン方法によって、オフセット経路 $V P$ は、カメラ 1 と表示装置 2 との組み合わせに対してモアレ干渉の可能な限り最良の低減が達成されるように、離散最適化によって決定することが可能である。

【0154】

カメラ画像の離散位置フィルタリングと比較した場合の利点は、原理的に、任意の空間周波数において、モアレ干渉を選択的に除去又は低減することができることである。特に、センサ画素ピッチ $f_0 = 1/D_S$ の逆数の整数倍でなく、それ故に離散化されたカメラ画像の空間的に離散的なフィルタリングではアクセスできない空間周波数であっても、フィルタカーネル $h(x', y')$ による空間的に連続なフィルタリングによって減衰又は除去することもできる。したがって、高い空間分解能を維持しつつ、モアレ干渉を抑制することができる。

【0155】

以下、図 3 A、図 3 B 及び図 4 を参照して、本発明の更に発展した実施形態を説明する。

【0156】

図 3 A は、水平及び垂直方向の空間周波数 $f_x; f_y$ にわたる第 1 のマグニチュードプロット $|X_{\tau 1}(f_x; f_y)|$ を模式的に示す図である。第 1 のマグニチュードプロット $|X_{\tau 1}(f_x; f_y)|$ は、第 1 露光時間 $\tau 1$ にわたって露光された第 1 カメラ画像におけるフーリエ変換 $|X_{\tau 1}(f_x; f_y)|$ の大きさである。

【0157】

第 1 カメラ画像の露光は、第 1 露光時間 $\tau 1$ の間、カメラ 1 が表示装置 2 に対して移動しないか、又は僅かに移動するように行われる。ここでも以下でも「僅かに移動される」とは、表示画素ピッチ D_A よりも小さく、好ましくは $D_A/3$ よりも小さいオフセット V を引き起こす動きとして理解されるものとする。言い換えれば、表示装置 2 に対するカメラ 1 の移動によって生じるオフセット経路 $V P$ は、表示画素ピッチ D_A よりも小さく、好ましくは $D_A/3$ よりも小さいセンサ面 1、2 に平行なオフセット V を有している。

【0158】

第 1 露光時間 $\tau 1$ をカメラ 1 の移動速度に対して非常に短くなるように選択する（すなわち、オフセット経路画像 $V P'$ が非常に短くなるように選択する）ことにより、第 1 カメラ画像を取り込むことができる。それにより、第 1 露光時間 $\tau 1$ の変化に反比例して表示画素 2、1 の明るさを増加させることによって、第 1 露光時間 $\tau 1$ の短縮を補うことができる。

【0159】

追加的又は代替的に、第 1 露光時間 $\tau 1$ の間にカメラ 1 の動きを減少又は停止させることによって、第 1 カメラ画像を記録することができる。

【0160】

画像オフセット V' が比較的非常に短い、又は完全に抑制されることによって、図 2 A 及び図 2 B を参照して説明されたオフセット経路画像 $V P'$ によって決まるフィルタカーネル $h(x', y')$ のフィルタ効果が低減される。極端な場合、カメラ 1 が表示装置 2 に対して完全に静止しているとき、フィルタカーネル $h(x', y')$ はディラックパルス $\delta(\text{frac} - \text{Impuls})$ に縮退し、センサ画素 1、3 によって記録される第 1 カメラ画像に何の変化も生じさせない。

【0161】

したがって、フーリエ変換 $X_{\tau 1}(f_x; f_y)$ は、エイリアシング（すなわち、モアレ干渉）を示す。図 3 A において、明るい灰色の値はフーリエ変換 $X_{\tau 1}(f_x; f_y)$ の振幅が大きいこ

10

20

30

40

50

とを示し、暗い灰色の値はフーリエ変換 $X_{\tau 1}(f_x; f_y)$ の振幅が小さいことを示す。図 3 A の水平次元は、水平空間周波数 f_x に対応し、これはセンサ面 1 . 2 の水平 x' 方向に関連する。図 3 A の垂直次元は、垂直空間周波数 f_y に対応し、これはセンサ面 1 . 2 の垂直 y' 方向に割り当てられる。

【 0 1 6 2 】

第 1 カメラ画像におけるエイリアシング（モアレ）は、フーリエ変換 $X_{\tau 1}(f_x; f_y)$ において、ある特定の水平及び垂直方向の空間周波数で大きい振幅に対応する縦線及び横線の形で、顕著に明るく（白く）浮かび上がらせる第 1 の干渉 M_1 を引き起こす。

【 0 1 6 3 】

図 3 B は、図 3 A に類似した方法で、第 2 露光時間 $\tau 2$ にわたって露光され、第 1 カメラ画像と同じ表示装置 2 によって表される同一の表示画像が取得された第 2 カメラ画像におけるフーリエ変換 $|X_{\tau 2}(f_x; f_y)|$ の第 2 のマグニチュードプロットを示している。

10

【 0 1 6 4 】

第 2 カメラ画像の露光は、第 1 カメラ画像とは異なり、第 2 露光時間 $\tau 2$ の間にカメラ 1 を相対移動させることによりセンサ面 1 . 2 に平行なオフセット V を有するオフセット経路画像 $V P$ が生成されるように行われ、このオフセット V は表示画素ピッチ D_A の 1 倍から 5 倍の間である。すなわち、図 2 A 及び図 2 B を参照して既に説明したように、第 2 カメラ画像が記録される。

【 0 1 6 5 】

また、第 2 カメラ画像のフーリエ変換では、エイリアシング（モアレ）が第 2 の干渉 M_2 として現れる。しかし、オフセット経路画像 $V P'$ によって決定されるフィルタカーネル $h(x', y')$ の既に説明したフィルタ効果によりこの第 2 の干渉 M_2 は、第 1 カメラ画像のフーリエ変換における第 1 の干渉 M_1 に比べて大幅に低減されることになる。

20

【 0 1 6 6 】

第 2 露光時間 $\tau 2$ の間に表示装置 2 に対するカメラ 1 のオフセット V を有する第 2 カメラ画像で達成されるエイリアシング（モアレ）の抑制は、システム理論の観点から、オフセットフィルタの伝達関数として表現することができる。これは、第 1 カメラ画像のフーリエ変換 $X_{\tau 1}(f_x; f_y)$ （モアレ抑制オフセット V はない）と第 2 カメラ画像のフーリエ変換 $X_{\tau 2}(f_x; f_y)$ との商から生じるものである。

【 0 1 6 7 】

特に、第 2 カメラ画像の記録の間におけるオフセット V による周波数の選択的な抑制は、このようなオフセットフィルタの振幅応答 $|G_{\tau 2}(f_x; f_y)|$ として表現することができる。

30

【 0 1 6 8 】

例えば、振幅応答 $|G_{\tau 2}(f_x; f_y)|$ は、第 1 マグニチュード応答に対する第 2 マグニチュード応答の大きさの比から求めることができる。

$$|G_{\tau 2}(f_{x'}, f_{y'})| = \frac{|X_{\tau 2}(f_{x'}, f_{y'})|}{|X_{\tau 1}(f_{x'}, f_{y'})|}$$

40

【 0 1 6 9 】

あるいは、振幅応答 $|G_{\tau 2}(f_x; f_y)|$ の決定は、画像処理操作の要領で、局所分割に基づくことも可能である。局所分割は、閾値に依存する方法で、2 進値である

$$|\bar{G}_{\tau 2}(f_{x'}, f_{y'})| \in \{0, 1\}$$

を振幅応答 $|G_{\tau 2}(f_x; f_y)|$ の各大きさの値に割り当てる。

【 0 1 7 0 】

例えば、この画像処理演算を、第 1 マグニチュード応答に対して第 2 のマグニチュード比に適用することができる。これにより、振幅応答 $|G_{\tau 2}(f_x; f_y)|$ が、二値振幅応答である

50

$$|\tilde{G}_{\tau 2}(f_{x'}, f_{y'})|$$

に変換される。一般に、 $|X_{\tau 1}(f_x; f_y)|$ と $|X_{\tau 2}(f_x; f_y)|$ から振幅応答 $|G_{\tau 2}(f_x; f_y)|$ を導出するには、画像処理分野の論理演算や形態演算などの他の演算や追加演算が使用することが可能である。例えば、振幅応答 $|G_{\tau 2}(f_x; f_y)|$ と同一又は類似の方法で商を形成する前に、第 1 及び第 2 マグニチュード応答 $|X_{\tau 1}(f_x; f_y)|$ 、 $|X_{\tau 2}(f_x; f_y)|$ を二値化し、その後、排他的論理和演算 (XOR) のような論理演算子によって振幅応答 $|G_{\tau 2}(f_x; f_y)|$ を導出することができる。

【0171】

一般に、オフセットフィルタを定義する目的は、振幅応答 $|G_{\tau 2}(f_x; f_y)|$ を決定することであり、それにおいて、第 1 の (未調整の) 振幅プロファイル $|X_{\tau 1}(f_x; f_y)|$ において高い振幅が決定され、かつ第 2 の (調整された) 振幅プロファイル $|X_{\tau 2}(f_x; f_y)|$ において比較的非常に低い振幅が決定される場合、水平及び垂直空間周波数の組 $(f_x; f_y)$ に対して低い振幅又はゼロを割り当てることである。

【0172】

図 4 は、第 1 及び第 2 マグニチュード応答 $|X_{\tau 1}(f_x; f_y)|$ 、 $|X_{\tau 2}(f_x; f_y)|$ から決定されるオフセットフィルタ V の振幅応答 $|G_{\tau 2}(f_x; f_y)|$ を模式的に示す図である。振幅応答 $|G_{\tau 2}(f_x; f_y)|$ は、水平及び垂直空間周波数のパラメータの組み合わせに対して、カメラ画像が周波数選択的に受ける減衰 (又は増幅) の度合いを規定する。

【0173】

二値振幅応答である

$$|\tilde{G}_{\tau 2}(f_{x'}, f_{y'})|$$

の適用は、 $|X_{\tau 1}(f_x; f_y)|$ と $|X_{\tau 2}(f_x; f_y)|$ との間で著しく異なる全ての周波数成分が完全に抑制されるので、 $|X_{\tau 1}(f_x; f_y)|$ に存在する (残留) モアレより著しく弱い場合に限って、 $|X_{\tau 2}(f_x; f_y)|$ に存在する (残留) モアレも抑制することができる連続値振幅応答 $|G_{\tau 2}(f_x; f_y)|$ のオフセットフィルタよりも有利である。更に、二値振幅応答である

$$|\tilde{G}_{\tau 2}(f_{x'}, f_{y'})|$$

に対して、ダイレーションなどの簡単な形態演算を追加すれば、本方法のロバスト性を更に向上させることが可能である。

【0174】

オフセットフィルタを用いることで、露光時にオフセット V が全くない、あるいは僅少なオフセット V しかない状態で撮影されたカメラ画像でもモアレ抑制を行うことが可能である。この目的のため、このカメラ画像はフーリエ変換される。カメラ画像のフーリエ変換 ($X(f_x; f_y)$) は、上記したように、第 1 及び第 2 カメラ画像から求めたオフセットフィルタの振幅応答 $|G_{\tau 2}(f_x; f_y)|$ を周波数選択的に乗算される。

$$X'(f_{x'}, f_{y'}) = X(f_{x'}, f_{y'}) \cdot |G_{\tau 2}(f_{x'}, f_{y'})|$$

【0175】

このようにして得られた空間周波数重み付けフーリエ変換 $X'(f_x; f_y)$ は、強い第 1 干渉 $M1$ が第 1 カメラ画像に存在するが第 2 カメラ画像には干渉 $M2$ が全くないか又は小さい干渉 $M2$ のみが存在する空間周波数 $f_x; f_y$ において特に減衰する。なぜなら、これらの空間周波数についてはオフセットフィルタの振幅応答 $|G_{\tau 2}(f_x; f_y)|$ がほぼゼロ又はゼロになるからである。本発明によれば、空間周波数重み付けフーリエ変換 $X'(f_x; f_y)$ は、次

10

20

30

40

50

に逆フーリエ変換（フーリエ逆変換）を受け、その結果としてモアレ補正された結果画像が得られる。

【0176】

つまり、（カメラ1と表示装置2の配置に関する）幾何学的及び本質的な照明条件が、第1及び第2カメラ画像の記録時と比較して変化しないか、あるいは、僅かに変化するだけであれば、振幅応答 $|G_{T2}(f_x; f_y)|$ をカメラ画像のフーリエ変換とそれに続く逆フーリエ変換（フーリエ逆変換）に適用することで、第2カメラ画像を記録したときに選択したのと同じオフセット経路VPに沿ってカメラ1を表示装置2に対して相対移動させた場合と同一又は類似のエイリアシング（モアレ）干渉の抑制を達成することができる。

【0177】

これにより、カメラ画像の記録中にカメラ1を移動させないか、あるいは僅かに移動させるだけでも、干渉M1、M2への抑制と同一又は同等の抑制を達成することができる。特に、振動的なオフセット動作によって発生するような、カメラ1及び/又は表示装置2への機械的な負荷を回避することが可能となる。

【0178】

また、非常に短い露光時間で記録されるために、十分な干渉抑制に必要なオフセット動作ができないカメラ画像においても、干渉を抑制することができるようになる。また、同様の記録状況で記録された更なるカメラ画像、例えば、別個の、しかし同一構造の表示装置からのカメラ画像における外乱を抑制することも可能である。

【0179】

また、第3カメラ画像及び他の複数のカメラ画像は、第1及び第2カメラ画像とは異なる表示装置2を撮影したものであってもよい。例えば、生産工程で連続的に同一に製造される表示装置2は、品質管理のための通常の公差の枠内で、カメラ1に対する相対位置が、第1及び第2カメラ画像が撮影された第1表示装置2と同じになるように配置することが可能である。

【0180】

そして、これらの次々に入れ替わる表示装置2を利用して、第3カメラ画像及び更なるカメラ画像が記録される。第3カメラ画像及び更なるカメラ画像におけるモアレ干渉は、異なるが同一に構成された第1の表示装置2に対して第1及び第2カメラ画像から決定されたオフセットフィルタを適用されることにより、除去又は減衰される。

【0181】

実際に予想される同一表示装置2間の記録状況の微小な幾何学的変化に対するより高いロバスト性を得るために、上記のようにして決定された二値振幅応答である

$$|\tilde{G}_{T2}(f_{x'}, f_{y'})|$$

は、例えば、膨張などのモルフォロジー処理によって処理することが可能である。これにより、もともとモアレ干渉として検出された空間周波数のすぐ近くにある空間周波数も抑制される。したがって、更に、例えば表示装置2の表面法線軸を中心とした回転など、わずかに変化した記録状況によって生じるエイリアシング周波数のわずかなずれも、少なくとも部分的に補正される。

【符号の説明】

【0182】

1 カメラ

1.1 結像光学系、カメラレンズ

1.2 センサ面

1.3 センサ画素

2 表示装置

2.1 表示画素

2.2 列

- 2 . 3 行
- 3 位置決めユニット
- 3 . 1 モータ
- 3 . 2 保持板
- 4 制御ユニット
- 5 評価ユニット
- D_S センサ画素ピッチ
- D_A 表示画素ピッチ
- $f_x ; f_y$ 水平及び垂直空間周波数
- $|G_{T2}(f_x ; f_y)|$ 振幅応答
- $M_1、M_2$ 第1干渉、第2干渉
- O 光軸
- S 開始位置
- V オフセット
- V' 画像オフセット
- V_P オフセット経路
- V_P' オフセット経路画像
- $|X_{T1}(f_x ; f_y)|$ 第1マグニチュードプロット
- $|X_{T2}(f_x ; f_y)|$ 第2マグニチュードプロット

【図面】

【図1】

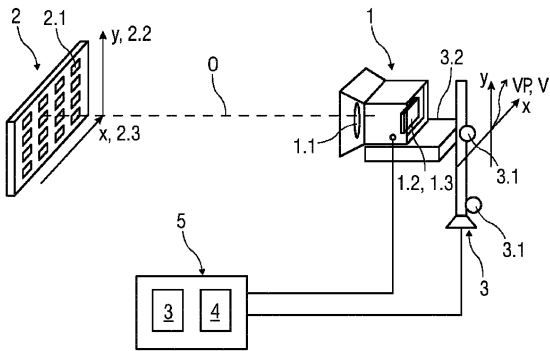


FIG 1

【図2A】

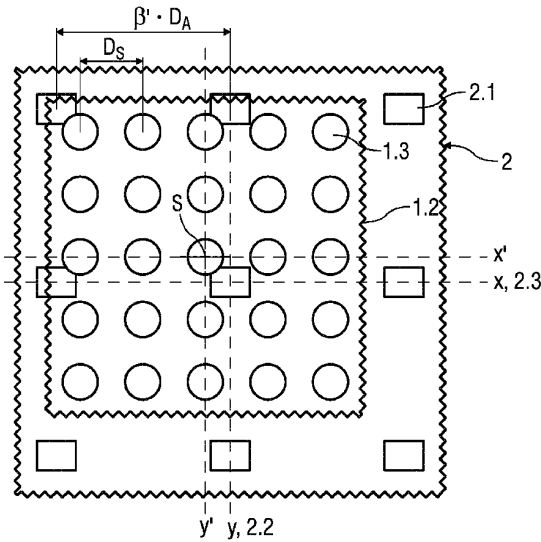


FIG 2A

【 図 2 B 】

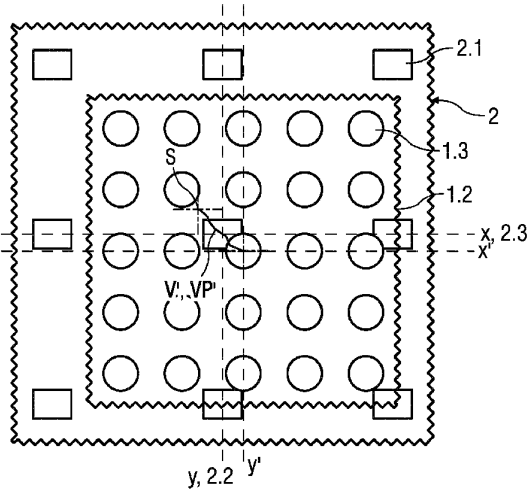


FIG 2B

【 図 3 A 】

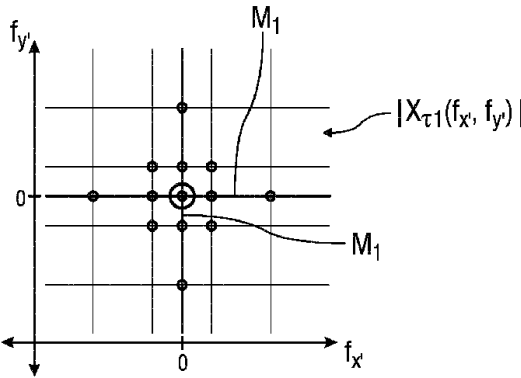


FIG 3A

10

【 図 3 B 】

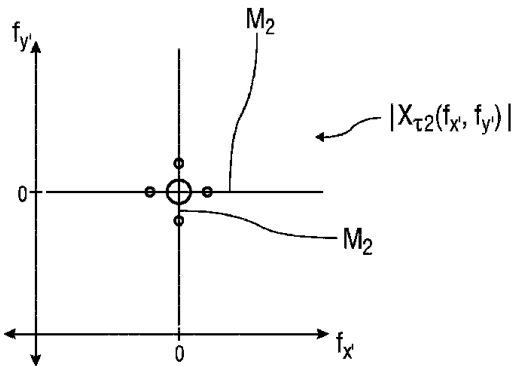


FIG 3B

【 図 4 】

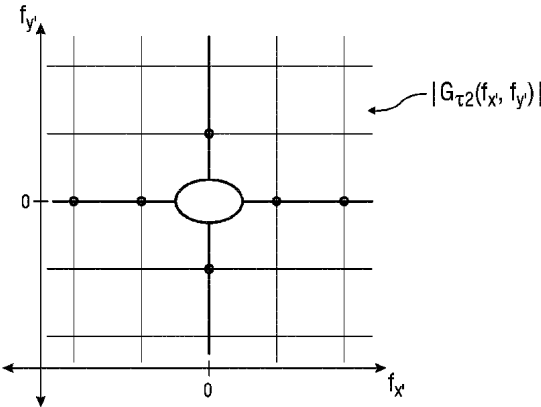


FIG 4

20

30

40

50

フロントページの続き

- ンズール、レンガースミュレ 1
(72)発明者 シュミット, フランツ
ドイツ連邦共和国、9 8 6 9 3 イルメナウ、ゲシュヴィスター - ショル - シュトラーセ 1 2 アー
(72)発明者 ケンペ, ハイコ - ウルリッヒ クラウス
ドイツ連邦共和国、9 8 6 9 3 イルメナウ、ゲーレナー シュトラーセ 3 4
審査官 岡田 弘
(56)参考文献 特開 2 0 0 8 - 0 6 4 6 2 9 (J P , A)
特開平 0 9 - 0 7 4 5 2 4 (J P , A)
特開平 0 3 - 2 3 1 3 8 2 (J P , A)
特開 2 0 0 5 - 0 7 2 8 1 6 (J P , A)
特開 2 0 1 5 - 1 9 0 7 7 6 (J P , A)
(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
H 0 4 N 5 / 2 2 2 - 5 / 2 5 7
H 0 4 N 2 3 / 0 0
H 0 4 N 2 3 / 4 0 - 2 3 / 7 6
H 0 4 N 2 3 / 9 0 — 2 3 / 9 5 9
H 0 4 N 1 3 / 0 0 - 1 7 / 0 6
H 0 4 N 1 3 / 0 0 - 1 7 / 0 6
G 0 1 M 1 1 / 0 0 - 1 1 / 0 8
G 0 6 T 1 / 0 0 - 1 / 4 0
G 0 6 T 3 / 0 0 - 5 / 9 4
G 0 9 G 5 / 0 0 - 5 / 4 2
G 0 1 N 2 1 / 8 4 - 2 1 / 9 5 8