

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4501481号
(P4501481)

(45) 発行日 平成22年7月14日(2010.7.14)

(24) 登録日 平成22年4月30日(2010.4.30)

(51) Int.Cl.

F I

H O 4 N 5/74 (2006.01)
G O 6 T 3/00 (2006.01)H O 4 N 5/74 D
G O 6 T 3/00 1 0 0

請求項の数 13 (全 35 頁)

(21) 出願番号 特願2004-82715 (P2004-82715)
 (22) 出願日 平成16年3月22日(2004.3.22)
 (65) 公開番号 特開2005-269528 (P2005-269528A)
 (43) 公開日 平成17年9月29日(2005.9.29)
 審査請求日 平成19年3月20日(2007.3.20)

(73) 特許権者 000002369
 セイコーエプソン株式会社
 東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
 (74) 代理人 100095728
 弁理士 上柳 雅誉
 (74) 代理人 100107261
 弁理士 須澤 修
 (72) 発明者 山田 喜士
 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコ
 ーエプソン株式会社内

審査官 ▲徳▼田 賢二

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マルチプロジェクションシステムのための画像補正方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数のプロジェクタから各々投影される投影画像を用いて投影面に画像を表示するマルチプロジェクションシステムに用いる画像補正方法であって、

前記複数のプロジェクタのうちの各プロジェクタから投影される投影画像の投影位置を補正することに用いられ且つ特徴部を有するパターン画像を、前記各プロジェクタから前記投影面に投影するステップと、

前記投影されたパターン画像を撮像したパターン撮像画像を得るステップと、

前記パターン撮像画像における前記特徴部の座標位置と、前記各プロジェクタでの前記パターン画像における前記特徴部の座標位置との対応付けを行うステップと、

前記対応付けに基づいて、前記各プロジェクタから投影される投影画像の投影位置を補正するステップと、

前記複数のプロジェクタのうちの少なくとも一のプロジェクタから投影される前記パターン画像の特徴部の密度分布を、当該パターン画像内の特定領域における前記特徴部の密度が前記特定領域以外の領域における前記特徴部の密度よりも高くなるように設定するステップと、

を有することを特徴とするマルチプロジェクションシステムに用いる画像補正方法。

【請求項2】

請求項1に記載のマルチプロジェクションシステムに用いる画像補正方法において、前記対応付けは幾何学的な対応付けであって、

前記対応付けに基づいて幾何補正関数を作成するステップを有し、

前記投影画像の投影位置を補正するステップにおいて、前記作成された幾何補正関数を用いて前記各プロジェクタから投影される投影画像の投影位置を補正することを特徴とするマルチプロジェクションシステムに用いる画像補正方法。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 記載のマルチプロジェクションシステムに用いる画像補正方法において、

前記特徴部の密度は、前記特定領域における単位面積当たりの特徴部の数であることを特徴とするマルチプロジェクションシステムに用いる画像補正方法。

【請求項 4】

10

請求項 1 から 3 のいずれかに記載のマルチプロジェクションシステムに用いる画像補正方法において、

前記特定領域は、前記複数のプロジェクタのうちの少なくとも一のプロジェクタから投影されるパターン画像と前記複数のプロジェクタのうちの前記一のプロジェクタ以外のプロジェクタから投影されるパターン画像とが前記投影面で重なり合う重なり領域であることを特徴とするマルチプロジェクションシステムに用いる画像補正方法。

【請求項 5】

請求項 1 から 3 のいずれかに記載のマルチプロジェクションシステムに用いる画像補正方法において、

前記特定領域は、前記投影面に投影された前記パターン画像のエッジ部を含む境界領域であることを特徴とするマルチプロジェクションシステムに用いる画像補正方法。

20

【請求項 6】

請求項 4 記載のマルチプロジェクションシステムに用いる画像補正方法において、

前記当該パターン画像内の特定領域における前記特徴部の密度が前記特定領域以外の領域における前記特徴部の密度よりも高くなるように設定するステップにおいて、

前記重なり領域における前記特徴部の密度を、前記一のプロジェクタから投影されるパターン画像に注目したときに、該注目したプロジェクタのパターン画像において前記一のプロジェクタ以外のプロジェクタから投影されるパターン画像が重なり合う重なり領域の数が多いほど高く設定することを特徴とするマルチプロジェクションシステムに用いる画像補正方法。

30

【請求項 7】

請求項 2 に記載のマルチプロジェクションシステムに用いる画像補正方法において、

前記幾何補正関数の評価を行うステップと、

前記評価に基づいて、前記特徴部の密度分布を変更させて前記パターン画像の更新を行うステップと、

を有し、

前記幾何補正関数を作成するステップにおいて、前記更新されたパターン画像に基づいた前記幾何補正関数の作成を行うことを特徴とするマルチプロジェクションシステムに用いる画像補正方法。

【請求項 8】

40

請求項 1 から 7 のいずれかに記載のマルチプロジェクションシステムに用いる画像補正方法において、

前記パターン画像に含まれる特徴部の位置を変化させ、前記特定領域における前記特徴部の密度が前記特定領域以外の領域における前記特徴部の密度よりも高くなるように設定することを特徴とするマルチプロジェクションシステムに用いる画像補正方法。

【請求項 9】

請求項 7 または 8 記載のマルチプロジェクションシステムに用いる画像補正方法において、

前記パターン画像に含まれる特徴部を追加または削除することにより、前記特定領域における前記特徴部の密度が前記特定領域以外の領域における前記特徴部の密度よりも高く

50

なるように設定することを特徴とするマルチプロジェクションシステムに用いる画像補正方法。

【請求項 10】

請求項 2 または 7 から 9 のいずれかに記載のマルチプロジェクションシステムに用いる画像補正方法において、

前記幾何補正関数は、前記パターン画像に含まれる特徴部の各プロジェクタの座標位置と、前記パターン画像が前記投影面に投影されたときの前記パターン画像に含まれる特徴部の前記投影面の座標位置との間の幾何学的な対応関係および幾何補正関数を用いた最小 2 乗法に基づいて作成されることを特徴とするマルチプロジェクションシステムに用いる画像補正方法。

10

【請求項 11】

請求項 1 から 10 のいずれかに記載のマルチプロジェクションシステムに用いる画像補正方法において、

前記パターン画像に含まれる特徴部は、当該パターン画像における輝度差又は色差によるエッジ、前記エッジの交点、輝度情報又は色情報のピーク値、前記輝度情報又は色情報の重心の少なくともいずれかであることを特徴とするマルチプロジェクションシステムに用いる画像補正方法。

【請求項 12】

複数のプロジェクタから投影される複数の投影画像を用いて投影面に画像を表示するマルチプロジェクションシステムに用いる画像補正装置であって、

20

前記複数のプロジェクタのうちの各プロジェクタから投影される投影画像の投影位置を補正することに用いられ且つ特徴部を有するパターン画像であって前記各プロジェクタから投影された前記パターン画像を撮像したパターン撮像画像における前記特徴部の座標位置と、前記各プロジェクタでの前記パターン画像における前記特徴部の座標位置との対応付けを行う投影領域算出手段と、

前記対応付けに基づいて、前記各プロジェクタから投影される投影画像の投影位置を補正する画像処理手段と、

前記複数のプロジェクタのうちの少なくとも一のプロジェクタから投影される前記パターン画像の前記特徴部の密度分布を、当該パターン画像内の特定領域における前記特徴部の密度が前記特定領域以外の領域における前記特徴部の密度よりも高くなるように設定可能なパターン画像生成手段を有することを特徴とするマルチプロジェクションシステムに用いる画像補正装置。

30

【請求項 13】

第 1 のプロジェクタから投影される投影画像の一部と第 2 のプロジェクタから投影される投影画像の一部とが重なり合う重なり領域を有した状態で少なくとも前記第 1 および第 2 のプロジェクタが投影する 2 つの投影画像によって一つの画像を投影面に表示するマルチプロジェクションシステムであって、

前記第 1 および第 2 のプロジェクタと、

前記第 1 および第 2 のプロジェクタから投影される投影画像の投影位置を補正することに用いられ且つ特徴部を有するパターン画像であって当該第 1 および第 2 のプロジェクタから投影された前記パターン画像を撮像したパターン撮像画像における前記特徴部の座標位置と、前記第 1 および第 2 のプロジェクタでの前記パターン画像における前記特徴部の座標位置との対応付けを行う投影領域算出手段と、

40

前記対応付けに基づいて、前記第 1 および第 2 のプロジェクタから投影される投影画像の投影位置を補正する画像処理手段と、

前記第 1 および第 2 のプロジェクタのうちの少なくともいずれかのプロジェクタから投影される前記パターン画像の前記特徴部の密度分布を、当該パターン画像内の特定領域における前記特徴部の密度が前記特定領域以外の領域における前記特徴部の密度よりも高くなるように設定可能なパターン画像生成手段と、

を有することを特徴とするマルチプロジェクションシステム。

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、マルチプロジェクションシステムのための画像補正方法、マルチプロジェクションシステムのための画像補正装置およびマルチプロジェクションシステムに関する。

【背景技術】

【0002】

投影光学ユニット（プロジェクタとする）を、水平方向または垂直方向にそれぞれ複数、または、水平方向と垂直方向にそれぞれ複数配置し、これらの複数のプロジェクタからの投影画像をスクリーン上にタイリング投影することにより、1つの大画面画像を表示することのできるマルチプロジェクションシステムが知られている。なお、タイリング投影とは、複数のプロジェクタの各投影領域をスクリーン上でタイル状に配置して、1つの大画面画像の表示を可能とする投影方式である。

10

【0003】

このようなマルチプロジェクションシステムは、高精細かつ高輝度の画像を表示することができるため、映画館、美術館、博物館、セミナー会場、集会場、ミニシアター、公共機関、企業などの業務用分野やアミューズメント、ホームシアターなどの家庭用分野において今後広く普及されていくことが期待されている。

【0004】

このマルチプロジェクションシステムでは、複数のプロジェクタから投影される画像（単位画像という）が幾何学的に矛盾しないようにそれぞれの画像を投影する必要がある。このため、従来より、複数のプロジェクタから投影される単位画像同士の整合性を取るための様々な技術が提案されてきている。

20

【0005】

また、このマルチプロジェクションシステムでは、隣接するプロジェクタからの投影画像をスクリーン上で一部に重なり合う領域（以下では重なり領域という）を有した状態で表示させることが従来から一般的に行われている。

【0006】

このように、スクリーン上で一部に重なり領域を有した状態で表示させる場合、各プロジェクタから投影する画像データの各プロジェクタ上の表示領域とスクリーン上における各プロジェクタの投影領域との幾何補正関数を算出し、その幾何補正関数と画像データから、投影すべき画像データがスクリーン上で適切に投影されるような幾何補正済み画像データを生成して、この幾何補正済み画像データを各プロジェクタから投影することが行われている。

30

【0007】

このとき、各プロジェクタ間の重なり領域において、幾何補正関数の精度が不十分であると、この重なり領域内で画像のボケが発生し、マルチプロジェクションシステムでの投影画像の品質を大きく損なうこととなる。

【0008】

上述したような、隣接するプロジェクタからの投影画像をスクリーン上で一部に重なり合う領域（以下では重なり領域という）を有した状態で表示させる場合における重なり領域の画像品質の改善を行う技術は従来から種々提案されている。たとえば、特許文献1から3もその例である。

40

【0009】

特許文献1は複数のプロジェクタからスクリーン上にパターン画像を投影し、スクリーン上に投影されたパターン画像をカメラで撮影し、元のパターン画像と撮影によって得られたパターン画像とに基づいて各プロジェクタの投影位置を算出するというものである。

【0010】

また、特許文献2は複数のプロジェクタからスクリーン上にパターン画像を投影し、スクリーン上に投影されたパターン画像をカメラで撮影し、元のパターン画像と撮影によ

50

て得られたパターン画像とに基づいて各プロジェクタの投影する画像とスクリーン上の投影領域との幾何変形関数を算出するものである。さらに、この特許文献2には、プロジェクタ単体の投影領域を小領域に分割し、個々の小領域ごとに幾何変数関数を算出する方法が提示されている。

【0011】

また、特許文献3は複数のプロジェクタからスクリーン上にキャリブレーションパターン画像を投影し、スクリーン上に投影されたキャリブレーションパターン画像をカメラで撮影し、そのキャリブレーションパターン画像と撮影によって得られたキャリブレーションパターン画像とに基づいて各プロジェクタの投影する画像の画像補正データを算出するものである。また、この特許文献3に記載のキャリブレーションパターン画像は、マーカまたはグラデーションを有し、そのマーカまたはグラデーションの輝度値から算出した重心を用いて画像補正データを算出する。

【特許文献1】特開平9-326981号公報

【特許文献2】特開2002-72359号公報

【特許文献3】特開2003-219324号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

上述した特許文献1は、重なり領域に関する処理については、重なり領域の輝度が重なり領域以外に比べて高くなることを考慮した輝度調整処理のみを施すものあり、重なり領域において前述したような幾何学的な補正はなされない。このように、特許文献1では、重なり領域における幾何学的な補正がなされず、輝度の調整処理だけであるので、重なり領域における幾何学的整合性を取ることは難しく、重なり領域の画像のボケを解消することはできない。

【0013】

また、特許文献2は、プロジェクタの投影領域を小領域に細分化することで幾何変数関数を算出するようにしている。このため、幾何補正関数の算出に多くの計算量を要し、処理時間の増大につながる。加えて、この特許文献2では、スクリーン上におけるプロジェクタの投影領域をどのように小領域に分割するのが提示されていない。このため、適切な幾何変数関数の精度を得るには、投影領域をどの程度、細分化すればよいかがわからず、この特許文献2では、如何に少ない演算量でより適切な幾何変数関数を得るという目的を達成するのは困難であると考えられる。

【0014】

また、特許文献3は、その中に記載されているキャリブレーションパターン画像としてのマーカやグラデーションは、重なり領域のような特定領域に注目したものではないため、重なり領域の画像のボケを解消することはできない。

【0015】

本発明は、マルチプロジェクションシステムを構成する複数のプロジェクタのそれぞれの投影領域の重なり領域に関する幾何補正関数の精度を向上させることで高品質な大画面画像表示を可能とするマルチプロジェクションシステムのための画像補正方法、マルチプロジェクションシステムのための画像補正装置およびマルチプロジェクションシステムを提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0016】

(1) 本発明のマルチプロジェクションシステムのための画像補正方法は、複数のプロジェクタが投影するパターン画像に含まれる特徴の前記各プロジェクタの表示領域における位置と、前記複数のプロジェクタから投影面上に投影されるパターン画像を撮影して得られるパターン撮影画像に含まれる特徴の前記各プロジェクタの投影領域における位置との幾何学的な対応付けを行って、その対応付けに基づいて幾何補正関数を作成し、作成された幾何補正関数を用いて前記複数のプロジェクタから投影される投影画像を前記投影面

上で幾何学的な整合性がとれるように補正するマルチプロジェクションシステムのための画像補正方法であって、前記各プロジェクタの表示領域または投影領域内の特定領域における前記特徴の密度が前記特定領域以外の領域よりも、前記複数のプロジェクタのうちの少なくとも1台のプロジェクタにおいて高くなるように前記パターン画像の特徴の密度分布を設定することを特徴としている。

【0017】

このように、各プロジェクタの表示領域または投影領域内の特定領域における前記特徴の密度が、特定領域以外の領域よりも、前記複数のプロジェクタのうちの少なくとも1台のプロジェクタにおいて高くなるように設定されるようにしているので、このようなパターン画像と、該パターン画像を投影して得られたパターン撮影画像とに基づいて幾何補正関数を作成することによって、特定領域における幾何補正関数を高精度なもととすることができる。

10

【0018】

これにより、特定領域をたとえば複数の投影領域が重なり合う重なり領域である場合には、このような幾何補正関数を用いて画像補正を行うことにより、幾何学的な整合性の取りにくい重なり領域において、より高精度な幾何補正が可能となる。

なお、本発明でいうプロジェクタ上の表示領域とはプロジェクタ座標系での表示領域であり、また、前記投影面上における各プロジェクタの投影領域とは投影面（スクリーン）座標系での投影領域を意味している。

【0019】

20

(2) 前記(1)に記載のマルチプロジェクションシステムのための画像補正方法において、前記特徴の密度は、前記特定領域における単位面積当たりの特徴の数で表されることが好ましい。

これによって、(1)を容易に実現することができ、特定領域における幾何補正関数を高精度なもととすることができる。

【0020】

(3) 前記(1)または(2)に記載のマルチプロジェクションシステムのための画像補正方法において、前記特定領域は、前記各プロジェクタの投影領域において他のプロジェクタの投影領域が重なり合う重なり領域とすることが好ましい。

これによって、隣接する投影領域が重なり合った状態で表示されるタイリングディスプレイを構成する場合に効果を発揮することができる。すなわち、本発明によれば、重なり領域における幾何学的な整合性を高精度にとることができ、重なり領域で発生しやすいボケを抑制することができる。

30

【0021】

(4) 前記(1)または(2)に記載のマルチプロジェクションシステムのための画像補正方法において、前記特定領域は、前記プロジェクタのエッジ部を含む境界領域であってよい。

これは、特徴点の密度を高くする特定領域は、重なり領域とは限らず、たとえば、あるプロジェクタの投影領域のエッジ部分で特徴点の密度を高くするということができるということを示すものである。これによれば、たとえば、プロジェクタを単体で用いる場合や、複数のプロジェクタを用いて重なり領域を形成しないマルチプロジェクションシステムを構成する場合などにも、プロジェクタの投影領域のエッジ部分で適切な幾何補正が可能となり、高品質な投影画像を得ることができる。

40

【0022】

(5) 前記(3)に記載のマルチプロジェクションシステムのための画像補正方法において、前記重なり領域における前記特徴の密度は、前記複数のプロジェクタのうちのあるプロジェクタの投影領域に注目したときに、該注目したプロジェクタの投影領域において他のプロジェクタの投影領域が重なり合う重なり領域の数が多いほど高く設定されることが好ましい。

これは、注目したプロジェクタの投影領域におけるある位置での重なり領域の数が多い

50

ほど、幾何学的な整合性が取れにくくなることを考慮したものである。このように、各プロジェクタに対する投影面上での投影領域の重なり領域の数が多いほど、特徴の密度を高くすることによって、重なり領域における幾何学的な整合性をより高精度にとることができる。

【 0 0 2 3 】

(6) 前記 (1) から (5) のいずれかに記載のマルチプロジェクションシステムのための画像補正方法において、前記複数のプロジェクタが投影するパターン画像に含まれる特徴の前記各プロジェクタの表示領域における位置と、前記複数のプロジェクタから投影面上に投影されるパターン画像を撮影して得られるパターン撮影画像に含まれる特徴の前記各プロジェクタの投影領域における位置との幾何学的な対応付けを行って、その対応付けに基づいて作成された前記幾何補正関数の評価を行い、その評価結果が適正でないと判定された場合は、前記特徴の密度分布を変更させることによって前記パターン画像の更新を行い、該更新されたパターン画像に基づいた前記幾何補正関数の作成を行うことが好ましい。

10

【 0 0 2 4 】

このように、幾何補正関数の評価を行った結果、好結果が得られない場合は、特徴の密度を変更させるようにしている。これによって、より高精度な幾何補正関数を得られる可能性が高くなり、状況によっては、それを複数回繰り返すことによって、やがては最適な幾何補正関数を得ることができるようになる。

【 0 0 2 5 】

20

(7) 前記 (6) に記載のマルチプロジェクションシステムのための画像補正方法において、前記特徴の密度分布の変更は、前記パターン画像に含まれる特徴の位置を変化させることにより、前記特定領域における特徴の密度をより高くすることが一例として挙げられる。

これにより、重なり領域における特徴の密度を簡単かつ確実に高くすることができ、前記 (6) の実現を容易に行うことができる。

【 0 0 2 6 】

(8) 前記 (6) または (7) に記載のマルチプロジェクションシステムのための画像補正方法において、前記特徴の密度分布の変更は、前記パターン画像に含まれる特徴を追加・削除することにより、前記特定領域における特徴の密度をより高くすることもまた可能である。

30

これによっても、重なり領域における特徴も密度を簡単かつ確実に高くすることができ、前記 (6) の実現を容易に行うことができる。

【 0 0 2 7 】

(9) 前記 (6) から (8) のいずれかに記載のマルチプロジェクションシステムのための画像補正方法において、前記特徴の密度分布の変更は、前記プロジェクタの表示領域または前記投影面上におけるプロジェクタの投影領域で行うことが可能である。

これは、特徴の密度分布の変化を、各プロジェクタの表示領域で行うことも可能であり、また、前記投影面上における各プロジェクタの投影領域においても可能であるということである。このように、各プロジェクタの表示領域または各プロジェクタの投影領域のいずれの領域において特徴の密度分布を変化させる場合であっても、前述の (1) に記載の効果をすることができる。

40

【 0 0 2 8 】

(1 0) 前記 (1) から (9) のいずれかに記載のマルチプロジェクションシステムのための画像補正方法において、前記幾何補正関数は、前記パターン画像に含まれる特徴の各プロジェクタ上の表示領域における位置と、前記パターン画像が前記投影面に投影されたときの前記投影面上における各プロジェクタの投影領域に含まれる特徴の前記各プロジェクタの投影領域における位置との間の幾何学的な対応付けおよび幾何補正関数を用いて算出される残差の大きさに基づいて作成することが可能である。

これは、幾何補正関数が、たとえば、最小 2 乗法によって求められることを示すもので

50

、これによって、幾何補正関数を適切に求めることができる。この場合、通常は残差の和が最小となるように幾何補正関数を求めるのが一般的であるが、残差の和は最小でなくその近傍であっても差し支えない場合もある。

【 0 0 2 9 】

(1 1) 前記 (1) から (1 0) のいずれかに記載のマルチプロジェクションシステムのための画像補正方法において、前記パターン画像に含まれる特徴は、点、エッジ、コーナであって、該特徴を有す画像が前記プロジェクタの表示領域上に点在するように設けられることが一例として挙げられる。

このように、パターン画像に含まれる特徴を、点（たとえば、黒丸の点、黒い四角の点など）あるいはエッジ、コーナで表すことによって、パターン画像とパターン撮影画像との対応付けを少ない演算で確実に行うことができ、また、パターン画像の生成も容易なものとなる。なお、特徴の色は特に限定されるものではない。

【 0 0 3 0 】

(1 2) 本発明のマルチプロジェクションシステムのための画像補正装置は、複数のプロジェクタが投影するパターン画像に含まれる特徴の前記各プロジェクタの表示領域における位置と、前記複数のプロジェクタから投影面上に投影されるパターン画像を撮影して得られるパターン撮影画像に含まれる特徴の前記各プロジェクタの投影領域における位置との幾何学的な対応付けを行って、その対応付けに基づいて幾何補正関数を作成し、作成された幾何補正関数を用いて前記複数のプロジェクタから投影される投影画像を前記投影面上で幾何学的な整合性がとれるように補正するマルチプロジェクションシステムのための画像補正装置であって、各プロジェクタの表示領域または投影領域内の特定領域における前記特徴の密度が前記特定領域以外の領域よりも、前記複数のプロジェクタのうちの少なくとも 1 台のプロジェクタにおいて高くなるように前記パターン画像の特徴の密度分布を設定可能なパターン画像生成手段を有することを特徴としている。

【 0 0 3 1 】

このマルチプロジェクションシステムのための画像補正装置も (1) に記載のマルチプロジェクションシステムのための画像補正方法と同様の効果を得ることができる。また、この (1 2) に記載のマルチプロジェクションシステムのための画像補正装置においても、前記 (2) から (1 1) に記載のマルチプロジェクションシステムのための画像補正方法と同様の特徴を有することが好ましい。

【 0 0 3 2 】

(1 3) 本発明のマルチプロジェクションシステムは、複数のプロジェクタから投影される投影画像の一部に重なり領域を有した状態で表示する際に、前記複数のプロジェクタからの投影画像を前記投影面上で幾何学的整合性がとれるように補正可能な画像補正装置を有するマルチプロジェクションシステムであって、前記画像補正装置として、前記請求項 1 3 記載のマルチプロジェクションシステムのための画像補正装置を有することを特徴としている。

このマルチプロジェクションシステムによれば、複数のプロジェクタからの投影画像の重なり領域での幾何学的な整合性を高精度に取ることができ、重なり領域でのボケが抑えられた高品質なタイリング投影が可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 3 3 】

本発明の実施形態に係るマルチプロジェクションシステムのための画像補正方法について説明する。本発明のマルチプロジェクションシステムのための画像補正方法は、複数のプロジェクタが投影するパターン画像と、前記複数のプロジェクタから投影面上に投影されるパターン画像を撮影して得られるパターン撮影画像とに基づいて幾何補正関数を作成し、作成された幾何補正関数を用いて前記複数のプロジェクタから投影される投影画像を前記投影面上で幾何学的な整合性がとれるように補正するための画像補正方法である。

【 0 0 3 4 】

そして、その幾何補正関数は、パターン画像に含まれる特徴の各プロジェクタ上の表示

10

20

30

40

50

領域における位置と、前記パターン画像が前記投影面に投影されたときの前記投影面上における各プロジェクタの投影領域に含まれる特徴の各プロジェクタの投影領域における位置との間の幾何学的な対応関係および幾何補正関数を用いて算出される残差の大きさに基づいて算出する。

【0035】

また、本発明の実施形態においては、前述の幾何補正関数を、ある特定領域においてより高精度な幾何補正が可能となるような関数とするために、パターン画像に含まれる特徴の密度分布に工夫を施すようにしたものである。具体的には、各プロジェクタの表示領域または投影領域におけるある特定領域で、パターン画像の特徴の密度が高くなるような密度分布とする。

10

【0036】

ここで、プロジェクタの表示領域とは各プロジェクタの表示領域（各プロジェクタ上の座標系）を表し、プロジェクタの投影領域とはスクリーン上に投影された各プロジェクタの投影領域（スクリーン上の座標系）を表している。たとえば、図1（A）に示すように、2つのプロジェクタ（これをPJ a, PJ bとする）を考えると、プロジェクタPJ aの $u_a \cdot v_a$ 座標系における表示領域aとプロジェクタPJ bの $u_b \cdot v_b$ 座標系における表示領域bをスクリーン上に投影したとき、スクリーンの $X \cdot Y$ 座標系におけるプロジェクタPJ a, PJ bの投影領域a, bが図1（B）のようであったとする。

【0037】

このときの各プロジェクタPJ a, PJ b上の各表示領域と各プロジェクタPJ a, PJ bの各投影領域との幾何変換を表す座標変換式（幾何補正関数）は、

20

$$u_n = f_n(X, Y) \quad (1)$$

$$v_n = g_n(X, Y) \quad (2)$$

で表すことができる。なお、(1)および(2)式において、 (u_n, v_n) は各プロジェクタ上の表示領域座標、 (X, Y) はスクリーン上の投影領域座標である。また、nはプロジェクタ番号であり、図1の場合は、プロジェクタPJ a, PJ bであるので、 $n = a, b$ である。

【0038】

上述の(1)式および(2)式を求めるために、この実施形態で用いる幾何補正関数は、各プロジェクタの表示領域内に存在する複数の特徴の位置座標と、各プロジェクタの投影領域内に存在する複数の特徴の位置座標との幾何的な対応関係および幾何補正関数を用いて算出する残差の総和が最小となるように算出する。すなわち、下記の(3)式に示す最小2乗法によって幾何補正関数を決定する。なお、残差の総和が「最小」ではなくその近傍としても差し支えない場合もあるが、この実施形態では、残差の総和が「最小」となるように算出するものとする。

30

【数1】

$$\begin{cases} \sum_i [f_n(X_i, Y_i) - u_{ni}]^2 = 0 \\ \sum_i [g_n(X_i, Y_i) - v_{ni}]^2 = 0 \end{cases} \quad (3)$$

40

この(3)式において、iは特徴点の番号、 (u_{ni}, v_{ni}) はi番目の特徴点に関するあるプロジェクタ上の表示領域座標、 (X_i, Y_i) はi番目の特徴点に関するスクリーン上におけるプロジェクタの投影領域座標である。なお、 (u_{ni}, v_{ni}) と (X_i, Y_i) は幾何的な対応付けがなされている。

【0039】

本発明の実施形態では、前述したように、各プロジェクタの表示領域または投影領域におけるある特定領域で、パターン画像に含まれる特徴の密度分布が高くなるようにする。なお、この実施形態では、パターン画像に含まれる特徴は、点、エッジ、コーナとし、該

50

特徴を有す画像がプロジェクタの表示領域上に点在するように設けられるものであるとする。このパターン画像の具体例については後に説明する。

【0040】

以下、各プロジェクタの表示領域または投影領域の特定領域で、パターン画像の特徴（この実施形態では特徴点という）の密度が高くなるような特徴点の設定方法について説明する。なお、ここでは、後に説明する図7に示されるように、4つのプロジェクタPJ a ~ PJ dを縦・横それぞれ2台ずつ（2×2）の配置として、それぞれのプロジェクタPJ a ~ PJ dから投影される投影画像を、スクリーンSCR上でそれぞれ隣接する投影画像の一部が重なり合うようにタイリング投影する例について説明する。したがって、この実施形態では、前述の特定領域は、隣接する投影画像の一部が重なり合う重なり領域であるとする。

10

【0041】

まず、本発明の実施形態に係る基本的な特徴点の設定方法について説明する。本発明の実施形態に係る基本的な特徴点の設定方法は、図2に示すように、スクリーンSCR上における4つのプロジェクタPJ a ~ PJ dの投影領域a, b, c, dにおいて他のプロジェクタの投影領域が重なり合う重なり領域に対しては、パターン画像データ（これにD2の符号を付し、パターン画像D2という）の特徴点の密度を高くする。なお、以下では、4つのプロジェクタPJ a ~ PJ dに対応する個々のパターン画像をパターン画像D2 a, D2 b, D2 c, D2 dと呼ぶことにし、これらをまとめてパターン画像という場合は、パターン画像D2と呼ぶことにする。

20

【0042】

図2からもわかるように、プロジェクタPJ aの投影領域a、プロジェクタPJ bの投影領域b、プロジェクタPJ cの投影領域c、プロジェクタPJ dの投影領域dは、それぞれが隣接する投影領域との間で重なり領域を有した状態となっており、各プロジェクタPJ a ~ PJ dの表示領域a, b, c, dにおけるパターン画像D2 a, D2 b, D2 c, D2 dは、それぞれの重なり領域で、特徴点（黒の丸点で示されている）の密度が高くなるような密度分布となっている。

【0043】

たとえば、プロジェクタPJ aに注目すると、プロジェクタPJ aのパターン画像D2 aは、他のプロジェクタの投影領域と重なり合う重なり領域に対応する領域で、特徴点の密度が高くなる密度分布となっている。この特徴点の密度は、各プロジェクタの表示領域または投影領域における単位面積当たりの特徴点の数で表される。

30

【0044】

なお、このように、あるプロジェクタの投影領域において他のプロジェクタの投影領域と重なり合う重なり領域に対応する領域で、特徴点の密度を高くする設定は、マルチプロジェクションシステムを構成するすべてのプロジェクタにおいて行われることが望ましいが、マルチプロジェクションシステムを構成する複数のプロジェクタのすべてではなく、複数のプロジェクタのうちの大部分のプロジェクタにおいて、図2で説明したような設定がなされる場合も考えられる。さらに、複数のプロジェクタのすべて、または、大部分ではなく、ある1つのプロジェクタにおいて、図2で説明したような設定がなされる場合も考えられ、そのような設定であっても、それに見合う効果が得られる場合もあり得る。

40

【0045】

さらに、本発明の実施形態では、重なり領域の数（幾つの投影領域が重なっているか）によって、各プロジェクタPJ a ~ PJ dにおけるパターン画像D2 a ~ D2 dの特徴点の密度分布を設定することも可能とする。これについて図3を参照して説明する。

【0046】

図3はプロジェクタPJ aに注目した場合である。なお、このプロジェクタPJ aに他のプロジェクタの投影領域が重なり合う重なり領域は、この図3の例では、2つの投影領域が重なる領域、3つの投影領域が重なる領域、4つの投影領域が重なる領域が存在するが、説明を簡単にするために、ここでは、2つの投影領域が重なる領域と、最大で4つの

50

投影領域が重なる領域の２つに分けて考えることにする。

【 0 0 4 7 】

この場合、２つの投影領域が重なる領域は、プロジェクタ P J a の投影領域 a にプロジェクタ P J b の投影領域 b が重なり合う重なり領域（これを重なり領域 # 1 とする）と、プロジェクタ P J a の投影領域 a にプロジェクタ P J c の投影領域 c が重なり合う重なり領域（これを重なり領域 # 2 とする）とが存在する。また、最大で４つの投影領域が重なる領域は、プロジェクタ P J a の投影領域 a にプロジェクタ P J b の投影領域 b、プロジェクタ P J c の投影領域 c、プロジェクタ P J d の投影領域 d が重なり合う重なり領域であり、これを重なり領域 # 3 とする。

【 0 0 4 8 】

なお、この重なり領域 # 1 , # 2 , # 3 は、厳密な領域の設定を行うなわなくてもよく、たとえば、実際の重なり領域を取り囲むような領域または実際の重なり領域の大部分を含むような領域を設定することも可能である。

【 0 0 4 9 】

このように、投影領域の重なり数に応じた重なり領域を考え、その重なり数（重なり数という）が多い重なり領域ほど特徴点の密度を高くする。この図 3 の例では、重なり領域 # 1 , # 2 の重なり数は「 2 」であり、重なり領域 # 3 の重なり数は、この場合、最大で「 4 」である。

【 0 0 5 0 】

したがって、この場合、プロジェクタ P J a のパターン画像 D 2 a は、重なり領域 # 1 , # 2 に対応する領域における特徴点の密度が、重なり領域以外の領域よりも高く設定され、さらに、重なり領域 # 3 に対応する領域における特徴点の密度は、重なり領域 # 1 , # 2 に対応する領域における特徴点の密度よりも高く設定される。

これは、注目したプロジェクタの投影領域におけるある位置での重なり領域の数が多いほど、幾何学的な整合性が取れにくくなることを考慮したものであり、重なり数が多い領域に対応する領域ほど特徴点の密度を高くすることによって、重なり領域における幾何学的な整合性をより高精度にとることができる。

【 0 0 5 1 】

なお、このような設定は、すべてのプロジェクタにおいて行われることが望ましいが、複数のプロジェクタのすべてではなく、複数のプロジェクタのうちの大部分のプロジェクタにおいて、図 3 で説明したような設定がなされる場合も考えられる。さらに、複数のプロジェクタのすべて、または、大部分ではなく、ある 1 つのプロジェクタにおいて、図 3 で説明したような設定がなされる場合も考えられ、そのような設定であっても、それに見合う効果が得られる場合もあり得る。

【 0 0 5 2 】

以上、図 2 で説明したパターン画像 D 2（重なり領域に対する特徴点の密度をそれ以外の領域よりも高く設定したパターン画像 D 2）と、そのパターン画像 D 2 をスクリーン S C R 上に投影し、その投影されたパターン画像を撮影して得られたパターン撮影画像データ（これに D 3 の符号を付し、パターン撮影画像 D 3 という）とを用い、両者の特徴点の対応関係に基づいて幾何補正関数を作成すると、その幾何補正関数は、重なり領域において適正な幾何補正が可能となる幾何補正関数となる。したがって、この幾何補正関数を用いて幾何補正を行うことにより、重なり領域において、適切な幾何補正が可能となり、それによって、重なり領域のボケを抑制することができる。

【 0 0 5 3 】

また、同様に、図 3 で説明したパターン画像（重なり数の多い領域に対応する領域ほど特徴点の密度を高く設定したパターン画像 D 2）と、そのパターン画像 D 2 をスクリーン S C R 上に投影し、その投影されたパターン画像を撮影して得られたパターン撮影画像 D 3 とを用い、両者の特徴点の対応関係に基づいて幾何補正関数を作成すると、その幾何補正関数は、重なり領域において、より適正な幾何補正が可能となる幾何補正関数となる。したがって、この幾何補正関数を用いて幾何補正を行うことにより、重なり領域において

10

20

30

40

50

、より適切な幾何補正が可能となり、重なり領域のボケを抑制する効果がより一層大きくなる。

【 0 0 5 4 】

また、このように作成された幾何補正関数に対する誤差評価を行い、その誤差評価結果に基づいて、パターン画像 D 2 の更新処理を行うことも可能である。

【 0 0 5 5 】

次に、この幾何補正関数の誤差評価結果に基づくパターン画像の更新処理について、2つの例（一方を「パターン画像の更新処理（その 1）」、他方を「パターン画像の更新処理（その 2）」という）により説明する。

【 0 0 5 6 】

図 4 は「パターン画像の更新処理（その 1）」について説明する図である。この図 4 において、パターン画像 D 2（プロジェクタ P J a ~ P J d に対応する個々のパターン画像 D 2 a ~ D 2 d）は、前述の図 2 または図 3 で説明した処理がなされることによって、特徴点の密度分布の設定がなされたパターン画像である。

【 0 0 5 7 】

また、この図 4 に示される更新後のパターン画像 D 2 は、幾何補正関数の誤差評価結果データ（D 8 の符号を付し、誤差評価結果 D 8 という）により、誤差が十分小さくなかったと判定された場合に、パターン画像 D 2 の特徴点の更新を行うためのパターン画像生成処理がなされることによって生成されたパターン画像である。以下、「パターン画像の更新処理（その 1）」について説明する。

【 0 0 5 8 】

まず、パターン画像 D 2 と、このパターン画像 D 2 をスクリーン S C R 上に投影して、それを撮影して得られたパターン撮影画像 D 3 とを用い、パターン画像 D 2 に存在する複数の特徴の位置座標と、パターン撮影画像 D 3 に存在する複数の特徴の位置座標との幾何的な対応関係および幾何補正関数を用いて算出する残差の総和が最小となるように幾何補正関数を各プロジェクタごとに算出する。すなわち、前述の（3）式に示す最小 2 乗法によって、各プロジェクタごとの幾何補正関数を算出する。

【 0 0 5 9 】

このように算出された各プロジェクタごとの幾何補正関数（D 4 の符号を付し、幾何補正関数 D 4 という）に対し、投影領域データ（D 5 の符号を付し、投影領域 D 5 という）、重なり領域データ（D 7 の符号を付し、重なり領域 D 7 という）、パターン画像 D 2 の特徴点データ（D 6 の符号を付し、特徴点 D 6 という）を用いて誤差評価を行い（ステップ S 1 0 1）、誤差評価結果 D 8 を得る。なお、このステップ S 1 における誤差評価処理の具体的な処理内容などについては後に説明する。

【 0 0 6 0 】

そして、誤差評価結果 D 8 について、誤差が十分に小さいかを判断し（ステップ S 1 0 2）、誤差が十分小さければ、各プロジェクタから投影すべき投影画像生成処理に入る（ステップ S 1 0 3）。一方、誤差が十分小さくなければ、パターン画像を更新するためのパターン画像生成を行い（ステップ S 1 0 4）、更新後のパターン画像 D 2 を得る。

【 0 0 6 1 】

このパターン画像の更新を行うためのパターン画像生成処理は、パターン画像 D 2 の特徴点の密度分布を変更する処理であり、この「パターン画像の更新処理（その 1）」は、特徴点を移動（特徴点の座標位置を変化）させることによって特徴点の密度分布を変更する処理であるとする。

【 0 0 6 2 】

すなわち、この図 4 からわかるように、更新後のパターン画像 D 2 は、各プロジェクタ P J a ~ P J d に対応するそれぞれのパターン画像 D 2 a ~ D 2 d の特徴点の数はそのまま、重なり領域に対応する領域における特徴点の密度分布が変化したものとなっている。

【 0 0 6 3 】

なお、この図4では、すべてのプロジェクタPJa~PJdに対応するそれぞれのパターン画像D2a~D2dについてパターン画像の更新がなされた例が示されているが、必ずしも、すべてのプロジェクタPJa~PJdに対応するそれぞれのパターン画像D2a~D2dが更新されるとは限らず、誤差評価結果において十分小さな値となっているプロジェクタについては、パターン画像の更新を行う必要はない。

【0064】

このように、パターン画像の更新が終了すると、その更新後のパターン画像D2を用いて、再度、幾何補正関数を生成し、生成された幾何補正関数に対し、ステップS101以降の処理を行う。この処理をすべてのプロジェクタで誤差評価結果が十分小さくなるまで行い、すべてのプロジェクタで誤差評価結果が十分小さくなると、個々のプロジェクタで投影すべき投影画像生成が行われる(ステップS103)。

10

【0065】

なお、前述したように、すべてのプロジェクタにおいて誤差評価結果が十分小さくなることが望ましいが、複数のプロジェクタのうち、大部分のプロジェクタにおいて、誤差評価結果が十分小さく、その他の少数のプロジェクタでは誤差評価結果が十分小さくならない場合であっても、実用上、十分な品質の画像を得ることができる場合もある。

【0066】

以上説明した「パターン画像の更新処理(その1)」を行うことによって、重なり領域に対して適切な幾何補正関数を作成することができる。これによって、重なり領域において高精度な幾何補正が可能となり、重なり領域の幾何的な整合性を高精度にとることができるので、重なり領域において発生しやすいボケを抑制することができる。

20

【0067】

次に、「パターン画像の更新処理(その2)」について説明する。

図5は「パターン画像の更新処理(その2)」について説明する図である。この図5におけるステップS101~S104は、図4とほぼ同様であり、図4と異なるのは、誤差評価結果D8における誤差が十分小さくないと判定(ステップS102)された場合のパターン画像の更新のためのパターン画像生成処理(ステップS104)が異なるだけである。

【0068】

すなわち、この「パターン画像の更新処理(その2)」では、誤差が十分小さくないと判定された場合における特徴点の密度分布を変化させる処理は、パターン画像の特徴点を追加・削除することによって、特徴点の密度分布を変化させるようにする。なお、パターン画像の特徴点を追加・削除は、特徴点の追加と削除のいずれかを行う場合、または、追加と削除の両方を行う場合が考えられる。

30

【0069】

この「パターン画像の更新処理(その2)」における更新後のパターン画像D2は、この図5からもわかるように、各プロジェクタPJa~PJdに対応するそれぞれのパターン画像D2a~D2dに対し、その特徴点の数を追加・削除させることによって、密度分布を変化させている。この図5の例では、それぞれのパターン画像D2a~D2dは、重なり領域に対応する領域において、特徴点の数をより多く集中させるように特徴点の追加がなされている。

40

【0070】

この「パターン画像の更新処理(その2)」においても、パターン画像の更新が終了すると、その更新後のパターン画像D2を用いて、再度、幾何補正関数D4を生成し、生成された幾何補正関数D4に対し、ステップS101以降の処理を行う。

【0071】

このパターン画像の更新処理(その2)によるパターン画像更新処理を行うことによって、「パターン画像の更新処理(その1)」と同様、重なり領域に対して適切な幾何補正関数を作成することができる。これによって、重なり領域において高精度な幾何補正が可能となり、重なり領域の幾何的な整合性を高精度にとることができるので、重なり領域に

50

において発生しやすいボケを抑制することができる。

【 0 0 7 2 】

なお、上述した「パターン画像の更新処理（その１）」および「パターン画像の更新処理（その２）」において、パターン画像 D 2 の特徴点の密度分布を変更する処理は、プロジェクタの表示領域上またはスクリーン上におけるプロジェクタの投影領域上のいずれにおいても可能である。

【 0 0 7 3 】

ところで、本発明では、これまで説明したように、重なり領域において特徴点の密度が高くなるような特徴点の密度分布の設定を行うようにするが、これを実現するには、各プロジェクタの投影領域において他のプロジェクタの投影領域が重なり合う重なり領域を取得する必要がある。この重なり領域の取得の一例について図 6 を参照しながら説明する。この図 6 において、点 A の座標を (1 , 1)、点 B の座標を (5 , 0)、点 C の座標を (4 , 4)、点 D の座標を (2 , 5)、点 P の座標を (3 , 3)、点 Q の座標を (5 , 3) とする。なお、投影領域の X ・ Y 座標の原点を O とする。

【 0 0 7 4 】

手順 1：特定された投影領域の辺ベクトルを半時計回りに定義して、ベクトル A B、ベクトル B C、ベクトル C D、ベクトル D A を求めると、これらベクトル A B、ベクトル B C、ベクトル C D、ベクトル D A は、

【数 2】

$$\begin{aligned}\overrightarrow{AB} &= \overrightarrow{OB} - \overrightarrow{OA} = (4, -1)^T \\ \overrightarrow{BC} &= \overrightarrow{OC} - \overrightarrow{OB} = (-1, 4)^T \\ \overrightarrow{CD} &= \overrightarrow{OD} - \overrightarrow{OC} = (-2, 1)^T \\ \overrightarrow{DA} &= \overrightarrow{OA} - \overrightarrow{OD} = (-1, -4)^T\end{aligned}\tag{4}$$

と求められる。

【 0 0 7 5 】

手順 2：辺ベクトルと辺ベクトルの始点から注目する位置座標へ伸びるベクトルとの外積を計算する。これを投影領域の辺ベクトルすべてについて行う。

【 0 0 7 6 】

[注目する位置座標が点 P の場合]

【数 3】

$$\begin{aligned}\overrightarrow{AB} \times \overrightarrow{AP} &= 10, \overrightarrow{AP} = (2, 2)^T \\ \overrightarrow{BC} \times \overrightarrow{BP} &= 5, \overrightarrow{BP} = (-2, 3)^T \\ \overrightarrow{CD} \times \overrightarrow{CP} &= 3, \overrightarrow{CP} = (-1, -1)^T \\ \overrightarrow{DA} \times \overrightarrow{DP} &= 6, \overrightarrow{DP} = (1, -2)^T\end{aligned}\tag{5}$$

と求められる。

【 0 0 7 7 】

[注目する位置座標が点 Q の場合]

【数 4】

$$\begin{aligned}
 \overrightarrow{AB} \times \overrightarrow{AQ} &= 12, \overrightarrow{AQ} = (4, 2)^T \\
 \overrightarrow{BC} \times \overrightarrow{BQ} &= -3, \overrightarrow{BQ} = (0, 3)^T \\
 \overrightarrow{CD} \times \overrightarrow{CQ} &= 1, \overrightarrow{CQ} = (1, -1)^T \\
 \overrightarrow{DA} \times \overrightarrow{DQ} &= 14, \overrightarrow{DP} = (3, -2)^T
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

と求められる。

10

【0078】

手順3：手順2で計算した外積の値、すなわち、(5)式および(6)式で求められた外積の値がすべて正である場合、注目する位置はこの辺ベクトルによって構成される投影領域の内部に存在すると判定する。

【0079】

これにより、(5)式においては、辺ベクトルと辺ベクトルの始点から点Pへ伸びるベクトルとの外積がすべて正であることより、点Pは領域内部の点であると判定される。一方、(6)式においては、辺ベクトルと辺ベクトルの始点から点Qへ伸びるベクトルとの外積に正でないものが存在するため、点Qは領域外部の点であると判定される。

【0080】

20

手順1～手順3を各プロジェクタの投影領域すべてに関して行うことで、注目する位置座標がどのプロジェクタの投影領域に含まれるのかを算出することができ、その情報を用いることによって重なり領域を推定することができる。

【0081】

以上、本発明の実施形態に係るマルチプロジェクションシステムのための画像補正方法についてその概略を説明したが、この画像補正方法を実現するためのマルチプロジェクションシステムのための画像補正装置およびこの画像補正装置を備えたマルチプロジェクションシステムについて説明する。

【0082】

図7は本発明のマルチプロジェクションシステムの実施形態を説明する構成図であり、その構成を大きく分けると、割り当てられた画像をスクリーンSCRに投影する複数のプロジェクタ(ここでは4台としている)PJ a～PJ d、スクリーンSCRを撮影可能な撮像手段としてのカメラ1、前述の図1から図5を参照して説明したマルチプロジェクションシステムのための画像補正方法を実現するための画像補正装置2(詳細は後述する)を有している。この画像補正装置2は、本発明の実施形態に係るマルチプロジェクションシステムのための画像補正装置としての機能を有するものである。なお、プロジェクタは、この図7の例では4台としているが4台に限られるものではない。

30

【0083】

また、この実施形態で必要とする主なデータとしては、プロジェクタPJ a～PJ dから投影される投影画像データD1、投影画像データD1と各プロジェクタの投影領域との幾何学的な対応付けを行うために用いられるパターン画像データD2、各プロジェクタPJ a～PJ dからスクリーンSCR上に投影されたパターン画像をカメラ1で撮影して得られたパターン撮影画像データD3、各プロジェクタPJ a～PJ d上の表示領域と各プロジェクタPJ a～PJ dの投影領域との幾何変換関係を与える関数である幾何補正関数D4がある。

40

【0084】

なお、本発明の実施形態では、投影画像データD1、パターン画像データD2、パターン撮影画像データD3は、単に、投影画像D1、パターン画像D2、パターン撮影画像D3としている。また、本発明の実施形態を説明するための図面中においても、投影画像D1、パターン画像D2、パターン撮影画像D3と表記されている。

50

【0085】

画像補正装置2は、その詳細な機能については後に説明するが、概略的な機能としては、パターン画像D2とカメラ1によって撮影された各プロジェクタPJ a ~ PJ d 対応のパターン撮影画像D3とからスクリーンSCR上の各プロジェクタ対応の投影領域内に、画像を幾何学的に矛盾なく投影するための幾何補正関数を算出する機能と、その幾何補正関数を用いて投影画像の画像処理を行い、各のプロジェクタPJ a ~ PJ d へ幾何補正済みの投影画像（補正済み投影画像）を送る機能を有している。

図8は図7で示した画像補正装置2について詳細に説明するものである。なお、この図8において、画像補正装置2以外の構成要素として、図7で説明したプロジェクタPJ a ~ PJ d、カメラ1、投影画像D1、パターン画像D2、パターン撮影画像D3なども示されている。なお、これら図7で示したプロジェクタPJ a ~ PJ d、カメラ1、投影画像D1、パターン画像D2、パターン撮影画像D3は、この図8においては破線で示されている。

10

【0086】

図8により画像補正装置2の構成について説明する。この画像補正装置2は、パターン画像投影装置21、スクリーン撮影装置22、投影領域算出装置23、重なり領域算出装置24、パターン画像生成装置25、幾何補正関数算出装置26、画像処理装置27、画像投影装置28、誤差評価装置29を有している。

【0087】

また、この画像補正装置2で生成されるデータとしては、投影領域算出装置23によって生成されるスクリーン上における各プロジェクタの投影領域データD5および特徴点データD6、重なり領域算出装置24によって生成される重なり領域データD7、誤差評価装置29によって生成される誤差評価結果データD8、幾何補正関数算出装置26によって生成される幾何補正関数D4、画像処理装置27によって生成される補正済み投影画像データD9などがある。

20

【0088】

なお、本発明の実施形態では、投影領域データD5、特徴点データD6、重なり領域データD7、誤差評価結果データD8、補正済み投影画像データD9は、単に、投影領域D5、特徴点D6、重なり領域D7、誤差評価結果D8、補正済み投影画像D9としている。また、前述同様、本発明の実施形態を説明するための図面中においても、投影領域D5、特徴点D6、重なり領域D7、誤差評価結果D8、補正済み投影画像D9と表記されている。

30

【0089】

パターン画像投影装置21は、各プロジェクタPJ a ~ PJ d にパターン画像D2を入力し、各プロジェクタPJ a ~ PJ d からスクリーンSCR上にパターン画像を投影する機能を有する。

スクリーン撮影装置22は、各プロジェクタPJ a ~ PJ d からスクリーンSCRに投影されたパターン画像D2をカメラ1で撮影し、パターン撮影画像D3を生成する機能を有する。

【0090】

投影領域算出装置23は、各プロジェクタPJ a ~ PJ d に対応するパターン画像D2およびそのパターン画像D2を撮影して得られたパターン撮影画像D3から、それぞれ特徴点を抽出し、それを特徴点D6として保存し、保存した特徴点D6を用いて、パターン画像D2およびパターン撮影画像D3の特徴点の対応付けを行い、その特徴点の対応関係から各プロジェクタPJ a ~ PJ d に対応する投影領域D5を算出する機能を有する。

40

【0091】

重なり領域算出装置24は、各プロジェクタPJ a ~ PJ d の投影領域において他のプロジェクタの投影領域が重なり合う重なり領域を算出する機能を有する。なお、この重なり領域算出装置24による重なり領域の算出方法は、図6を用いて説明した方法が一例として挙げられる。

50

【0092】

パターン画像生成装置25は、本発明の実施形態で用いられるパターン画像、すなわち、各プロジェクタの表示領域または投影領域における、ある特定領域（この実施形態では、重なり領域としている）で特徴点の密度分布が高くなるようなパターン画像を生成する機能を有する。なお、このパターン画像生成機能には、前述したようなパターン画像の更新機能も含まれる。このパターン画像生成機能については後に詳細に説明する。

【0093】

幾何補正関数算出装置26は、投影領域算出装置23によって算出された投影領域D5、特徴点D6、重なり領域算出装置24によって算出された重なり領域D7に基づいて、幾何補正関数に関する最小2乗法を構成して、それを演算することにより、各プロジェクタにおける幾何補正関数D4を算出する機能を有する。

10

【0094】

画像処理装置27は、本発明のマルチプロジェクションシステムで各プロジェクタPJa~PJdで投影画像D1を投影する際に、それぞれの投影画像D1が幾何学的に矛盾無く投影されるように、それぞれの投影画像D1に対し、幾何補正関数算出装置26で算出された幾何補正関数D4を用いて幾何補正する機能と、それに加えて、その他の画像処理（輝度補正や色補正など）を行い、補正済み投影画像D9を生成する機能を有する。

【0095】

図9はパターン画像投影装置21の動作を説明するフローチャートである。このパターン画像投影装置21は、スクリーン撮影装置22と連携して動作するものである。

20

【0096】

図9において、まず、パターン画像D2を取得し（ステップS1）、取得したパターン画像D2を、あるプロジェクタで投影する（ステップS2）。これによって、該プロジェクタは自身の処理（投影処理など）に入る（ステップS3）。

【0097】

次に、パターン画像投影装置21は、スクリーン撮影装置22に対してスクリーン上に投影されたパターン画像D2の撮影を指示する（ステップS4）。これによって、スクリーン撮影装置22は自身の処理（パターン画像D2の撮影処理など）に入る（ステップS5）。そして、パターン画像D2の撮影が完了したか否かを判断し（ステップS6）、パターン画像D2の撮影が完了すると、すべてのプロジェクタでパターン画像を投影したかを判断し（ステップS7）、すべてのプロジェクタがパターン画像を投影し終われば処理を終了する。

30

【0098】

図10はスクリーン撮影装置22の動作を説明するフローチャートである。このスクリーン撮影装置22は、パターン画像投影装置21と連携して動作するものである。すなわち、この図10は図9のステップS5の処理内容を説明するもので、その動作手順について説明する。

【0099】

まず、パターン画像D2の撮影指示待ちの状態において、パターン画像投影装置21の処理（ステップS10）の過程でパターン画像D2の撮影指示（図9のステップS4）が出されると、そのパターン画像D2の撮影指示を受信し（ステップS11、S12）、パターン画像D2の撮影を行う（ステップS13）。これにより、カメラ1の処理（撮影処理）に入る（ステップS14）。そして、撮影されたパターン画像がパターン撮影画像D3として保存され（ステップS15）、パターン画像投影装置21に対してパターン画像D2の撮影の完了を送信する（ステップS16）。なお、パターン画像投影装置21は自身の処理が終了していなければその処理を行う（ステップS17）。

40

【0100】

図11は投影領域算出装置23の動作を説明するフローチャートである。まず、パターン画像D2を取得し（ステップS21）、取得したパターン画像D2から特徴点を抽出して（ステップS22）、それを特徴点D6として保存する。次に、パターン撮影画像D3

50

を取得し（ステップ S 2 3）、取得したパターン撮影画像 D 3 から特徴点を抽出して（ステップ S 2 4）、それを特徴点 D 6 として保存する。そして、パターン画像 D 2 の特徴点とパターン撮影画像 D 3 の特徴点との対応付けを行い（ステップ S 2 5）、投影領域の算出を行い（ステップ S 2 6）、それを投影領域 D 5 として保存する。

【 0 1 0 1 】

ここで、投影領域算出装置 2 3 で抽出されるパターン画像 D 2 の特徴点およびパターン撮影画像 D 3 の特徴点について説明する。

図 1 2 (A) の (i) および (i i) はパターン画像 D 2 の例を示す図、同図 (B) の (i) および (i i) はそのパターン画像 D 2 をスクリーン S C R に投影したものをカメラ 1 で撮影して得られたパターン撮影画像 D 3 である。

10

【 0 1 0 2 】

このようなパターン画像 D 2 の特徴点としては、たとえば、輝度差・色差によるエッジやそのエッジの交点（コーナ）、輝度情報・色情報のピーク値、幾何的に分布した輝度情報・色情報の重心などを用いることができる。

【 0 1 0 3 】

そして、パターン画像 D 2 における既知の輝度情報、既知の色情報、既知の輝度情報や既知の色情報を用いて生成される幾何学形状情報からパターン画像の特徴点を算出する（実際には、予め特徴点を決定し、その特徴点を色情報、輝度情報、色情報や輝度情報を用いて生成する幾何学形状で表現したものをパターン画像 D 2 とする）。

【 0 1 0 4 】

20

一方、パターン撮影画像 D 3 の輝度情報、色情報、輝度情報や色情報を用いて生成される幾何学形状情報からパターン撮影画像 D 3 の特徴点座標を決定する。

パターン画像 D 2 の特徴点とパターン撮影画像 D 3 の特徴点の対応付けは、パターン画像 D 2 の色情報（色による対応付け）、輝度情報（明るさによる対応付け）、幾何学的情報（たとえば、四角形、三角形等による対応付け、特徴点の位置関係による対応付け）、時間情報（パターン画像の投影を時系列情報で管理できる場合）を拘束条件とする方法や投影モデル仮定し（たとえば、射影変換、有理多項式変換）それを拘束条件とする方法を利用する。

【 0 1 0 5 】

本実施例の場合、「特徴点 D 6」と呼んでいる情報からは、幾何的な対応付けがなされているパターン画像 D 2 の特徴点座標およびパターン撮影画像 D 3 の特徴点座標を知ることができるものとする。これは、たとえば、図 1 3 において、あるプロジェクタのパターン画像 D 2 の特徴点 P a と該プロジェクタのパターン撮影画像 D 3 の特徴点 P a ' が対応関係にあり、特徴点 P a の座標値と特徴点 P a ' の座標値を知ることができるということである。

30

【 0 1 0 6 】

一方、投影領域は、パターン画像 D 2 の特徴点およびパターン撮影画像 D 3 の特徴点とその幾何的な対応関係、そして適切な投影モデル（たとえば、平面スクリーンであれば射影変換、連続な非平面スクリーンであれば有利多項式変換）から算出する。

【 0 1 0 7 】

40

本実施例の場合、「投影領域 D 5」と呼んでいる情報からは、各プロジェクタ上の表示領域とスクリーン上における各プロジェクタの投影領域の対応付けを知ることができるものとする。これは、たとえば、図 1 3 において、あるプロジェクタの表示領域 a は、スクリーン上における該プロジェクタの投影領域 a に対応する。

【 0 1 0 8 】

図 1 4 は重なり領域算出装置 2 4 の動作を説明するフローチャートである。図 1 4 において、まず、各プロジェクタの投影領域 D 5 を取得する（ステップ S 3 1, S 3 2）。そして、取得した投影領域 D 5 のうち、処理対象としている投影領域を取得し（ステップ S 3 3）、取得した投影領域において重なり領域を算出し（ステップ S 3 4）、それを重なり領域 D 7 として保存する。

50

【0109】

この実施形態の場合、「重なり領域D7」と呼んでいる情報からは、スクリーン上の投影領域の任意座標がどのプロジェクタの表示領域に含まれるのかを知ることができるものとする。

なお、この重なり領域算出装置24が行う重なり領域の算出処理は、図6を用いてその一例について説明したのでここではその説明は省略する。

【0110】

図15は、パターン画像生成装置25の動作を説明するフローチャートである。図15において、まず、投影領域D5と重なり領域D7を取得する(ステップS41, S42)。そして、これら取得した投影領域D5と重なり領域D7に基づいて特徴点の密度分布の設定を行う(ステップS43)。たとえば、図2または図3で説明したように、重なり領域で特徴点を集中させるような特徴点の密度分布の設定を行い、このように特徴点の密度分布の設定がなされたパターン画像D2を生成する(ステップS44)。なお、この図2または図3で説明した特徴点の密度分布の設定方法を「第1の特徴点設定方法」と呼ぶことにする。

【0111】

このパターン画像生成装置25が行う「第1の特徴点設定方法」の具体例を説明する。たとえば、図16に示すように、スクリーンSCR上における、ある2つのプロジェクタ(プロジェクタPJ a, PJ bとする)のそれぞれの投影領域a, bに対応するプロジェクタPJ aの表示領域a上におけるパターン画像D2 aと、プロジェクタPJ bの表示領域b上におけるパターン画像D2 bの特徴点設定について説明する。なお、図中、 Z_a は、投影領域aに投影領域bが重なり合う重なり領域であることを示し、 Z_b は、投影領域bに投影領域aが重なり合う重なり領域であることを示している。

【0112】

ここで、プロジェクタPJ bに注目し、このプロジェクタPJ bのパターン画像D2 bにおける特徴点の設定の仕方について、図17を参照しながら説明する。

まず、図17(A)に示すように、プロジェクタPJ bの表示領域bを複数の縦線VLと複数の横線HLで分割する。このときの分割条件は、重なり領域 Z_b 内に含まれる縦線VLおよび横線HLのそれぞれ隣接する線との間隔を、重なり領域 Z_b 以外の領域よりも狭くする。

【0113】

すなわち、重なり領域 Z_b 内に含まれる縦線VLのそれぞれ隣接する線との間隔を u_1 、重なり領域 Z_b 以外の縦線VLのそれぞれ隣接する線との間隔を u_2 とすれば、 $u_1 < u_2$ とする。同様に、重なり領域 Z_b 内に含まれる横線HLのそれぞれ隣接する線との間隔を v_1 、重なり領域 Z_b 以外の横線HLのそれぞれ隣接する線との間隔を v_2 とすれば、 $v_1 < v_2$ とする。

【0114】

このような条件のもとに、縦線VLおよび横線HLが設定されると、これら複数の縦線VLと複数の横線HLの交点に、特徴点としてふさわしい何らかの幾何形状を設定する。この特徴点としてふさわしい幾何形状としては、種々の幾何形状を採用することができるが、たとえば、前述の図2～図5などに示されるような、たとえば、黒の丸点や、この図17に示されるような、黒の角点を用いることができる。なお、色は黒に限られるものではない。

【0115】

このようにして、特徴点が設定されることによって、重なり領域 Z_b 内の特徴点の密度を高くすることができる。それによって、図17(B)のようなパターン画像D2 bを得ることができる。

なお、図16および図17では、プロジェクタPJ bに注目し、このプロジェクタPJ bのパターン画像D2 bにおける特徴点の設定の仕方について説明したが、他のプロジェクタについても同様の手順で特徴点の設定を行うことができる。

【 0 1 1 6 】

次に、特徴点の設定方法の他の例（これを「第2の特徴点設定方法」と呼ぶことにする）について説明する。この「第2の特徴点設定方法」は、パターン画像の特徴点の座標位置を移動させることで、特定領域（重なり領域）における特徴点の密度を高くするものである。

【 0 1 1 7 】

たとえば、図18に示すように、スクリーンSCR上での2つのプロジェクタ（プロジェクタPJ a, PJ bとする）のそれぞれの投影領域a, bに対応するプロジェクタPJ aの表示領域a上におけるパターン画像D2 aと、プロジェクタPJ bの表示領域b上におけるパターン画像D2 bの特徴点設定について説明する。なお、図中、 $Z_{a \rightarrow b}$ は、投影領域aに投影領域bが重なり合う重なり領域であることを示し、 $Z_{b \rightarrow a}$ は、投影領域bに投影領域aが重なり合う重なり領域であることを示している。

10

【 0 1 1 8 】

ここでは、プロジェクタPJ aに注目し、このプロジェクタPJ aのパターン画像D2 aにおける特徴点の設定の仕方について、図19を参照しながら説明する。

図19に示すように、プロジェクタPJ aの表示領域aを複数の縦線VLと複数の横線HLで分割し、これら複数の縦線VLと複数の横線HLの交点に特徴点を設定する。なお、このときの分割条件は、縦線VLおよび横線HLがそれぞれ重なり領域 $Z_{a \rightarrow b}$ に、より多く集中させるように、下記に示す数式を用いる。

【 0 1 1 9 】

20

まず、縦線VLを重なり領域 $Z_{a \rightarrow b}$ に、より多く集中させるための数式としては、この場合、重なり領域 $Z_{a \rightarrow b}$ が図19において右側に存在するので、縦線VLを右側に、より多く集中させるための式として、

【数5】

$$u_n = \left(1 - \frac{\exp[a(1 - n/N)] - 1}{[\exp[a] - 1]} \right) w \quad (7)$$

を用いる。この(7)式において、 a は不等長パラメータ、 N は横方向分割数、 w は横幅、 n は縦線VLの番号（ $n = 0, 1, \dots, N-1, N$ ）であり、これらは、以降に説明する(8)～(12)式においても同じである。なお、不等長パラメータ a を大きな値とするほど、この場合は、縦線VLの右方向への集中度の偏りが大きくなり、縦線VLは表示領域a内の右側に、より多く集中する。

30

【 0 1 2 0 】

この(7)式を用いることによって、縦線を図19の右側（重なり領域 $Z_{a \rightarrow b}$ ）に、より多く集中させることができる。そして、このように設定された縦線VLと横線HL（この場合、横線HLに対する処理は考えていない）の交点に、特徴点としてふさわしい何らかの幾何学形状（ここでは黒い角点）を設定する。

【 0 1 2 1 】

40

このように特徴点が設定されると、図20(A)に示すように、表示領域a内の右側に、特徴点がより多く集中したパターン画像を得ることができる。なお、上述したように、この場合、横線HLに対する処理は考えていないので、この図20(A)の例では特徴点は右方向への偏りのみとなっている。

【 0 1 2 2 】

上述の例は、縦線を表示領域の右側に集中させるための式であったが、縦線を表示領域の左側に、より多く集中させる場合は、

【数 6】

$$u_n = \frac{\exp[a(n/N)] - 1}{[\exp[a] - 1]} w \quad (8)$$

を用いることによって実現できる。この(8)式を用いることによって、縦線VLを図19の表示領域aの左側に集中させることができる。なお、この(8)式の場合は、不等長パラメータを大きな値とするほど、縦線VLの左方向への偏りが大きくなり、縦線VLは表示領域a内の左側に、より多く集中する。

10

【0123】

そして、このように設定された縦線VLと横線HL(この場合も、横線HLに対する処理は考えていない)の交点に、特徴点としてふさわしい何らかの幾何学形状(ここでは黒い角点)を設定すると、図20(B)のように、表示領域a内の左側に特徴点がより多く集中したパターン画像を得ることができる。なお、上述したように、この場合、横線HLに対する処理は考えていないので、この図20(B)の例では特徴点は左方向への偏りのみとなっている。

【0124】

さらに、縦線を左右両側に、より多く集中させることも可能である。その場合は、

【数 7】

20

$$\begin{cases} u_n = \frac{\exp[a(2n/N)] - 1}{2[\exp[a] - 1]} w & (0 \leq u \leq w/2) \\ u_n = \left(1 - \frac{\exp[a(2(1-n/N))] - 1}{2[\exp[a] - 1]}\right) w & (w/2 < u \leq w) \end{cases} \quad (9)$$

を用いることによって実現できる。この(9)式を用いることによって、縦線を19の左右両側に集中させることができる。

30

【0125】

そして、このように設定された縦線VLと横線HL(この場合は、横線HLに対する処理は考えていない)の交点に、特徴点としてふさわしい何らかの幾何学形状(ここでは黒い四角形の点)を設定すると、図20(C)のように、表示領域a内の左右両側に特徴点がより多く集中したパターン画像を得ることができる。なお、上述したように、この場合、横線HLに対する処理は考えていないので、この図20(C)の例では特徴点は左右方向への偏りのみとなっている。

【0126】

以上、図18～図20は、縦線VLの位置を左右のいずれか、または、左右両側に、より多く集中させる処理について説明したが、横線HLの位置を上下いずれか、または、上下両側に、より多く集中させることも同様に可能である。

40

【0127】

すなわち、横線HLを下側に、より多く集中させる場合は、

【数 8】

$$v_n = \frac{\exp[a(n/N)] - 1}{[\exp[a] - 1]} h \quad (10)$$

を用いることによって実現できる。なお、この(10)式において、hは表示領域の縦方

50

向長さである。この(10)式の場合、不等長パラメータを大きな値とするほど、横線HLの下方向への偏りが大きくなり、横線HLは表示領域a内の下側に、より多く集中する。

【0128】

このように設定された横線HLと縦線VL（この場合は、縦線VLに対する処理は考えていない）の交点に、特徴点として、たとえば、黒い角点を設定すると、図21(A)のように、表示領域a内の下側に特徴点がより多く集中したパターン画像を得ることができる。

【0129】

また、横線HLを上側に、より多く集中させる場合は、

10

【数9】

$$v_n = \left(1 - \frac{\exp[a(1-n/N)] - 1}{[\exp[a] - 1]} \right) h \quad (11)$$

を用いることによって実現できる。なお、この(11)式の場合、不等長パラメータを大きな値とするほど、横線HLの上方向への偏りが大きくなり、横線HLは表示領域a内の上側に、より多く集中する。

【0130】

20

このように設定された横線HLと縦線VL（この場合は、縦線VLに対する処理は考えていない）の交点に、特徴点としてたとえば黒い角点を設定すると、図21(B)のように、表示領域a内の下側に特徴点の集中したパターン画像を得ることができる。

【0131】

また、横線HLを上下両側に、より多く集中させる場合は、

【数10】

$$\begin{cases} v_n = \frac{\exp[a(2n/N)] - 1}{2[\exp[a] - 1]} h & (0 \leq v \leq h/2) \\ v_n = \left(1 - \frac{\exp[a(2(1-n/N))] - 1}{2[\exp[a] - 1]} \right) h & (h/2 < v \leq h) \end{cases} \quad (12)$$

30

を用いることによって実現できる。このように設定された横線HLと縦線VL（この場合は、縦線VLに対する処理は考えていない）の交点に、特徴点として、たとえば、黒い角点を設定すると、図21(C)のように、表示領域a内の上下両側に特徴点がより多く集中したパターン画像を得ることができる。

【0132】

そして、図18から図21で説明した縦線VLと横線HLの集中度を変化させる処理を組み合わせることによって、表示領域の任意の特定領域で特徴点の密度を高くすることができる。たとえば、表示領域a内の左上で特徴点の密度を高くするには、前述の(8)式と(11)式を組み合わせることによって、表示領域a内の左上の特定領域で特徴点の密度を高くすることができる。

40

【0133】

なお、図18～図21では、プロジェクタPJaに注目し、このプロジェクタPJaのパターン画像D2aにおける特徴点の設定の仕方について説明したが、他のプロジェクタについても同様の手順で特徴点の設定を行うことができる。

【0134】

以上、「第1の特徴点設定方法」と「第2の特徴点設定方法」について説明したが、特

50

徴点の密度分布を設定する方法としては、これ以外にも、たとえば、特徴点の追加・削除によって特徴点の密度分布を変える方法（これを「第3の特徴点設定方法」という）もある。この「第3の特徴点設定方法」の具体例については後述する。

【0135】

図22は幾何補正関数算出装置26の動作を説明するフローチャートである。図22において、まず、投影領域D5、特徴点D6をそれぞれ取得する（ステップS51、S52）。次に、最小2乗法を生成し（ステップS53）、生成された最小2乗法から幾何補正関数を算出し（ステップS54）、それを幾何補正関数D4として保存する。そして、すべてのプロジェクタの幾何補正関数D4を算出したか否かを判断し（ステップS55）、すべてのプロジェクタの幾何補正関数D4を算出すれば処理を終了する。

10

【0136】

図23は誤差評価装置29の動作を説明するフローチャートである。この誤差評価装置29は、幾何補正関数算出装置26によって生成された幾何補正関数D4の誤差評価を行うものであり、その誤差評価を行うに必要なデータとして、投影領域D5、重なり領域D7、特徴点D6、上述の図22のステップS54で算出された幾何補正関数D4をそれぞれ取得し（ステップS61～S64）、取得したこれらのデータに基づいて、幾何補正関数D4の誤差評価結果D8を算出する（ステップS65）。

【0137】

この誤差評価結果の算出の仕方の一例について説明する。ここでは、幾何補正関数の残差を利用した誤差評価の算出の仕方の例について説明する。

20

【0138】

幾何補正関数の残差は、

$$r = u - f(X) \quad (13)$$

$$R = X - F(u) \quad (14)$$

で表すことができる。この(13)式および(14)式において、 r は表示領域で算出した残差、すなわち、「表示領域の特徴点」と「それに対応する投影領域の特徴点と幾何補正関数から得られる表示領域の特徴点の近似値」との差（残差）の大きさを表し、 R は投影領域で算出した残差、すなわち、「投影領域の特徴点」と「それに対応する表示領域の特徴点と幾何補正関数から得られる投影領域の特徴点の近似値」との差（残差）の大きさを表す。また、 u は表示領域の特徴点の位置座標、 X は投影領域の特徴点の位置座標、 $f(X)$ は投影領域から表示領域への幾何補正関数、 $F(u)$ は表示領域から投影領域への幾何補正関数である。

30

【0139】

この幾何補正関数の残差を利用した誤差評価は、たとえば、表示領域での幾何補正関数の残差を例にとると、

【数11】

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^M r_j^2}{M}} \quad (15)$$

40

によって算出することができる。この(15)式において、 r_i は重なり領域の特徴点から算出した残差、 M は、重なり領域の特徴点数である。また、 RMS は重なり領域の2乗平均平方根であり、この値を誤差評価結果として用いることができ、この RMS が小さいほど幾何補正関数の重なり領域での精度が高いといえる。

【0140】

このようにして、幾何補正関数D4に対する誤差評価結果が算出されると、その誤差評価結果に基づいて、パターン画像を更新する必要があるか否かを判定し、パターン画像の更新の必要がある場合には、パターン画像の更新のためのパターン画像生成処理を行う。

50

このパターン画像更新のためのパターン画像生成処理は、前述したような、「パターン画像更新処理(その1)」を用いたパターン画像の生成処理、すなわち、特徴点を移動(位置座標を変化)させることによって、特徴点の密度分布を変更したパターン画像の生成処理や、「パターン画像更新処理(その2)」を用いたパターン画像の生成処理、すなわち、特徴点を追加・削除することによって、特徴点の密度分布を変更したパターン画像の生成処理が考えられる。

【0141】

図24および図26はこのような誤差評価結果に基づくパターン画像生成処理の一例を説明するフローチャートであり、図24は、上述の「パターン画像の更新処理(その1)」を用いたパターン画像生成処理を説明するフローチャート、図26は、上述の「パターン画像更新処理(その2)」を用いたパターン画像生成処理を説明するフローチャートである。

10

【0142】

まず、図24により「パターン画像の更新処理(その1)」を用いたパターン画像生成処理手順について説明する。

この「パターン画像の更新処理(その1)」を用いたパターン画像生成処理を実現するために必要なデータとして、投影領域D5、重なり領域D7、特徴点D6、誤差評価装置29によって算出された誤差評価結果D8を取得する(ステップS71~S74)。そして、図4で説明したように、誤差評価結果D8の誤差が十分小さいか否かを判定し、誤差が十分小さくなければ、特徴点を重なり領域へ移動させる処理を行い(ステップS75)、特徴点の移動により特徴点の密度分布の更新がなされたパターン画像D2が生成される(ステップS76)。

20

【0143】

この特徴点の移動による特徴点の密度分布の更新は、図4のフローチャートで説明したように、誤差評価結果D8の値が十分小さな値となるまで、特徴点の密度分布を変更することによって行われる。すなわち、(15)式における「RMS」が十分小さな値(たとえば、閾値Thを設定しておいて、 $RMS < Th$)となるまで、特徴点の密度分布を変える動作を行う。これは、たとえば、(7)式から(12)式のいずれかあるいは複数を組み合わせる用い、その採用した式の不等長パラメータを大きくすることによって可能となる。

30

【0144】

たとえば、図25に示すように、1回目では不等長パラメータを $\alpha = 1.0$ 、2回目では不等長パラメータを $\alpha = 1.5$ 、3回目では不等長パラメータを $\alpha = 2.0$ というように、不等長パラメータ α を、より大きな値に変化させることによって、特徴点の密度を重なり領域Z_aにおいて、順次、高くすることができる。この図25は、(7)式を用いた例が示されているが、上述したように、(7)式から(12)式を適宜組み合わせる採用し、採用した数式において、誤差評価結果D8に基づいて、不等長パラメータ α を変化させることによって、特徴点の密度分布の更新されたパターン画像D2(この図25の例ではパターン画像D2a)を生成することができる。

【0145】

図26は、「パターン画像の更新処理(その2)」を用いたパターン画像生成処理、すなわち、特徴点の追加・削除によるパターン画像の更新を可能とするパターン画像生成処理を説明するフローチャートである。この図26により「パターン画像の更新処理(その2)」を用いたパターン画像生成処理手順について説明する。

40

【0146】

この「パターン画像の更新処理(その2)」を用いたパターン画像生成処理を実現するために必要なデータとして、投影領域D5、重なり領域D7、特徴点D6、誤差評価装置29によって算出された誤差評価結果D8を取得する(ステップS81~S84)。そして、図5で説明したように、誤差評価結果D8の誤差が十分小さいか否かを判定し、誤差が十分小さくなければ、特徴点の追加・削除を行い(ステップS85)、特徴点の追加・削

50

除により特徴点の密度分布の更新がなされたパターン画像 D 2 が生成される (ステップ S 8 6)。

【0147】

この特徴点の追加・削除による特徴点の密度分布の更新は、図 5 のフローチャートで説明したように、誤差評価結果 D 8 の値が十分小さな値となるまで、特徴点の追加・削除を行う。すなわち、(15) 式における「RMS」が十分小さな値 (たとえば、閾値 T_h を設定しておいて、 $RMS < T_h$) となるまで、特徴点を追加・削除させる。この特徴点の追加・削除を行うための具体例について図 27 を参照して説明する。

【0148】

図 27 に示すように、たとえば、重なり領域 Z_a, b における 1 回目の縦線 VL の間隔 u_1 、同じく、重なり領域 Z_a, b における 2 回目の縦線 VL の間隔 u_2 、同じく、重なり領域 Z_a, b における 3 回目の縦線 VL の間隔 u_3 が、 $u_1 > u_2 > u_3$ となるように、縦線 VL を順次追加することによって、特徴点の密度分布をある特定領域 (この場合、重なり領域 Z_a, b) において、順次、高くすることができる。この図 27 は、縦線 VL を追加する処理のみが示されているが、誤差評価結果 D 8 に基づいて、横線 HL の追加も同様に行うことによって、特徴点の密度分布の更新されたパターン画像 D 2 (この図 27 の例ではパターン画像 D 2 a) を生成することができる。

【0149】

なお、ある特定領域 (重なり領域) 以外の縦線または横線の間隔を広げるように、特徴点の削除を行うことも可能である。これは、特徴点を追加する場合に比べて、計算量を減らすことができる効果がある。また、前述の図 25 で説明した特徴点の移動 (位置座標の変更) による特徴点の密度分布の変更処理と、この図 27 で説明した特徴点の追加・削除による特徴点の密度分布の変更処理を組み合わせることもできる。

【0150】

図 28 は画像処理装置 27 の動作を説明するフローチャートである。図 28 において、まず、投影画像 D 1、幾何補正関数 D 4 をそれぞれ取得し (ステップ S 91, S 92)、投影画像 D 1 に対して、幾何補正関数 D 4 を用いた幾何補正を行う (ステップ S 93)。なお、この画像処理装置 27 が取得する幾何補正関数 D 4 は、重なり領域において適切な特徴点の密度分布を有するパターン画像を用いて作成された幾何補正関数であるので、重なり領域における幾何補正を適切に行うことができる。

【0151】

そして、投影画像 D 1 に対する幾何補正以外の画像処理として、たとえば、輝度補正や色補正を行い (ステップ S 94, S 95)、幾何補正、輝度補正、色補正などの画像処理が終了したものを補正済み投影画像 D 9 として保存する。そして、すべてのプロジェクタについて補正済み投影画像 D 9 を生成したかを判断し (ステップ S 96)、すべてのプロジェクタについて補正済み投影画像 D 9 を生成されれば処理を終了する。

【0152】

図 29 は画像処理装置 27 における画像処理の一例を示すもので、投影画像 D 1 に対して図 28 で示したような手順による画像処理を行うことによって、それぞれのプロジェクタに対する補正済み投影画像が生成される。そして、これらの補正済み投影画像がそれぞれ対応するプロジェクタから投影され、スクリーン上で隣接する投影画像同士が重なり領域を有した状態でタイリングされることによって、スクリーン上での投影画像は、幾何学的に矛盾なく整合性の取れた大画面画像となる。

【0153】

なお、本発明は上述の実施の形態に限られるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々変形実施可能となるものである。

たとえば、前述の実施形態では、複数のプロジェクタの投影領域が重なり合う重なり領域を特定領域として、この重なり領域で、特徴点の密度分布を高くする例について説明したが、特徴点の密度を高くする特定領域は、重なり領域とは限らず、あるプロジェクタの投影領域のエッジ部分を含む境界領域で特徴点の密度を高くすることもできる。こ

10

20

30

40

50

れによれば、たとえば、プロジェクタを単体で用いる場合や、複数のプロジェクタを用いて重なり領域を形成しないマルチプロジェクションシステムを構成する場合などにも、プロジェクタの投影領域のエッジ部分で適切な幾何補正が可能となり、高品質な投影画像を得ることができる。

【 0 1 5 4 】

また、前述の実施形態では、重なり領域で特徴点の密度を高くすることによって、その重なり領域で適切な幾何補正を可能とする幾何補正関数を作成することによって、その重なり領域で高精度な整合性をとるようにする例について説明したが、この実施形態に加えて、幾何補正関数に重み付けするようにしてもよい。

【 0 1 5 5 】

これは、複数のプロジェクタにおける各プロジェクタ上の表示領域内に存在する複数の特徴の位置と、前記投影面上における各プロジェクタの投影領域内に存在する複数の特徴の位置との幾何学的な対応関係および前記幾何補正関数を用いて算出する残差に重み係数を乗じた値の大きさに基づいて前記幾何補正関数を算出するもので、そのときの前記重み係数は、前記各プロジェクタの投影領域において他のプロジェクタの投影領域が重なり合う重なり領域の重み係数の値が、重なり領域以外の重み係数の値に対し、前記複数のプロジェクタのうちの少なくとも1台のプロジェクタにおいて大きくなるように設定されるものである。

【 0 1 5 6 】

このように前述の本発明の実施形態（パターン画像の特徴点の密度を重なり領域で、より高くする実施形態）に加えて、重なり領域における重み係数を重なり領域以外の領域よりも大きく設定し、その重み係数を用いて幾何補正関数を作成することによって、作成された幾何補正関数は、重なり領域において高精度な幾何補正を可能とする幾何補正関数となる。このような重み付けを考慮した幾何補正関数を用いて画像補正を行うことにより、幾何学的な整合性の取りにくい重なり領域において、より高精度に整合性をとることができる。重なり領域のボケを抑える効果をより大きくすることができる。

【 0 1 5 7 】

また、前述の実施形態に加えて、投影面上における各プロジェクタの投影領域において他のプロジェクタの投影領域が重なり合っている蓋然性の高い第1の領域と、それ以外の第2の領域とに各プロジェクタの投影領域を分割し、第1の領域と第2の領域のそれぞれに対応した幾何補正関数を作成することも可能である。なお、第1の領域は、重なり領域であると推定された領域を取り囲むように設定された領域としてもよく、または、第1の領域は、重なり領域であると推定された領域の大部分を含むように設定された領域としてもよい。これによっても、幾何学的な整合性の取りにくい重なり領域において、より高精度に整合性をとることができ、重なり領域のボケを抑える効果をより大きくすることができる。

【 0 1 5 8 】

また、これらをすべて組み合わせることも可能である。すなわち、重なり領域でパターン画像の特徴点の密度を高くすることによって、その重なり領域で適切な幾何補正を可能とする幾何補正関数を作成するといった前述の実施形態で説明した手法と、重なり領域における重み係数を重なり領域以外の領域よりも大きく設定し、その重み係数を用いて幾何補正関数を作成する手法、投影面上における各プロジェクタの投影領域において他のプロジェクタの投影領域が重なり合っている蓋然性の高い第1の領域と、それ以外の第2の領域とに前記各プロジェクタの投影領域を分割し、前記第1の領域と前記第2の領域のそれぞれに対応した幾何補正関数を作成する手法を組み合わせることもできる。

【 0 1 5 9 】

また、本発明は以上説明した本発明を実現するための処理手順が記述された処理プログラムを作成し、その処理プログラムをフロッピィディスク、光ディスク、ハードディスクなどの記録媒体に記録しておくこともできる。したがって、本発明は、その処理プログラムの記録された記録媒体をも含むものである。また、ネットワークからその処理プログ

10

20

30

40

50

ラムを得るようにしてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0160】

【図1】本発明の実施形態に係るマルチプロジェクションシステムのための画像補正方法を説明するためにプロジェクタ上の表示領域とスクリーン上におけるプロジェクタの投影領域について説明する図。

【図2】本発明の実施形態に係るパターン画像の特徴点の密度分布の設定例を説明する図。

【図3】重なり領域の重なり数に応じた特徴点の密度分布の設定例を説明するための図。

【図4】幾何補正関数に対する誤差評価を行い、その誤差評価結果に基づくパターン画像更新例を説明するための図。

【図5】幾何補正関数に対する誤差評価を行い、その誤差評価結果に基づくパターン画像更新の他の例を説明するための図。

【図6】重なり領域を算出する方法の一例について説明するための図。

【図7】本発明の実施形態に係るマルチプロジェクションシステムの構成を説明する図。

【図8】図7における画像補正装置とそれに関係する構成要素およびデータについて説明する図。

【図9】図8で示したパターン画像投影装置の動作を説明するフローチャート。

【図10】図8で示したスクリーン撮影装置の動作を説明するフローチャート。

【図11】図8で示した投影領域算出装置の動作を説明するフローチャート。

【図12】実施形態で用いるパターン画像の例を説明する図。

【図13】あるプロジェクタのパターン画像のある点Paと該プロジェクタのパターン撮影画像の点Pa'との対応関係について説明する図。

【図14】図8で示した重なり領域算出装置の動作の一例を説明するフローチャート。

【図15】図8で示したパターン画像生成装置の動作を説明するフローチャート。

【図16】図8で示したパターン画像生成装置が行う第1の特徴点設定方法を説明するための図。

【図17】図16で示した第1の特徴点の設定方法の具体例を示す図。

【図18】図8で示したパターン画像生成装置が行う第2の特徴点設定方法を説明するための図。

【図19】図18で示した第2の特徴点の設定方法の具体例を示す図。

【図20】第2の特徴点設定方法による特徴点の設定例（特徴点を右方向、左方向、左右両方向に集中させた場合）を示す図。

【図21】第2の特徴点設定方法による特徴点の設定例（特徴点を下方向、上方向、上下両方向に集中させた場合）を示す図。

【図22】図8で示した幾何補正関数算出装置の動作を説明するフローチャート。

【図23】図8で示した誤差評価装置の動作を説明するフローチャート。

【図24】パターン画像生成装置が行う「パターン画像の更新処理(その1)」を説明するフローチャート。

【図25】誤差評価結果に基づく「パターン画像の更新処理(その1)」を説明する図。

【図26】パターン画像生成装置が行う「パターン画像の更新処理(その2)」を説明するフローチャート。

【図27】誤差評価結果に基づく「パターン画像の更新処理(その2)」を説明する図。

【図28】図7で示した画像処理装置の動作を説明するフローチャート。

【図29】図7で示した画像処理装置における画像処理の一例を示す図。

【符号の説明】

【0161】

1 カメラ、2 画像補正装置、21 パターン画像投影装置、22 スクリーン撮影装置、23 投影領域算出装置、24 重なり領域算出装置、25 パターン画像生成装置、26 幾何補正関数算出装置、27 画像処理装置、28 画像投影装置、29 誤

10

20

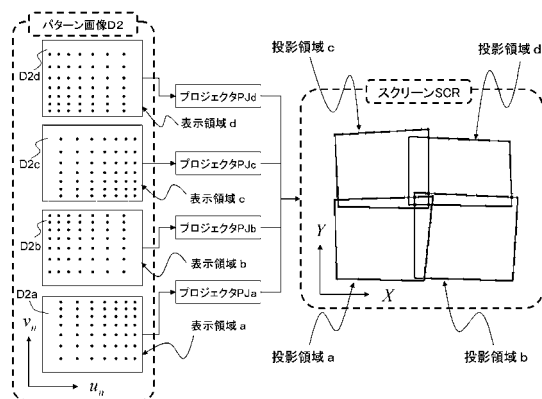
30

40

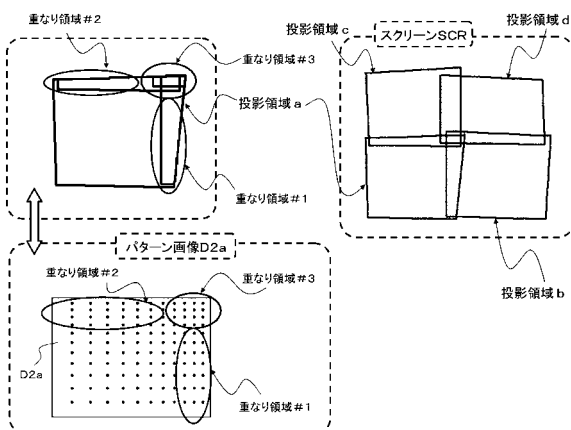
50

差評価装置、P J a ~ P J d プロジェクタ、S C R スクリーン

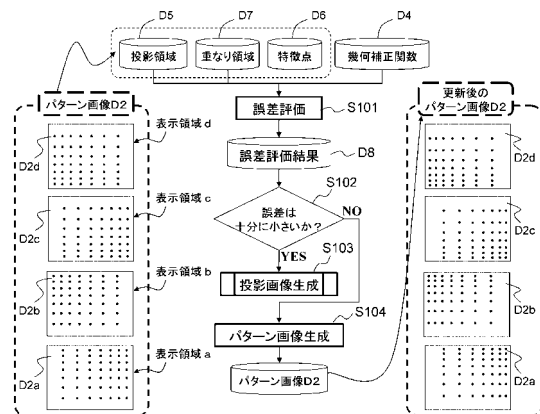
【図 2】



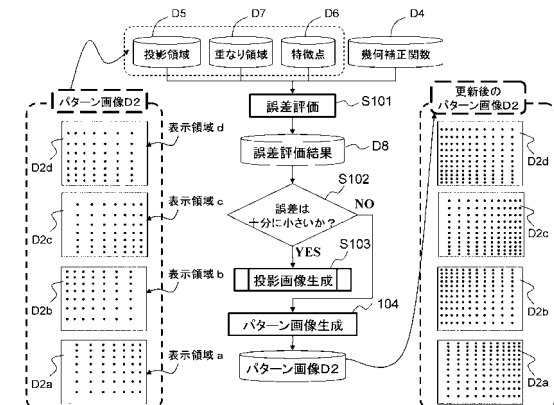
【図 3】



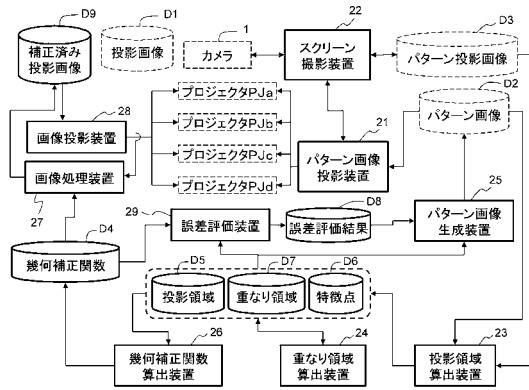
【図 4】



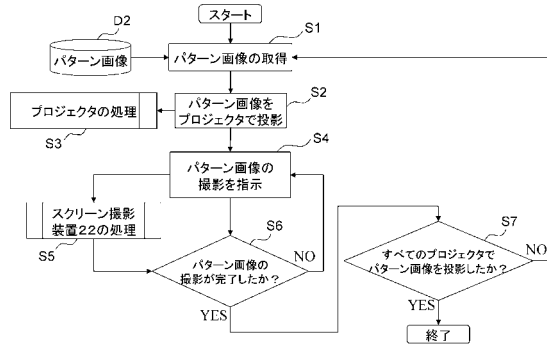
【図 5】



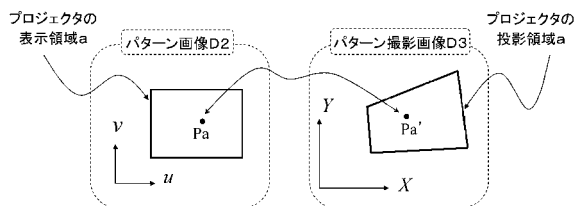
【 図 8 】



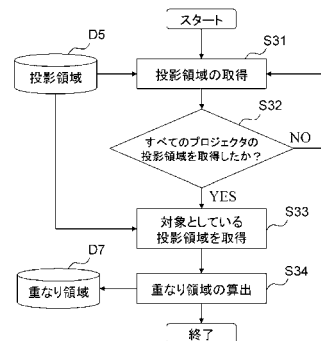
【 図 9 】



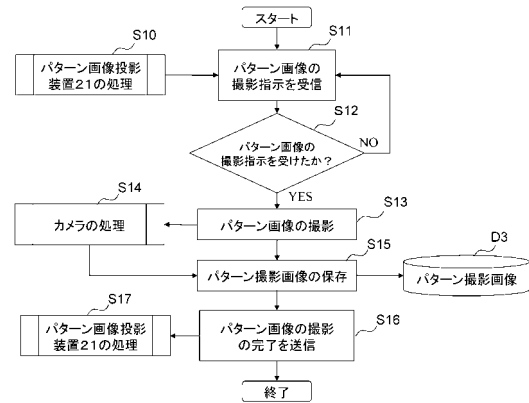
【 図 1 3 】



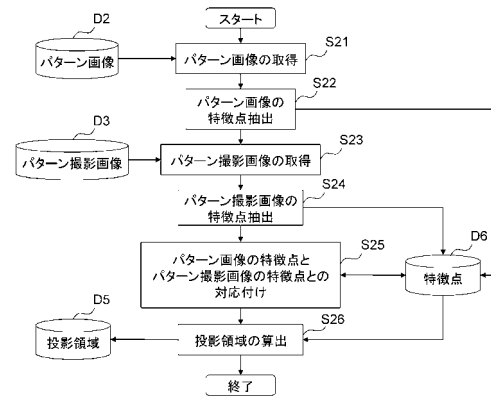
【 図 1 4 】



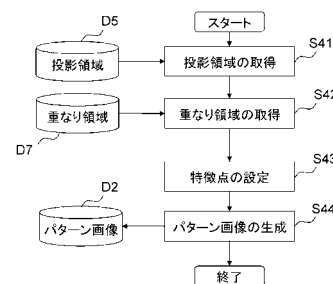
【 図 1 0 】



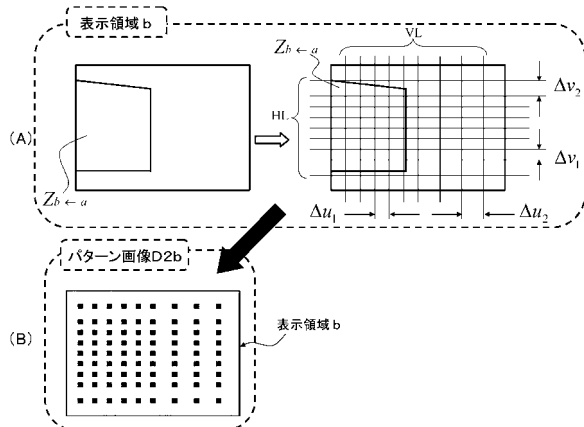
【 図 1 1 】



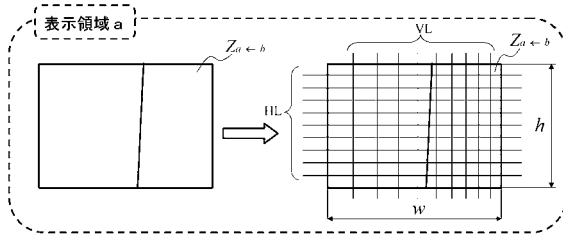
【 図 1 5 】



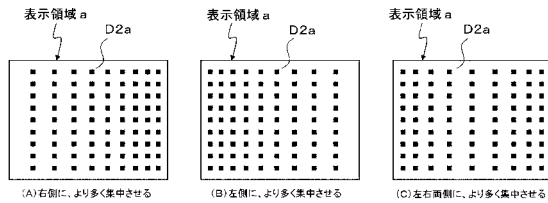
【 図 1 7 】



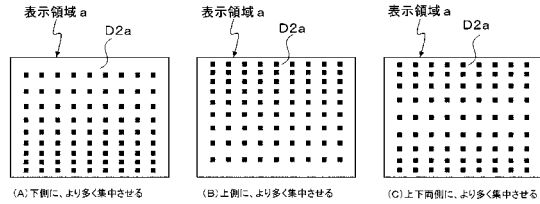
【図 19】



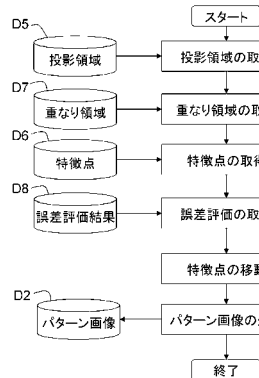
【図 20】



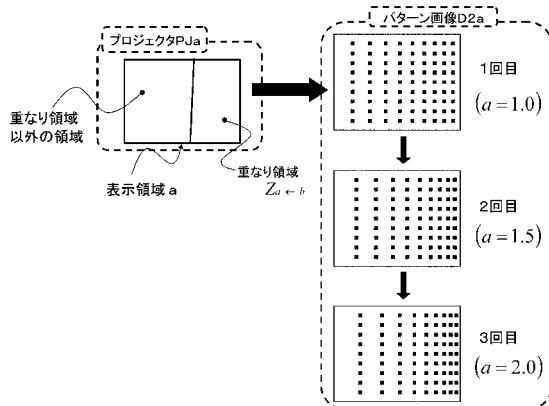
【図 21】



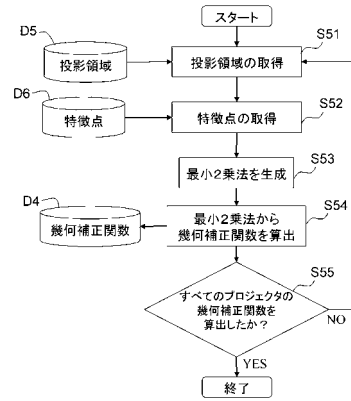
【図 24】



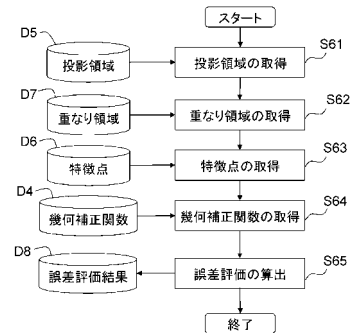
【図 25】



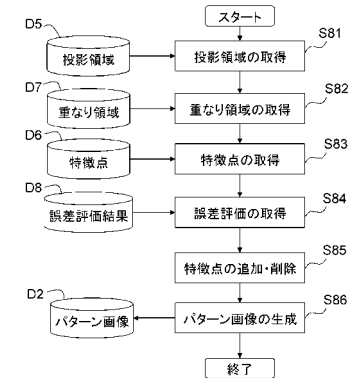
【図 22】



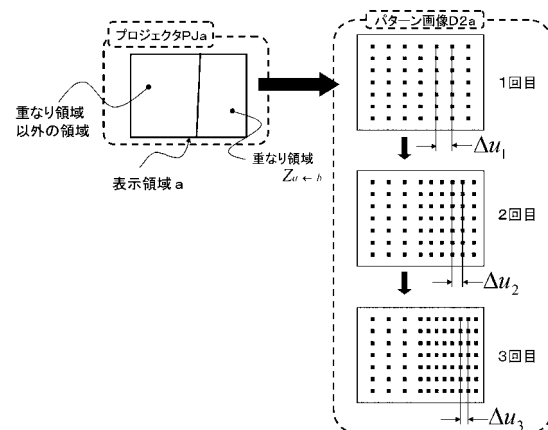
【図 23】



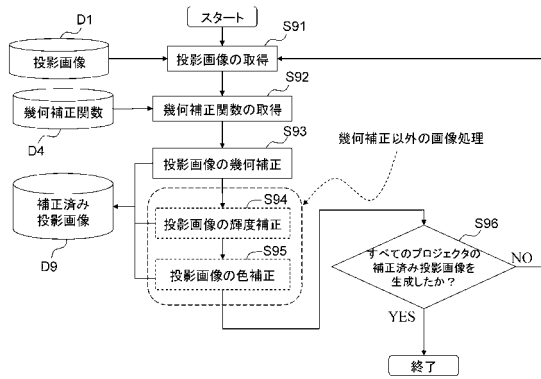
【図 26】



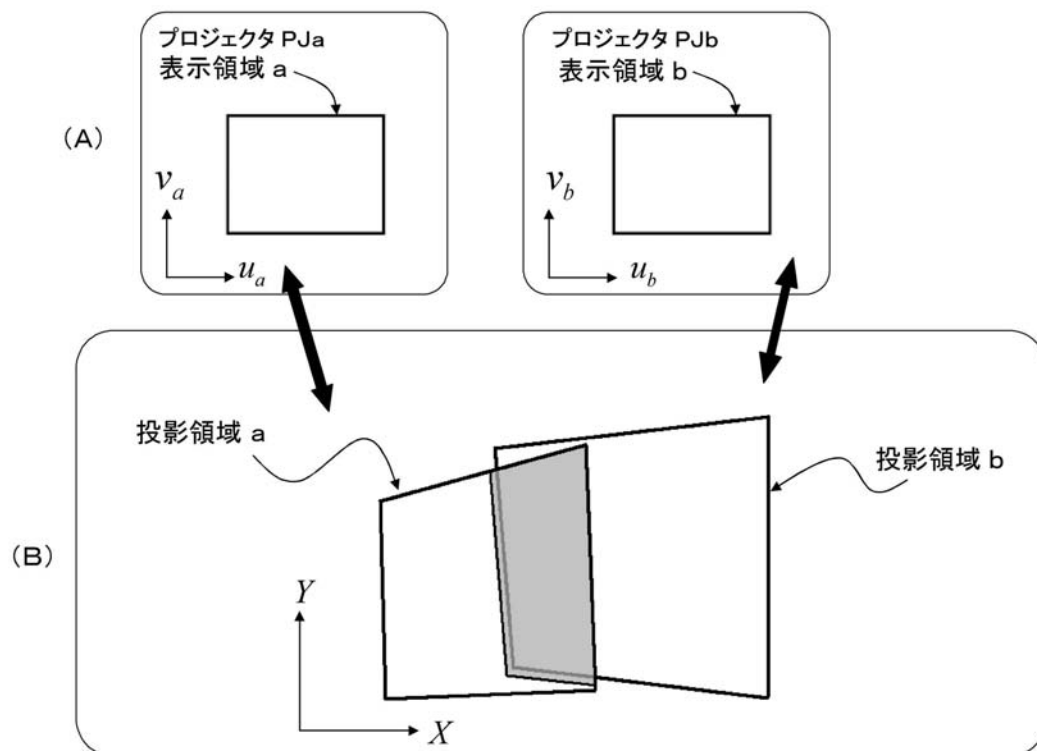
【図 27】



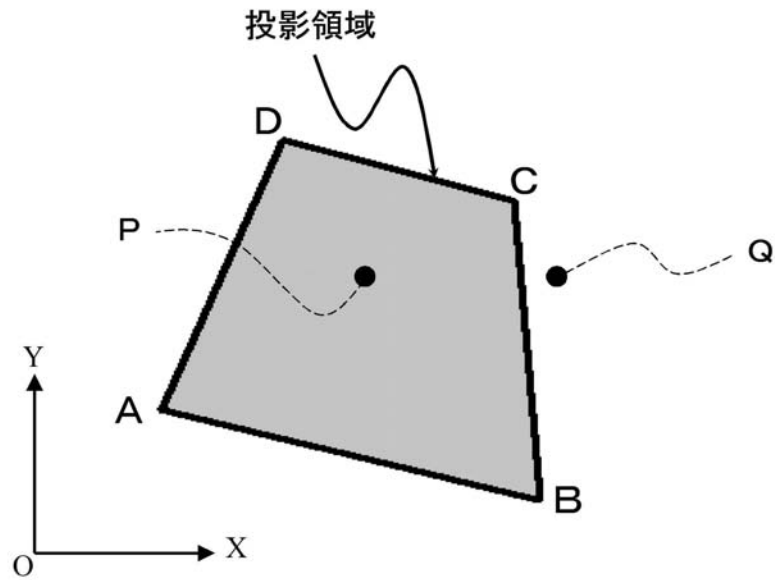
【図 28】



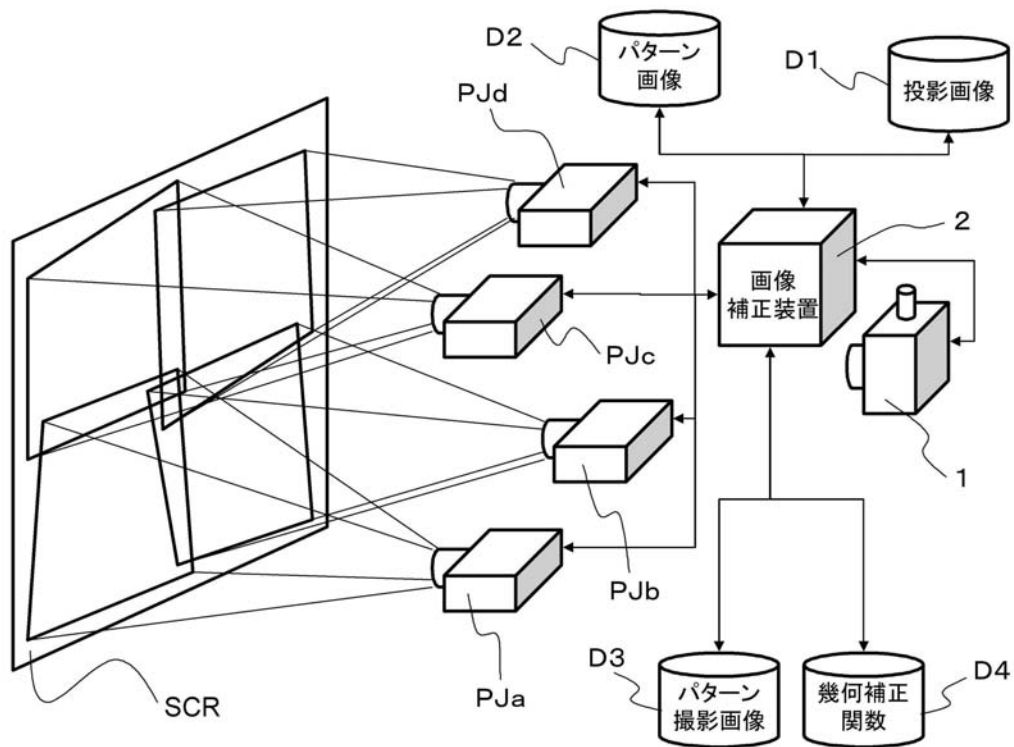
【図 1】



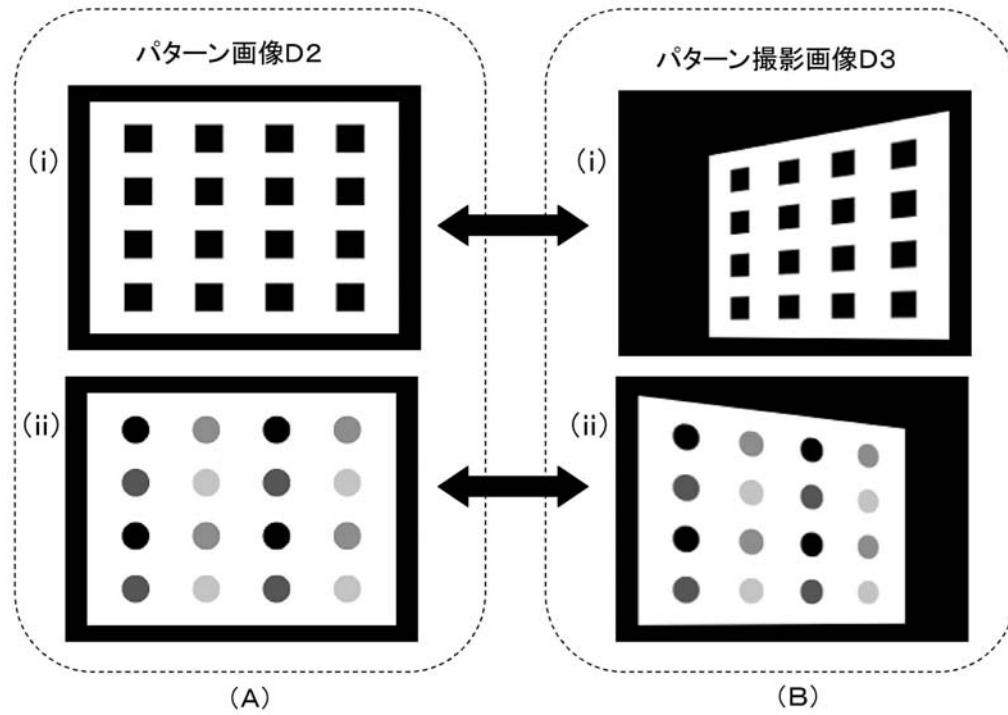
【図6】



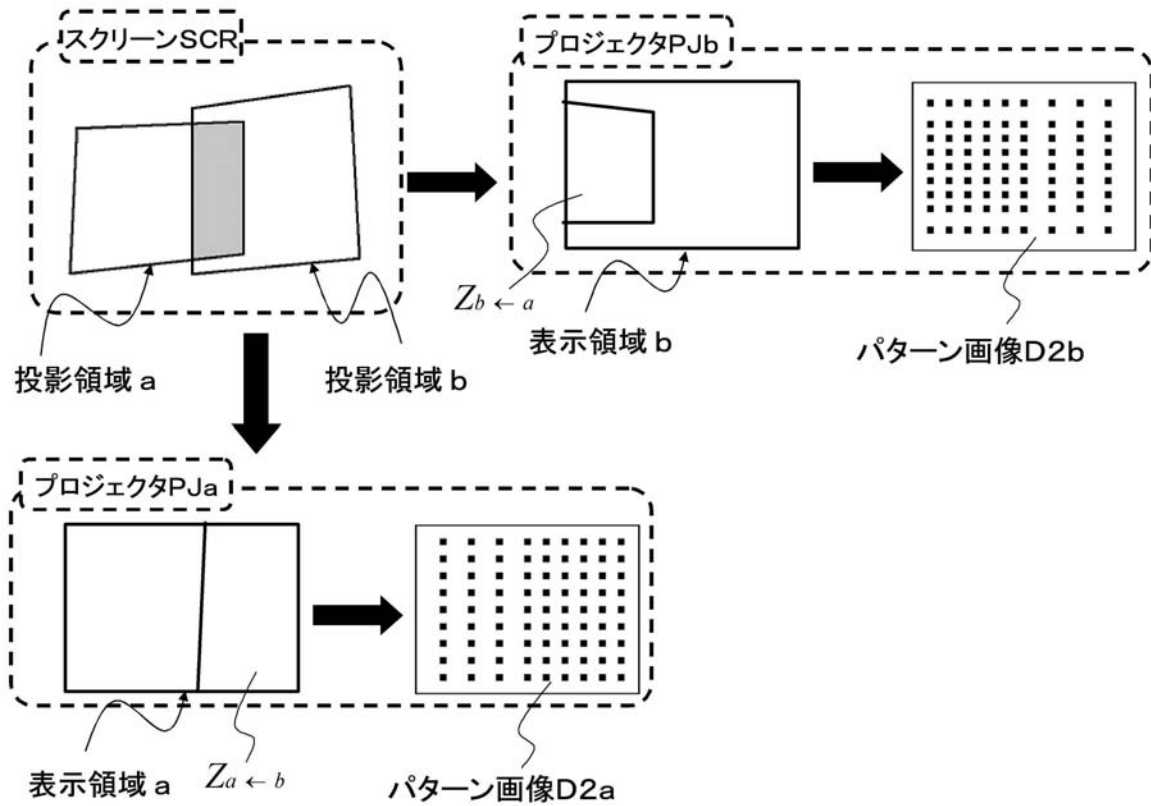
【図7】



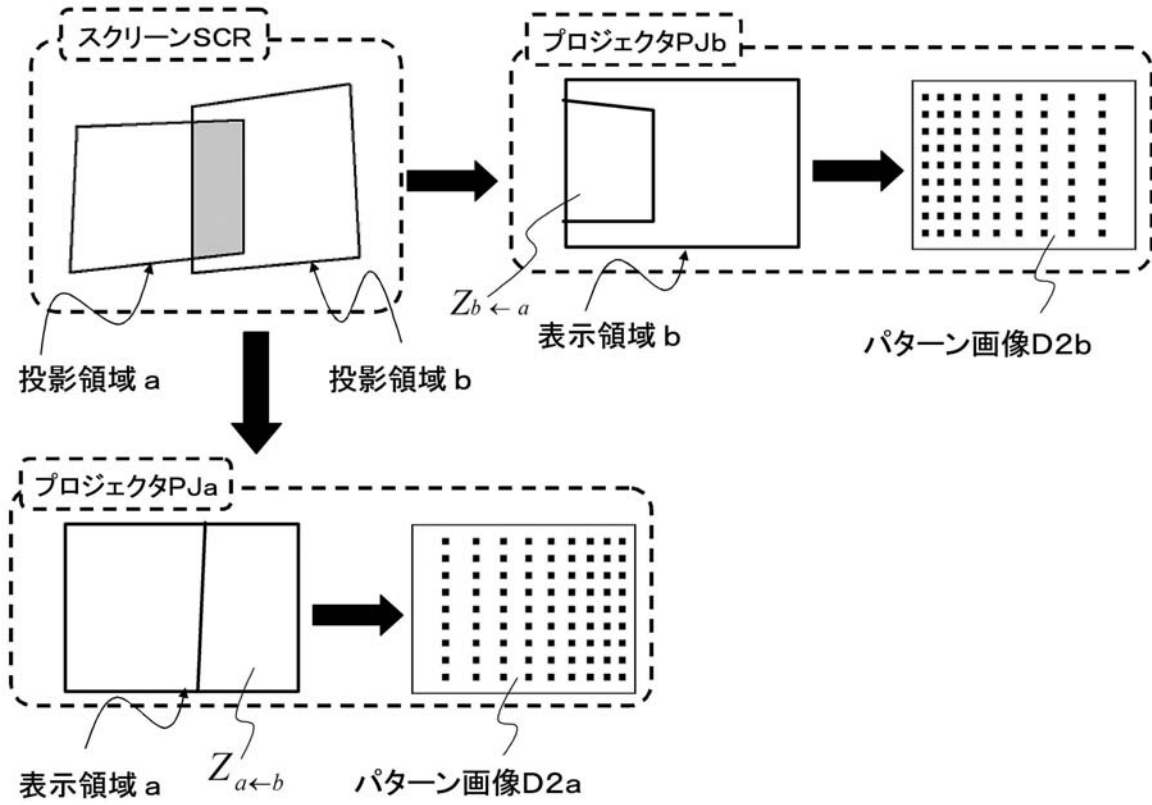
【図 12】



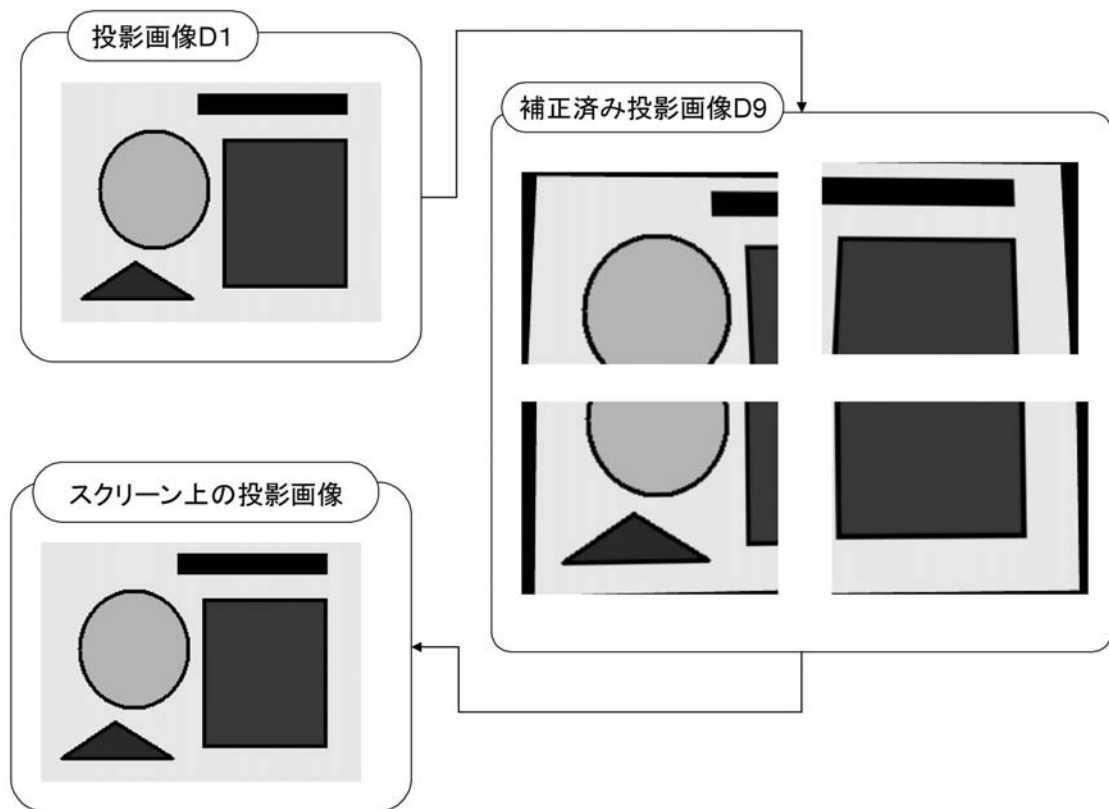
【図 16】



【図 18】



【図 29】



フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第99/031877(WO,A1)

特表2004-507954(JP,A)

特開平08-168039(JP,A)

特開2003-046751(JP,A)

特開2003-174602(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

H04N 5/74

G03B 21/00