

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-129473

(P2006-129473A)

(43) 公開日 平成18年5月18日(2006.5.18)

(51) Int.C1.	F 1	テーマコード (参考)
HO4N 5/232 (2006.01)	HO4N 5/232	Z 2 F 0 6 5
GO1B 11/00 (2006.01)	GO1B 11/00	H 5 C 1 2 2

審査請求 有 請求項の数 28 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2005-294875 (P2005-294875)
 (22) 出願日 平成17年10月7日 (2005.10.7)
 (31) 優先権主張番号 10/974,645
 (32) 優先日 平成16年10月27日 (2004.10.27)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(71) 出願人 505377430
 クオリティー ヴィジョン インターナシ
 ョナル インコーポレイテッド
 Quality Vision Internatinal, Inc.
 アメリカ合衆国 ニューヨーク州 146
 21 ロチェスター ハドソン アヴェニ
 ュー 850
 (74) 代理人 100073184
 弁理士 柳田 征史
 (74) 代理人 100090468
 弁理士 佐久間 剛

最終頁に続く

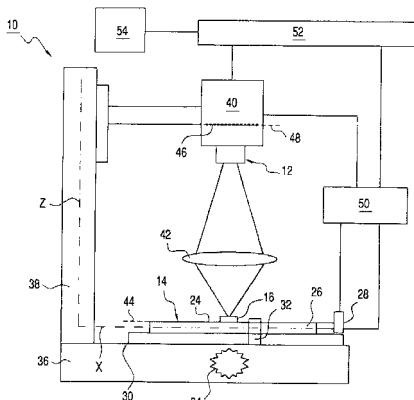
(54) 【発明の名称】デジタル撮像装置における非直線視野歪の補正方法および装置

(57) 【要約】

【課題】コンピュータ・ビジョン・システムにおける撮像光学系の非直線歪をピクセル・アレイによって規定される表示ウィンドウにおける補正量として定量化する。

【解決手段】対物面上においてテスト・アーチファクトを一定距離ずつ漸進的に変位させ、対応するテスト・アーチファクトの映像面における変位をピクセル・アレイに記録する。対物面上における計測変位に基づいて、映像面におけるテスト・アーチファクトの実際の形状と予測形状とを比較することにより補正量を特定する。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

デジタル撮像システムの非直線視野歪を定量化する方法であって、

デジタル撮像システムに対し相対移動する位置にテスト・アーチファクトを載置するステップ、

前記デジタル撮像システムによって前記テスト・アーチファクトを光学的に撮像するステップ、

前記テスト・アーチファクトを前記デジタル撮像システムの視野内で相対移動させるステップ、

前記デジタル撮像システムの像空間に現れる前記テスト・アーチファクトの位置変化をモニターするステップ、

前記デジタル撮像システムの物体空間における前記テスト・アーチファクトの位置変化を該アーチファクトの相対移動量としてモニターするステップ、および

前記像空間に現れた前記テスト・アーチファクトのモニター位置と該テスト・アーチファクトの前記物体空間における前記モニター位置とを比較して前記デジタル撮像システムの非直線歪を定量化するステップ

の各ステップを有して成ることを特徴とする方法。

【請求項 2】

前記視野が高さおよび幅を有し、前記テスト・アーチファクトが前記視野の高さまたは幅と略等しいか、またはそれより長い撮像可能な形体を有し、前記テスト・アーチファクトを相対移動させるステップが、該テスト・アーチファクトの前記撮像可能な形体が前記視野の高さおよび幅のいずれか一方の略全体に亘って延びる位置に該テスト・アーチファクトを相対移動させることを含んでいることを特徴とする請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

前記撮像可能な形体が前記テスト・アーチファクトの角度を成す 2 つの撮像可能な形体の 1 つであり、前記相対移動ステップが (a) 前記撮像可能な 2 つの形体の第 1 形体が前記視野の高さおよび幅のいずれか一方の略全体に亘って延びる位置に前記テスト・アーチファクトを移動させるステップ、および (b) 前記撮像可能な 2 つの形体の第 2 形体が前記視野の高さまたは幅の他方の略全体に亘って延びる位置に前記テスト・アーチファクトを移動させるステップの各ステップを有して成ることを特徴とする請求項 2 記載の方法。

【請求項 4】

前記角度を成す 2 つの撮像可能な形体が前記テスト・アーチファクトの 2 つの辺から成り、該 2 つの辺が略直交していることを特徴とする請求項 3 記載の方法。

【請求項 5】

前記変化を比較するステップが、前記テスト・アーチファクトの寸法精度とは無関係に前記デジタル撮像システムの非直線歪を定量化することを含んでいることを特徴とする請求項 1 記載の方法。

【請求項 6】

前記テスト・アーチファクトが一定の長さに亘って延びる撮像可能な形体を有し、前記テスト・アーチファクトを相対移動させるステップが、該テスト・アーチファクトを前記撮像可能な形体の長さに略垂直に平行移動させることを含んでいることを特徴とする請求項 1 記載の方法。

【請求項 7】

前記デジタル撮像システムが前記像空間にピクセル・アレイを有し、該像空間における前記テスト・アーチファクトの位置変化をモニターするステップが、前記撮像可能な形体の前記ピクセル・アレイにおける一連の位置の各々において撮像される一群のピクセルを識別することを含んでいることを特徴とする請求項 6 記載の方法。

【請求項 8】

前記物体空間における前記テスト・アーチファクトの前記モニター位置変化を前記ピクセル・アレイにおける前記撮像可能な形体の対応位置の前記各一群のピクセルに関連付け

10

20

30

40

50

るステップを更に有し、前記比較ステップが前記物体空間における前記テスト・アーチファクトの前記モニター位置変化に基づき、前記撮像可能な形体の予測位置を前記ピクセル・アレイにおける一群のピクセルとして算出し、前記撮像可能な形体が撮像される前記一群のピクセルと前記物体空間における前記撮像可能な形体の位置に対応する前記算出された一群のピクセルとを比較することを含んでいることを特徴とする請求項7記載の方法。

【請求項9】

デジタル撮像システムと移動ステージとを組み合わせたコンピュータ・ビジョン・システムの非直線歪を補償する方法であって、

撮像可能な形体を有するテスト・アーチファクトを前記デジタル撮像システムの視野に配置するステップ、

前記移動ステージを用いて、前記デジタル撮像システムに対し、前記撮像可能な形体と共に前記テスト・アーチファクトを該デジタル撮像システムの視野内の一連の異なる位置に相対移動させるステップ、

前記各位置において、(a)前記デジタル撮像システム内における前記撮像可能な形体の像位置をピクセル・アレイにおける一群のピクセルとして記録し、(b)前記デジタル撮像システムに対する前記撮像可能な形体の位置を座標空間における相対変位位置として記録するステップ、

前記デジタル撮像システムに対する前記座標空間における前記撮像可能な形体の相対位置に基づいて、該撮像可能な形体の予測像位置を算出するステップ、および

前記撮像可能な形体の予測像位置と記録像位置との差に基づいて前記視野に対する補正量を特定するステップ

の各ステップを有して成ることを特徴とする方法。

【請求項10】

前記座標空間における相対変位位置としての前記撮像可能な形体の位置を該座標空間における前記相対変位位置において前記撮像可能な形体が前記デジタル撮像システム内に撮像される前記各一群のピクセルに関連付けるステップを有して成ることを特徴とする請求項9記載の方法。

【請求項11】

前記視野の中心を識別するステップを有して成り、前記記録ステップが前記視野の中心近傍における前記撮像可能な形体の形状を記録することを含んでいることを特徴とする請求項9記載の方法。

【請求項12】

前記算出ステップが、前記視野の中心近傍における前記撮像可能な形体の前記記録された形状の算出変位に基づいて、前記視野の中心から離間した位置における前記撮像可能な形体の予測形状を算出することを含んでいることを特徴とする請求項11記載の方法。

【請求項13】

前記ピクセル・アレイにおけるピクセル変位を前記デジタル撮像システムに対する前記撮像可能な形体の相対変位にスケーリングするステップを有して成り、前記撮像可能な形体の前記記録された形状の算出変位が前記デジタル撮像システムに対する前記撮像可能な形体の相対変位にスケーリングされた前記ピクセル・アレイにおいてシフトされたピクセル数に基づいていることを特徴とする請求項12記載の方法。

【請求項14】

デジタル撮像システムと移動ステージとを組み合わせたコンピュータ・ビジョン・システムの歪を特定する方法であって、

前記デジタル撮像システムに対するアーチファクト形体の向きを計測するステップ、

前記移動ステージに対する前記アーチファクト形体の向きを計測するステップ、

前記デジタル撮像システムに対し、前記アーチファクト形体を該デジタル撮像システムの視野における一連の位置に相対ステップ移動させるステップ、

前記デジタル撮像システムに対する前記アーチファクト形体の関連位置変化を計測するステップ、

10

20

30

40

50

前記一連の位置の各々における前記デジタル撮像システム内の前記アーチファクト形体の形状を記録するステップ、

(a) 前記デジタル撮像システムに対する前記アーチファクト形体の計測向き、

(b) 前記移動ステージに対する前記アーチファクト形体の計測向き、および

(c) 前記デジタル撮像システムに対する前記アーチファクト形体の計測位置変化

に基づいて、前記デジタル撮像システム内における前記アーチファクト形体の予測形状を算出するステップ、および

前記アーチファクト形体の前記デジタル撮像システム内における前記記録形状と予測形状との差に基づいて、該デジタル撮像システムの歪を特定するステップ

の各ステップを有して成ることを特徴とする方法。

10

【請求項 15】

前記アーチファクト形体が線状形体を有して成り、前記アーチファクト形体の向きを計測するステップが前記線状形体の向きを計測することを含んでいることを特徴とする請求項 14 記載の方法。

【請求項 16】

前記線状形体が一定の長さに亘って延び、前記アーチファクト形体の相対ステップ移動ステップが該アーチファクト形体を前記線状形体の長さに対し略垂直の方向に移動させることを含み、前記線状形体の長さが前記視野の高さおよび幅方向のいずれか一方に略等しいかまたはそれより長いことを特徴とする請求項 15 記載の方法。

【請求項 17】

前記アーチファクト形体が角度を成す 2 つの線状形体を含み、前記視野が高さおよび幅を有し、前記線状形体の 1 つが前記視野の高さを越える長さを有し、該線状形体の別の 1 つが前記視野の幅を越える長さを有して成ることを特徴とする請求項 14 記載の方法。

20

【請求項 18】

前記デジタル撮像システムに対する前記アーチファクト形体の向きを計測するステップが、該デジタル撮像システムに対する該アーチファクト形体の 1 つの相対位置において、前記視野内における該該アーチファクト形体の 2 つの異なる部分の位置を比較することを特徴とする請求項 14 記載の方法。

【請求項 19】

前記移動ステージに対する前記アーチファクト形体の向きを計測するステップが、前記デジタル撮像システムに対する該アーチファクト形体の 2 つの異なる相対位置において、前記視野内における該該アーチファクト形体の 2 つの異なる部分の位置を比較することを特徴とする請求項 15 記載の方法。

30

【請求項 20】

前記視野内の 2 つの異なる位置において前記アーチファクト形体の前記 2 つの部分を計測すると共に、前記視野内の略同一位置において前記アーチファクト形体の前記 2 つの部分を計測することを特徴とする請求項 18 記載の方法。

【請求項 21】

前記アーチファクト形体が前記視野の中心に近づいたときのステージ位置を特定するステップを有して成り、前記デジタル撮像システム内における前記アーチファクト形体の予測形状の算出ステップが、該アーチファクト形体が前記視野の中心に近づいたときの前記ステージ位置に対する該アーチファクト形体の位置変化を参照することを特徴とする請求項 14 記載の方法。

40

【請求項 22】

コンピュータ・ビジョン・システムの非直線視野歪を補償するシステムであって、

視野内におけるアーチファクト形体を撮像する一連の光学素子を有するデジタル撮像システム；

前記デジタル撮像システムに対し、前記アーチファクト形体を相対移動させる移動ステージ；

前記デジタル撮像システムに対し、前記移動ステージを一連の異なる位置に相対移動さ

50

せる該移動ステージに関連したコントローラ；

前記一連の異なる位置における前記デジタル撮像システムに対する前記アーチファクト形体の相対変位を計測する計測器；および

(a) 前記アーチファクト形体の前記一連の異なる相対位置における前記視野内の該アーチファクト形体の一連の像を記録し、

(b) 前記アーチファクト形体の前記計測相対変位に基づいて、該アーチファクト形体の前記像の予測位置を算出し、

(c) 前記視野内における前記アーチファクト形体の前記一連の像の前記記録位置と予測位置とを比較することにより非直線視野歪を補償するための補正量を特定するプロセッサー

10

を有して成ることを特徴とするシステム。

【請求項 2 3】

前記アーチファクト形体が前記デジタル撮像システムの視野を二等分できる長さを有する撮像可能な辺を有して成ることを特徴とする請求項 2 2 記載のシステム。

【請求項 2 4】

前記撮像可能な辺が前記アーチファクト形体の角度を成す 2 つの撮像可能な辺の第 1 の辺であり、前記撮像可能な辺の第 2 の辺も前記視野を二等分できる長さを有し、前記第 1 および第 2 の辺が互いに直交していることを特徴とする 2 3 記載のシステム

【請求項 2 5】

前記移動ステージが、前記撮像可能な形体を前記デジタル撮像システムの対物面全体に亘り移動させる 2 つの軸に沿った移動を支持することを特徴とする請求項 2 2 記載のシステム。

【請求項 2 6】

前記移動ステージの前記軸の第 1 軸が前記アーチファクト形体の第 1 の辺に略一致し、該移動ステージの該軸の第 2 軸が該アーチファクト形体の第 2 の辺に略一致していることを特徴とする請求項 2 2 記載の方法。

【請求項 2 7】

前記コントローラが前記デジタル撮像システムに対し前記アーチファクト形体を該アーチファクト形体の前記第 2 の辺に略直交する前記第 1 移動軸に沿った一連の異なる位置に相対移動させると共に、前記デジタル撮像システムに対し前記アーチファクト形体を該アーチファクト形体の前記第 1 の辺に略直交する前記第 2 移動軸に沿った一連の異なる位置に相対移動させることを特徴とする請求項 2 6 記載のシステム。

30

【請求項 2 8】

前記デジタル撮像システムがピクセル・アレイを有し、前記視野内における前記アーチファクト形体の前記一連の像の位置を一群のピクセルによって識別し、前記プロセッサーが前記一連の異なる位置における前記アーチファクト形体の相対計測変位を対応する前記一群のピクセルに関連付けることを特徴とする請求項 2 2 記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は計測または比較のための試料片を正確に撮像するデジタル光学計測に関わるコンピュータ・ビジョン応用分野に関するものである。校正技術によって撮像システムの誤差に対処するものである。

【背景技術】

【0 0 0 2】

非直線視野歪は撮像試料の正確な計測または比較を要するコンピュータ視覚応用分野において特に厄介なものである。非直線視野歪は画像の鮮明度のような画質には影響を与えないが、画像の幾何学形状に影響を及ぼし、撮像試料の正確な寸法、形状および位置の特定を困難にする。

【0 0 0 3】

40

50

例えば、曲線歪は所謂“バレル”歪または“ピンクッシュョン”歪として現れる。視野の中心からの放射距離に応じて焦点距離が変化する。直線状の接線が曲線を成すのに対し、放射状の直線はそのまま直線を成す。画角が大きくなるに従い、“バレル”歪によって焦点距離が短くなり、“ピンクッシュョン”歪によって焦点距離が長くなる。試料を実縮尺画像として表示しないその他の歪には、視野の中心から倍率が変化する放射歪、方向によって倍率が変化するアナモフィック歪、およびセントレーション誤差による接線歪がある。

【0004】

試料を撮像する上において、このような非直線視野歪がもたらす深刻な問題は、寸法、形状、および位置歪である。視野内の位置に応じ、同じ試料が寸法または形状が異なって現れる。試料が視野内を移動した見掛け上の距離は実際に移動した距離と異なる。例えば、視野内における試料端部の位置や向き等の要因に応じ、視野の中心から見た試料端部の位置が実際の位置と異なる。

【0005】

このような非直線視野歪の計測および補正方法には、既知の寸法および形状を有する目盛り付きアーチファクトを使用する方法がある。目盛り付きアーチファクトを視野内の様々な場所に移動させ、計測した寸法および形状の偏差によって視野内の局部誤差を補正する。デジタル・カメラの場合には、ピクセル単位の補正量を記録するための参照テーブルが作成される。

【0006】

非直線視野歪を補償する別の方法に、目盛り付き格子を視野内に配置する方法がある。一般に、目盛り付き格子は視野全体に配置され、格子線の撮像位置と既知の位置とを比較することにより、目盛り付き格子のより正確な像を形成するのに必要な補正量が生成される。

【0007】

目盛り付きアーチファクトおよび格子の製造および検査には高額な費用が伴う。目盛り付きアーチファクトの精度によって、視野歪を補償するための補正精度が影響を受ける。倍率を種々変えて視野歪を計測するために多数のアーチファクトおよび格子を必要とする場合もある。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

コンピュータ・ビジョン・システムにおける撮像光学系の非直線歪をピクセル・アレイによって規定される表示ウインドウにおける補正量として定量化する。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明はデジタル撮像システムと、テスト・アーチファクトをデジタル撮像システムの視野内で相対移動させる移動ステージとを組み合わせたコンピュータ・ビジョン・システムに特に適している。1つ以上の好ましい実施の形態において、デジタル撮像システムと移動ステージとによってテスト・アーチファクトが個別に計測される。デジタル撮像システムを画像処理機能に関連付け、視野内におけるテスト・アーチファクトの位置またはその形体の位置をモニターし、移動ステージを移動ステージによって与えられたテスト・アーチファクトの相対変位を計測する計測器に関連付けることができる。視野内におけるテスト・アーチファクトの像を移動ステージの計測変位と比較することにより、歪に関連した誤差修正量を特定することができる。

【0010】

例えば、テスト・アーチファクトを移動ステージに載置し、視野内でステップ移動させることができる。前記テスト・アーチファクトの変位を像空間と物体空間の両方に記録し、それを比較することができる。デジタル撮像システムによって像空間におけるテスト・アーチファクトの変位が検出され、移動ステージに関連した計測器によって物体空間における前記アーチファクトの変位が検出されることが好ましい。前記移動ステージの計測器

10

20

30

40

50

精度および併行精度に比し誤差が著しく大きい場合、像空間および物体空間におけるスケーリングされた計測変位の差が前記撮像システムの誤差と見なされる。

【0011】

前記テスト・アーチファクトはサイズを問わない簡単な構造体であってよいが、撮像システムによって明確に撮像され得る1つ以上の辺を有していることが好ましい。例えば、前記校正アーチファクトは2つの直交する辺を有することができる。そのうちの1つの辺が前記撮像システムの最小実倍率において視野の1つの寸法全体に亘り、別の辺が同一実倍率において前記視野の前記1つの寸法に直交する寸法全体に亘っていることが好ましい。前記辺はいずれも直線を成していることが好ましいが、形状、直交傾斜、直角精度に許容誤差が認められる。

【0012】

(a) 画像フィールドの縦および横寸法、および(b) 移動ステージによる協調移動方向に対応する縦(Y軸)および横(X軸)座標系において、前記レチクルの辺を直線的な移動に略一致させることができる。例えば、縦辺をY軸に一致させ、横辺をX軸に一致させることができる。画像フィールドのY軸座標寸法の全体に亘る前記縦辺をX座標寸法方向に既知の増加量を持ってステップ移動することができ、前記画像フィールドのX軸座標寸法の全体に亘る前記横辺をY座標寸法方向に既知の増加量を持って独立してステップ移動することができる。前記辺の一連の位置を視野(像空間)において画像ピクセル単位で計測することができる。また、前記変位を移動ステージによって距離単位で計測することができる。辺にずれがなくまたは辺が真に直線であれば、前記辺が実際にそれぞれの方向にステップ変位されたときの各ステップにおいて、前記2つの辺に沿ったすべての点が画像ピクセル単位において同じだけ変位するはずである。辺のずれおよび辺の真直度からの逸脱問題が解消された後ににおける、ピクセル単位で測定した変位の差を視野歪と見なすことができる。

【0013】

例えば、漸進的に変位させた位置における縦および横辺の像空間の出現位置を特定した後、既知の変位増加量に基づいて、それらの出現位置を像が出現すべき位置と比較することができる。視野内のピクセルの各々を縦および横方向の補正に関連付け、計測された歪を補正したデジタル画像を再生することができる。

【0014】

デジタル撮像システムの非直線視野歪を定量化する方法としての本発明の実施の形態は、テスト・アーチファクトを光学的に撮像するデジタル撮像システムに対し、相対移動する位置に前記テスト・アーチファクトを載置するステップを含んでいる。前記デジタル撮像システムの視野全体に亘る前記テスト・アーチファクトの相対移動が2つの方法でモニターされる。第1に、前記デジタル撮像システムの像空間に現れる前記テスト・アーチファクトの位置がモニターされる。第2に、前記デジタル撮像システムの物体空間におけるテスト・アーチファクトの位置が前記テスト・アーチファクトに与えられた相対変位としてモニターされる。前記像空間に現れた前記テスト・アーチファクトのモニター位置変化を前記物体空間における前記テスト・アーチファクトのモニター位置変化と比較することにより、前記デジタル撮像システムの非直線視野歪を定量化することができる。

【0015】

コンピュータ・ビジョン・システムの非直線視野歪を補償する方法としての本発明の別の実施の形態におけるコンピュータ・ビジョン・システムは、デジタル撮像システムと移動ステージとを組み合わせたものである。撮像可能な形体を有するテスト・アーチファクトが前記デジタル撮像システムの視野内に配置される。前記移動ステージにより前記デジタル撮像システムに対し前記撮像可能な形体と共に前記テスト・アーチファクトが前記デジタル撮像システムの視野内の一連の異なる位置に相対移動される。前記各位置において、(a) 前記デジタル撮像システム内における前記撮像可能な形体の像位置がピクセル・アレイにおける一群のピクセルとして記録され、(b) 前記デジタル撮像システムに対する前記撮像可能な形体の位置が座標空間における相対変位位置として記録される。前記デ

ジタル撮像システムに対する前記撮像可能な形体の前記座標空間における相対位置に基づいて、前記撮像可能な形体の予測像位置が算出される。次いで、前記撮像可能な形体の前記予測像位置と記録像位置との差に基づいて視野に対する補正量が特定される。

【0016】

コンピュータ・ビジョン・システムの歪を特定する方法としての本発明の別の実施の形態におけるコンピュータ・ビジョン・システムもデジタル撮像システムと移動ステージとを組み合わせたものである。前記デジタル撮像システムおよび移動ステージに対するアーチファクト形体の向きがそれぞれ計測される。前記デジタル撮像システムに対し、前記アーチファクト形体が前記デジタル撮像システムの視野における一連の位置に相対ステップ移動される。また、前記デジタル撮像システムに対する前記アーチファクト形体の関連位置変化も計測される。前記一連の位置の各々における前記デジタル撮像システム内の前記アーチファクト形体の形状が記録される。(a)前記デジタル撮像システムに対する前記アーチファクト形体の計測向き、(b)前記移動ステージに対する前記アーチファクト形体の計測向き、および(c)前記デジタル撮像システムに対する前記アーチファクト形体の計測位置変化に基づいて、前記デジタル撮像システム内における前記アーチファクト形体の予測形状が算出される。次いで、前記アーチファクト形体の前記デジタル撮像システム内における前記記録形状と予測形状との差に基づいて、前記デジタル撮像システムの歪が特定される。

【0017】

コンピュータ・ビジョン・システムの非直線視野歪を補償するシステムとしての本発明の更に別の実施の形態は、視野内におけるアーチファクト形体を撮像する一連の光学素子を有するデジタル撮像システム、および前記デジタル撮像システムに対し、前記アーチファクト形体を相対移動させる移動ステージを備えている。前記移動ステージに関連したコントローラによって、前記移動ステージが前記デジタル撮像システムに対し一連の異なる位置に相対移動される。前記移動ステージに関連した計測器によって、前記一連の異なる位置における前記アーチファクト形体の前記デジタル撮像システムに対する相対変位が計測される。プロセッサーによって、(a)前記アーチファクト形体の前記一連の異なる相対位置における、前記視野内の前記アーチファクト形体の一連の像が記録され、(b)前記アーチファクト形体の前記計測相対変位に基づいて、前記アーチファクト形体の前記像の予測位置が算出され、(c)前記視野内における前記アーチファクト形体の前記一連の像の前記記録位置と予測位置とを比較することにより非直線視野歪を補償するための補正量が特定される。

【0018】

本発明は実施の形態を通し目盛り付きテスト・アーチファクトまたはテスト・グリッドを必要としないことを示している。事実、本発明の好ましいテスト・アーチファクトのサイズは特定されていないか、またはある程度その精度が分かっているとしても、撮像システムの歪の定量化はそれに依存しない。また、好ましいテスト・アーチファクトは、画像歪を明らかにするための直角を成す2つの辺を有する矩形のような簡単な形状を成している。2つの辺はそれぞれ直交する視野の寸法の1つを二等分することにより、2つの寸法方向における歪情報を効率的に収集できることが好ましい。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

図1に示すように、本発明の改良の対象となるコンピュータ・ビジョン・システム10は、デジタル撮像システム12、およびテスト・アーチファクト16をデジタル撮像システム12の視野内で相対移動させる移動ステージ14を備えている。図2に示すように、テスト・アーチファクト16は、互いに直交し略直線を成す2つの辺18、20を有する方形クロムから成る照準レチクルである。横辺18は(図2の平面に示すように)デジタル撮像システム12のビデオ画面22のX座標軸に略一致し、縦辺20は(図2の平面に示すように)ビデオ画面22のY座標軸に略一致している。方形アーチファクト16の正確な寸法を知る必要はないが、デジタル撮像システム12の倍率が最も小さいとき、X座

10

20

30

40

50

標軸およびY座標軸に沿ってビデオ画面22を完全に二等分できる大きさを有していることが好ましい。

【0020】

移動ステージ14は、方形アーチファクト16を載置し、ビデオ画面22のX座標軸およびY座標軸に一致している方形アーチファクト16に2つの移動軸を提供する載置面24を備えている。X座標軸に沿った平行移動ステージ26の移動量を計測するための位置フィードバック情報を提供する計測器を備えた第1駆動部28の制御の下に、第1平行移動ステージ26により方形アーチファクト16がX座標軸に沿って移動する。Y座標軸に沿った平行移動ステージ30の移動量を計測するための位置フィードバック情報を提供する計測機器を備えた第2駆動部32の制御の下に、第2平行移動ステージ30により方形アーチファクト16がY座標軸に沿って移動する。平行移動ステージ26、30を支持している基体36内部の光源34が載置面24を照らすことにより、デジタル撮像システム12が方形アーチファクト16の辺18、20に正確に焦点を合せることができる。

【0021】

デジタル撮像システム12は、基体36から上部に延びる柱脚38から突出している片持ち梁に支えられたデジタル・カメラ40、および同様に支持され、対物面44上の方形アーチファクト16の光が照射された辺をデジタル・カメラ内の映像面48のピクセル・アレイ検出器46に結像する対物レンズ42を備えている。ピクセル・アレイ検出器46のサイズはビデオ画面22のサイズに対応し、対物面44上の方形アーチファクト16の所定の倍率に応じて視野を限定する。解像度はピクセル・アレイのピクセル数、例えば、 640×480 によって一部決定される。デジタル・カメラ40は柱脚38のZ軸に沿って平行移動することができ、自由に焦点を合せることができる。

【0022】

コントローラ50は、コンピュータ・プロセッサー52の指示の下に、移動ステージ14の動作を制御することにより、2つの座標軸X、Yに沿った一連の位置に方形アーチファクト16を自由に平行移動させることができる。座標軸X、Yに関連した機器によって、ステージ26、30の良好な移動制御、および対物面44上の方形アーチファクト16の移動量と映像面48に現れた方形アーチファクト16の移動量との関連付けに用いることができる位置フィードバック情報を提供される。

【0023】

プロセッサー52は、(a)対物面44上のアーチファクト16の一連の移動位置における映像面48上のアーチファクトの辺18、20の位置記録、(b)対物面44上におけるアーチファクト16の計測変位に基づく映像面48上のアーチファクトの辺18、20の位置予測、および(c)映像面48上のアーチファクトの辺18、20の記録位置と予測位置とを比較してデジタル撮像システム12の非直線視野歪を補償するための補正量の特定を含む多くの機能を果たす。計測対象ピクセルの誤差補正量を参照テーブルに記録することができる。補間法を用いて別のピクセルの誤差補正量を求めることができる。

【0024】

プロセッサー52の前記に係る動作の一例を説明するフローチャートを図3～5に示す。データ取得ルーチンの前半部を図3に示す。データ取得ルーチンは、例えば、X座標軸に沿った640ピクセルとY座標軸に沿った480ピクセルとのマトリックの限定を含むピクセル・アレイ検出器40を限定する初期化ステップ60から始まる。ステップ62において、図2に示すように“照準レチクル”と呼ぶ方形テスト・アーチファクト16の辺18と20とが交差する右上隅を視野の中心に配置する。コンピュータ・プロセッサー52に接続されているビデオ・ディスプレイ54は、方形アーチファクト16を視野内の希望する位置に誘導するためのグラフィックスを備えている。

ステップ64において、ピクセル・アレイのサイズおよび、2つの座標方向におけるピクセル・サイズを概略特定する。移動ステージにより2つの座標軸X、Yに沿って辺18、20を一定量ずつ変位させ、2つの辺18、20の限定領域に沿って対応するピクセルの変位を計測する。視野は従前に行われ保存されている計測器の簡単な(線形)校正に基

10

20

30

40

50

づいて近似することができる。あるいは、使用光学部品の公称倍率（即ち、光学仕様）に基づいて近似することができる。ステップ 6 6 において、X、Y 座標軸に対する 2 つの辺 1 8、2 0 の傾斜を概略決定する。X 座標軸に対する横辺 1 8 の傾斜を計測するため、辺 1 8 を、ビデオ画面 2 2 の視野を水平に二等分する位置に移動させる。ビデオ画面 2 2 の対向する側縁 5 5、5 6 近傍における Y 座標軸に沿った辺 1 8 のピクセル変位を定量変位間のピクセル距離と比較することにより横辺 1 8 の傾斜を推定する。同様に、縦辺 2 0 をビデオ画面 2 2 の視野を垂直に二等分する位置に移動し、ビデオ画面 2 2 の上縁および下縁 5 7、5 8 近傍における縦辺 2 0 の相対変位を計測することにより Y 座標軸に対する縦辺 2 0 の傾斜も推定する。

【0025】

前記予備計測により、視野全体に亘り漸進的に変位させた位置における辺 1 8、2 0 の形状データを取得開始するために必要な情報が十分収集されたことになる。ステップ 6 8 において、ビデオ画面 2 2 の 1 つの側縁 5 6 の近傍から縦辺 2 0 を漸進的に変位させた位置を記録するシーケンスが開始される。判定ステップ 7 0 において、縦辺 2 0 が視野の中心に近づきつつあるか否を判定し、そうであれば、ステップ 7 2 において、縦辺 2 0 が視野の中心の両側において等量変位するよう標準の変位増加量が変更される。判定ステップ 7 4 において、縦辺 2 0 がビデオ画面 2 2 の対向する側縁 5 5 に近づきつつあるか否が判定され、そうであれば、ステップ 7 6 によって縦辺 2 0 が側縁 5 5 を越えて移動されないようにする。また、そうでなければ、ステップ 7 8 によって視野を横断して縦辺 2 0 を標準の変位増加量をもって変位させる。

【0026】

ステップ 8 0 において、コントローラ 5 0 がこれまでのステップによって特定された変位を実行するための命令が算出される。これまでのステップによって特定された推定ピクセル・サイズを用いてピクセルの変位がステージ移動量に変換される。実際のデータ収集はステップ 8 2 において行われる。平行移動ステージ 2 6 を次の位置に移動し、平行移動ステージ 2 6 が静止した後、ステージ位置が検索され、従来の弱エッジ・アルゴリズムと呼ばれる検出手段を適用してピクセルを識別することにより縦辺 2 0 を検出する。

【0027】

判定ステップ 8 4 において、縦辺 2 0 の検出情報が十分識別されたか否かが問われる。この場合、少なくとも 9 0 % のエッジ情報が識別されることが好ましい。側縁 5 5、5 6 の近傍において、縦辺 2 0 の傾斜により、縦辺 2 0 に沿った点にまたがるピクセル数が前記処理アルゴリズムの閾値未満に減じられることがある。少なくとも 9 0 % のエッジ情報が検出されなかった場合には、判定ステップ 8 6、8 8 において、縦辺 2 0 が側縁 5 5 または 5 6 の近傍にあるか否かが確認される。この理由は、もし近傍になければエラーが発生していることになるからである。ステップ 9 0、9 2 において、少なくとも 9 0 % のエッジ情報が得られるまで、小さな増加量をもって側縁 5 5 または 5 6 から縦辺 2 0 が移動される。判定ステップ 9 6 において、処理が判定ステップ 7 0 に戻され、縦辺 2 0 が対向する縁部 5 5 に到達してスキャンが終了するまで、別の変位増加量をもって縦辺 2 0 が変位される。

【0028】

データ取得ルーチンの後半部が図 4 に示してある。フローチャートのステップ 1 0 2 からステップ 1 0 4 に至るブロック 1 0 0 は、横辺 1 8 を Y 座標軸に沿って視野をスキャンするシーケンスであって、データ収集ルーチンの前半部のステップ 6 8 ~ 9 6 に対応している。横辺 1 8 を漸進的に変位させたときの移動ステージ 1 4 の位置および横辺 1 8 が検出される方向に沿ったピクセル位置が記録される。

【0029】

判定ステップ 1 1 0 において、デジタル撮像システム 1 2 が初期状態である最大倍率で動作しているか否かが判定され、そうであれば、ステップ 1 1 2 から始まる図 5 のフローチャートに詳細に示すように、照準レチクルと呼ばれる矩形アーチファクト 1 6 の傾斜をより精密に計測する。図 2 に示すように、ステップ 1 1 4 において、矩形アーチファクト

10

20

30

40

50

16の右上隅を視野の中心に移動する。全体をブロック116で示す一連のステップにより、視野の中心を跨ぐ20の異なるステージ位置において、テスト・アーチファクト16の右上隅近傍の縦辺20に沿った50箇所の位置情報を収集する。収集したデータを平均し、縦辺20の上端部の正確な位置を決定する。

ステップ118において、テスト・アーチファクト16をY軸に沿って右下隅が視野の中心にくるまで縦方向に平行移動させる。平行移動した距離を記録しておく。ステップ120において、ブロック116のステップを繰り返して縦辺20の下端部の正確な位置を決定する。ステップ122において、縦辺の両端部（即ち、テスト・アーチファクト16の右上隅および右下隅）の水平計測変位および両端部間の垂直計測距離に基づいて縦辺20の傾斜を正確に算出する。同様の計測により横辺18の傾斜を求めることができる。あるいは、横辺18と縦辺20とが（望ましくは）厳密に直角を成していることが分かっている場合には、直交する座標軸XおよびYに対し同じ傾斜を成していると見なすことができる。

【0030】

ステップ130において、（a）X座標軸に沿った移動ステージ14の計測水平変位における視野内の縦辺20の形状を表す縦線データ、（b）Y座標軸に沿った移動ステージ14の計測垂直変位における視野内の横辺18の形状を表す横線データ、および（c）XおよびY座標軸に対する横辺18および縦辺20の傾斜を含むこれまでのステップにおいて取得されたデータに基づいて補正データを生成する。

【0031】

映像面48におけるピクセル単位の2つの辺18および20の変位を対応するアーチファクト16の対物面44における距離単位の変位と比較することによりピクセル・サイズをより正確に推定する。収集データが多いことから、ピクセル・サイズの特定に当たり、カメラ・ノイズの影響が低減される。デジタル撮像システム12の水平歪を計測する場合、視野の中心に最も近い縦線データが最も歪の少ない（即ち、辺20の形状を最もよく表している）データとして扱われる。この縦線データに対し計測された傾斜が補償され、傾斜がない場合の辺20の形状を表すデータが作成される。

【0032】

傾斜が補償された主線データ、アーチファクト16の計測水平変位、および推定ピクセル・サイズに基づき、アーチファクト16の計測変位位置におけるデジタル撮像システム12の視野内における縦辺20がどのように出現すべきであったかを示す新たな縦線データが予測される。この予測値と実際の縦線データとの差がデジタル撮像システム12の水平歪値として扱われる。計測縦変位位置における横辺18の形状に関わる同様の予測値を生成しデジタル撮像システム12の垂直歪を計測することができる。

【0033】

例えば、好ましい実施の形態において、主線データと視野内における別の計測線データ間のアーチファクト16のステージ変位が特定される。算出したピクセル・サイズおよび簡単な変換により、主線データをその位置に変位させた場合、視野内において主線データがどのように現れるかを予測することができる。計測線データと予測線データとの差が直接デジタル撮像システム12の局部歪量となる。

【0034】

横線および縦線の計測および予測データをデジタル・カメラ40のピクセル・アレイにおけるピクセル値で表すことができる。各々のピクセルはピクセル・マトリックスにおける位置を示す水平および垂直成分を有している。また、計測された各ピクセルはピクセル・アレイにおける実際の位置と撮像システム12の光学歪を除いた予測位置との差に基づく少なくとも1つの水平または垂直補正量に関連付けられている。補正量は平均を取るか、または隣接するピクセルの値に基づいてフィルター処理することができる。所定の倍率における補正量を記憶する参照テーブルを生成することができる。

【0035】

判定ステップ130において、デジタル撮像システムが最小倍率で動作しているか否か

10

20

30

40

50

が判定され、そうでなければ、ステップ 134において処理を続行し、更に倍率が小さいときの新たなデータを取得し新たな補正量が生成される。計測と計測との間にアーチファクト 16 の位置をずらさない限り、再度傾斜を計測する必要はない。各々の倍率における同様の参照テーブルを生成することができる。最小倍率における補正量の記録が終了するとデータの取得が終了する。

【0036】

補正量を用いて考察画像の形状を再構成することにより、コンピュータ・ビジョン・システム 10 における計測または比較のための新たな画像から非直線歪に関連した誤差が除去される。例えば、考察ピクセルの X および Y 座標軸の値がそれぞれ 330 および 200 であり、その補正量がそれぞれ -10 および 5 である場合、計測上において X および Y 座標軸の値がそれぞれ 320 および 205 であるとして扱われる。考察ピクセルに補正量が与えられていない場合、補正量が与えられている周囲のピクセルに基づいて、補間法を用いて補正量を算出することができる。

【0037】

テスト・アーチファクト 16 を矩形で示したが、別の形状も可能である。しかし、少なくとも 1 つの略直線状の辺を有していることが好ましく、最小倍率において、視野全体を二等分することができる 2 つの直交する辺を有していることが更に好ましい。移動ステージ 14 は 2 つの直線軸運動を支持することが好ましい。しかし、回転軸および平行移動軸の組合せを含む付加的または代替軸運動を用いることもできる。本実施の形態における水平および垂直配向、および関連座標軸は相対直交配向を意図したものであり、デジタル撮像システム 12 および移動ステージ 14 を特定の空間配向に限定するものではない。

【0038】

移動ステージ 16 によって支持される 2 つの直交平行移動軸は、ビデオ画面 22 の X および Y 座標軸に正確に一致していることが好ましい。しかし、視野内において 1 つの移動軸に沿って物理的に移動した 2 つの位置においてアーチファクト 16 の同じ点を比較することによりそれを計測することができる。また、移動ステージ 14 の移動計測距離が正確であることを前提としている。更に、前記前提を支持するため、または既知の誤差を補償するための校正を実施することができる。

【0039】

好ましい実施の形態を通して本発明を詳細に説明したが、本発明の教示は一般的な非直線視野歪の定量化に適用可能であり、特にデジタル撮像システムとその視野内において試料を移動させるための移動ステージとを組み合わせたビジョン・システムに適している。移動ステージは試料またはデジタル撮像システムを移動させるための 1 つ以上の軸を有することができる。

【図面の簡単な説明】

【0040】

【図 1】デジタル撮像システムの非直線視野歪を定量化するために、デジタル撮像システムの視野内の移動ステージにテスト・アーチファクトを載置したコンピュータ・ビジョン・システムのレイアウトを示す側面図。

【図 2】検出器アレイによってサンプリングされる矩形テスト・アーチファクトを視野にオーバーレイした図。

【図 3】第 1 座標軸に沿ったテスト・アーチファクトの変位データを含む、データ取得システムを説明するためのフローチャートの一部。

【図 4】第 2 座標軸に沿ったテスト・アーチファクトの変位データを含む、データ取得システムを説明するためのフローチャートの別の一部。

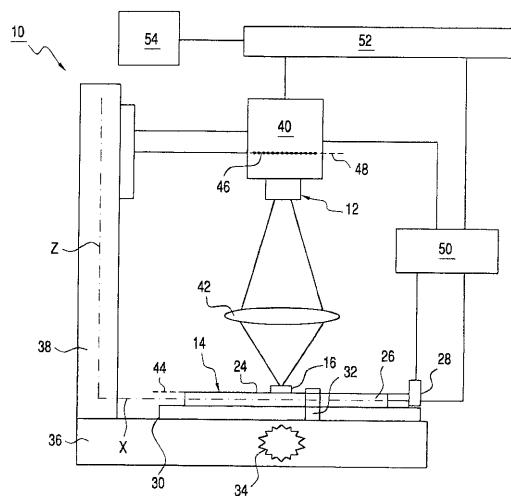
【図 5】2 つの座標軸に対するテスト・アーチファクトの傾斜を特定するプロセスを説明するためのフローチャート。

【符号の説明】

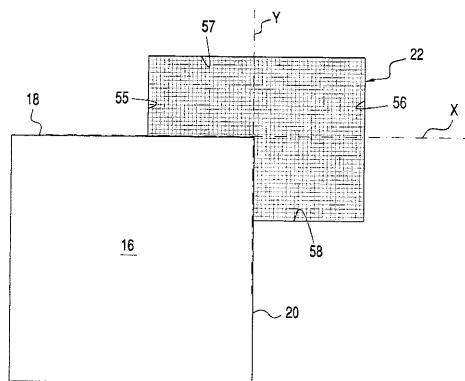
【0041】

1 2	デジタル撮像システム
1 4	移動ステージ
1 6	テスト・アーチファクト
1 8	横辺
2 0	縦辺
2 2	ビデオ画面
2 4	載置面
2 6	第1平行移動ステージ
2 8	第1駆動部
3 0	第2平行移動ステージ
3 2	第2駆動部
3 4	光源
4 0	デジタル・カメラ
4 2	対物レンズ
4 4	対物面
4 6	ピクセル・アレイ検出器
4 8	映像面
5 0	コントローラ
5 2	コンピュータ・プロセッサー
5 4	ビデオ・ディスプレイ

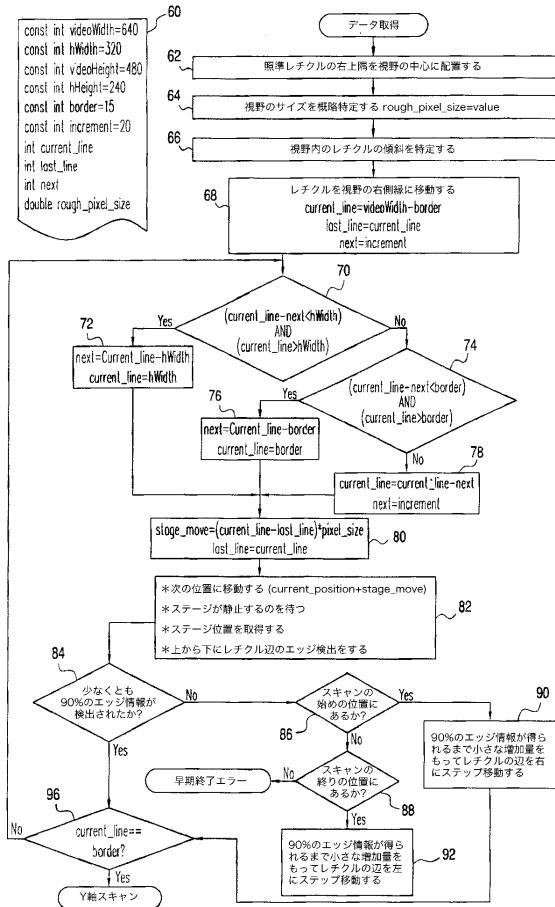
【図1】



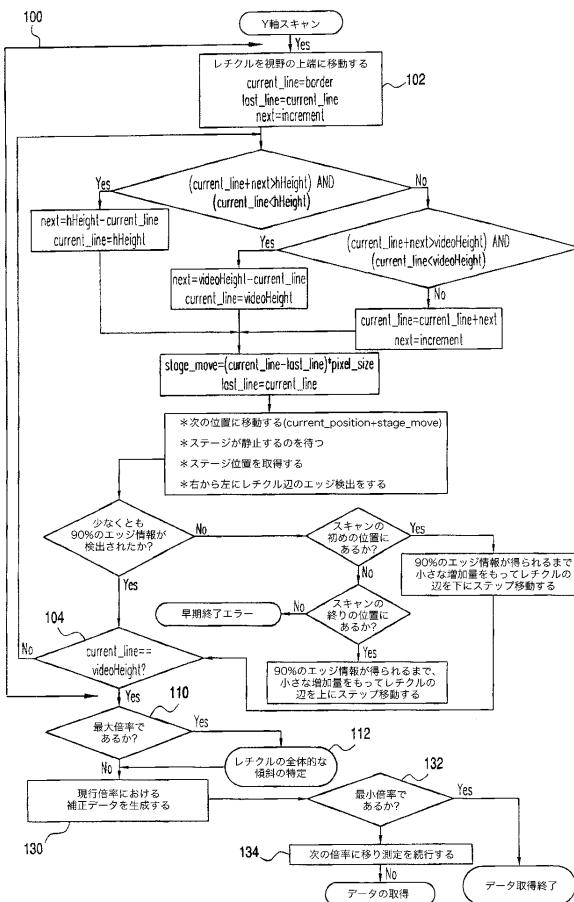
【 図 2 】



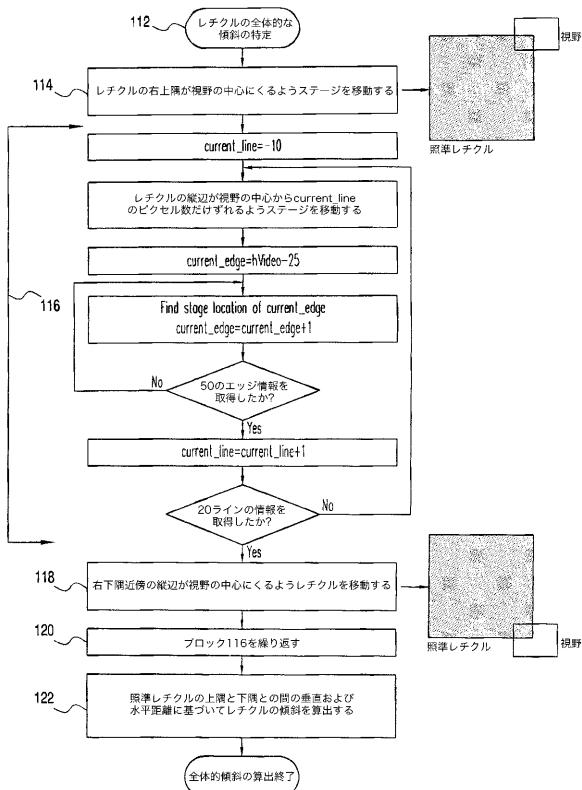
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 カール ダヴィソン - ソーカル

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 14607 ロチェスター コーネル ストリート 32

(72)発明者 スコット デイヴィス

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94568 ダブリン ハシエンダ ドライブ 5050

F ターム(参考) 2F065 AA03 AA09 AA20 BB27 CC18 EE08 FF04 FF41 JJ03 JJ26

PP02 PP12 QQ00 QQ03 QQ28

5C122 DA01 DA12 EA32 FK23 GD11 HB01