

(51)Int.Cl.

F I

G 0 1 B	11/24	(2006.01)	G 0 1 B	11/24	K
G 0 6 T	1/00	(2006.01)	G 0 6 T	1/00	3 1 5
G 0 6 T	7/20	(2006.01)	G 0 6 T	7/20	B
G 0 6 T	7/60	(2006.01)	G 0 6 T	7/60	1 8 0 B

請求項の数7 (全25頁)

(21)出願番号 特願2005-159249(P2005-159249)
 (22)出願日 平成17年5月31日(2005.5.31)
 (65)公開番号 特開2006-337075(P2006-337075A)
 (43)公開日 平成18年12月14日(2006.12.14)
 審査請求日 平成17年8月16日(2005.8.16)

前置審査

(73)特許権者 000006013
 三菱電機株式会社
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
 (73)特許権者 390014306
 防衛省技術研究本部長
 東京都新宿区市谷本村町5番1号
 (74)代理人 100110423
 弁理士 曾我 道治
 (74)代理人 100084010
 弁理士 古川 秀利
 (74)代理人 100094695
 弁理士 鈴木 憲七
 (74)代理人 100111648
 弁理士 梶並 順

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 3次元情報復元装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

撮影対象を撮影したカメラの移動量と回転量の動き情報を動画像入力データに基づいて逐次推定する運動推定部と、

撮影対象までの距離情報を動画像入力データに基づいて逐次推定する距離推定部とを備えた3次元情報復元装置であって、

前記運動推定部は、今回時刻の動画像入力データと、今回時刻の仮定したカメラの移動量と回転量の動き情報と、前記距離推定部で推定された前回時刻の距離情報とに基づいて前回時刻のカメラ位置から見た動画像入力データを座標の第1変換後の動画像入力データとして生成し、前記第1変換後の動画像入力データと前回時刻の動画像入力データとの明度誤差をカメラの移動量と回転量の修正量で偏微分した結果として得られる方程式の解を用いて、前記今回時刻の仮定したカメラの移動量と回転量の動き情報を逐次修正することにより今回時刻のカメラの移動量と回転量の動き情報を推定し、

前記距離推定部は、複数の今回時刻の仮定した距離情報のそれぞれに対して、前回時刻の動画像入力データと、前記運動推定部で推定された前記今回時刻のカメラの移動量と回転量の動き情報とに基づいて複数の座標の第2変換後の動画像入力データを生成し、前記複数の第2変換後の動画像入力データの中から、今回時刻の動画像入力データとの明度の一致度が最大となる第2変換後の動画像入力データを特定する処理を今回時刻の動画像入力データの画素毎に行い、特定した第2変換後の動画像入力データに対応する今回時刻の仮定した距離情報を今回時刻の距離情報として推定する

ことを特徴とする 3 次元情報復元装置。

【請求項 2】

前記運動推定部は、

前記動画入力データが逐次記憶される第 1 の画像記憶部と、

前記今回時刻の仮定したカメラの移動量と回転量の動き情報を出力する運動誤差修正部と、

前記今回時刻の動画入力データと、前記今回時刻の仮定したカメラの移動量と回転量の動き情報と、

前記距離推定部で推定された前回時刻の距離情報とに基づいて前記第 1 変換後の動画入力データを生成する第 1 の座標変換部と、

前記第 1 の画像記憶部に記憶された前回時刻の動画入力データに基づいて前記前回時刻の動画入力データの空間微分による微分画像を算出するとともに、前記第 1 変換後の動画入力データと前回時刻の動画入力データとの差分に基づいて、時間微分による微分画像を算出する時空間微分処理部と、

時空間微分されたそれぞれの前記微分画像と前記前回時刻の距離情報とに基づいて、前記第 1 変換後の動画入力データと前記前回時刻の動画入力データとの明度誤差をカメラの移動量と回転量の修正量で偏微分した結果として得られる方程式の解をカメラの移動量と回転量の動き情報誤差量として算出する運動誤差推定部とを備え、

前記運動誤差修正部は、前記運動誤差推定部で算出された前記カメラの移動量と回転量の動き情報誤差量を加算することにより前記今回時刻の仮定したカメラの移動量と回転量の動き情報を更新して前記第 1 の座標変換部に出力し、その後、更新した今回時刻の仮定したカメラの移動量と回転量の動き情報に対応して前記運動誤差推定部で算出された新たなカメラの移動量と回転量の動き情報誤差量を受信することにより、前記更新した今回時刻の仮定したカメラの移動量と回転量の動き情報をさらに更新する処理を所定回数繰り返すことにより最終的に更新した今回時刻の仮定したカメラの移動量と回転量の動き情報を今回時刻のカメラの移動量と回転量の動き情報として推定し、

前記距離推定部は、

前記動画入力データが逐次記憶された第 2 の画像記憶部と、

前記複数の今回時刻の仮定した距離情報を出力する対応点探索部と、

前記複数の今回時刻の仮定した距離情報のそれぞれに対して、前記第 2 の画像記憶部に記憶された前記前回時刻の動画入力データと、

前記運動推定部で推定された前記今回時刻のカメラの移動量と回転量の動き情報とに基づいて前記複数の第 2 変換後の動画入力データを生成する第 2 の座標変換部と、

前記複数の第 2 変換後の動画入力データのそれぞれに対して、前記今回時刻の動画入力データとの明度の一致度に基づく複数の 2 次元的な評価値を算出するマッチング処理部とを備え、

前記対応点探索部は、今回時刻の動画入力データの画素毎に、前記マッチング処理部で算出された前記複数の 2 次元的な評価値の中から最も一致度の高い評価値に対応する今回時刻の仮定した距離情報を今回時刻の距離情報として推定する、

ことを特徴とする請求項 1 に記載の 3 次元情報復元装置。

【請求項 3】

前記距離推定部は、前記運動推定部から出力される各時刻におけるカメラの移動量と回転量の動き情報を累積し、累積結果が所定値を超えるごとに、画像更新指令を出力する画像更新判定部をさらに備え、

前記画像更新判定部から前記画像更新指令が出力されるごとに今回時刻の距離情報を推定することを特徴とする請求項 2 に記載の 3 次元情報復元装置。

【請求項 4】

前記距離推定部は、前記対応点探索部からの前記複数の仮定した距離情報に対応するそれぞれの評価値に基づいて、最も一致度の高い評価値に対応する距離情報の近傍における評価値の曲率から距離信頼度を判定する距離信頼度算出部をさらに備え、

前記運動推定部は、前記時空間微分処理部が出力する空間微分による前記微分画像を所定値と比較することにより前記微分画像の微分信頼度を算出する微分信頼度算出部をさらに備え、

前記運動誤差推定部は、前記微分信頼度算出部が出力する前記微分信頼度および前記距離信頼度算出部が出力する前記距離信頼度を受けて、時空間微分されたそれぞれの前記微分画像において、前記微分信頼度が高く、かつ前記距離信頼度が高い領域を特定して前記カメラの移動量と回転量の動き情報誤差量を算出する、ことを特徴とする請求項 2 に記載の 3 次元情報復元装置。

【請求項 5】

動画入力データに基づいて複数の解像度レベルを有する 1 組のピラミッド画像データを生成するピラミッド画像生成部をさらに備え、

前記運動推定部は、前記ピラミッド画像生成部からの前記 1 組のピラミッド画像が記憶される第 3 の画像記憶部をさらに備え、

前記 1 組のピラミッド画像の解像度レベルの最も低い画像データに対するカメラの移動量と回転量の動き情報を推定し、その後、前記カメラの移動量と回転量の動き情報を今回時刻の仮定したカメラの移動量と回転量の動き情報の初期値として、次に解像度レベルの低い画像データに対するカメラの移動量と回転量の動き情報を推定する処理を繰り返すことにより解像度レベルの最も高い画像データに対するカメラの移動量と回転量の動き情報を推定し、

前記距離推定部は、前記ピラミッド画像生成部からの前記 1 組のピラミッド画像が記憶される第 4 の画像記憶部をさらに備え、

前記 1 組のピラミッド画像の解像度レベルの最も低い画像データに対する距離情報を推定し、その後、前記距離情報の近傍範囲を前記複数の今回時刻の仮定した距離情報の初期値として、次に解像度レベルの低い画像データに対する距離情報を推定する処理を繰り返すことにより解像度レベルの最も高い画像データに対する距離情報を推定する、

ことを特徴とする請求項 2 に記載の 3 次元情報復元装置。

【請求項 6】

前記運動推定部は、外部の動きセンサにより計測されたカメラの移動量と回転量の動き情報と、前記運動誤差修正部で推定された前記カメラの移動量と回転量の動き情報とに基づいて絶対運動量に換算する補正係数を算出し、逐次推定される前記カメラの移動量と回転量の動き情報に前記補正係数を掛け合わせるにより絶対運動量を逐次算出する絶対運動量換算部をさらに備え、

前記距離推定部は、前記絶対運動量換算部から前記補正係数を受けて、前記対応点探索部により逐次推定される距離情報に前記補正係数を掛け合わせるにより絶対距離を逐次算出する絶対距離換算部をさらに備えることを特徴とする請求項 2 に記載の 3 次元情報復元装置。

【請求項 7】

前記距離推定部は、外部の距離センサにより計測された撮影対象の距離情報と、前記対応点探索部で推定された前記距離情報とに基づいて絶対距離に換算する補正係数を算出し、逐次推定される前記距離情報に前記補正係数を掛け合わせるにより絶対距離を逐次算出する絶対距離換算部をさらに備え、

前記運動推定部は、前記絶対距離換算部から前記補正係数を受けて、前記運動誤差修正部により逐次推定されるカメラの移動量と回転量の動き情報に前記補正係数を掛け合わせるにより絶対運動量を逐次算出する絶対運動量換算部をさらに備えることを特徴とする請求項 2 に記載の 3 次元情報復元装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、撮影対象までの距離、撮影対象の形状および撮影したカメラの動きを画像から推定する 3 次元情報復元装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

カメラで撮影した画像データから撮影対象の3次元形状を求める手法として、ステレオ視あるいは両眼立体視と呼ばれる手法がある。2台のカメラのレンズ中心を離して配置して同一の撮影対象を撮影し、視点の異なる画像から撮影対象の奥行きを三角測量の原理で求めて撮影対象の3次元形状を復元する。

【0003】

また、両眼立体視と同様の原理を用いて画像データから撮影対象の3次元形状を求める手法として運動立体視と呼ばれる手法がある。両眼立体視のように2台のカメラを配置するのではなく、運動立体視は、1台のカメラを移動させて視点の異なる画像を1台のカメラから得る。動画像データから時間差のある画像データを取り出せば、両眼立体視と同様に三角測量の原理により撮影対象の奥行きを求めることができる。

10

【0004】

さらに、画像データだけを用いてカメラの運動量と撮影対象の距離を求める手法として、8点アルゴリズムと呼ばれる手法がある(非特許文献1)。8点アルゴリズムは、撮影対象上の8点を観測してカメラの移動の前後の8点の対応からカメラの運動量と8点の距離を求める手法である。

【0005】

また、画像データだけを用いてカメラの運動量と撮影対象の距離を求める別の手法として、因子分解法と呼ばれる手法がある(非特許文献2)。カメラの移動の前後の画像の対応点の位置を成分に持つ計測行列を、カメラ又は撮影対象の運動を表現する行列と撮影対象の形状を表現する行列との積に分解することで動画像データから撮影対象の形状とカメラの視点の相対位置を同時に求める手法である。

20

【0006】

【非特許文献1】H.C.Longuet-Higgins, "Computer Algorithm for Reconstructing a Scene From Two Projections," Nature, vol.293, pp.133-135, Sept 1981.

【非特許文献2】C. Tomasi and T. Kanade, "Shape and motion from image streams under orthography: A factorization method," International Journal of Computer Vision, 9(2):pp.137-154, 1992.

【発明の開示】

30

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、従来技術には次のような課題がある。

従来の両眼立体視の技術を用いた3次元情報復元装置は、現実的なカメラの配置では遠距離にある撮影対象の距離を正確に求めることができず、また、カメラが2台必要であるという問題がある。

また、従来の運動立体視の技術を用いた3次元情報復元装置は、カメラの運動量を計測する手段が別に必要になるという難点がある。

また、従来の8点アルゴリズムや因子分解法の技術を用いた3次元情報復元装置は、撮影対象上の空間的に密な点の距離情報を求めることができないという問題がある。

40

【0008】

本発明は上述のような課題を解決するためになされたもので、1台のカメラから得られた2次元の画像から、カメラの3次元運動と撮影対象上の空間的に密な3次元形状を求めることのできる3次元情報復元装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明に係る3次元情報復元装置は、撮影対象を撮影したカメラの移動量と回転量の動き情報を動画像入力データに基づいて逐次推定する運動推定部と、撮影対象までの距離情報を動画像入力データに基づいて逐次推定する距離推定部とを備えた3次元情報復元装置であって、運動推定部は、今回時刻の動画像入力データと、今回時刻の仮定したカメラの

50

移動量と回転量の動き情報と、距離推定部で推定された前回時刻の距離情報とに基づいて前回時刻のカメラ位置から見た動画像入力データを座標の第1変換後の動画像入力データとして生成し、第1変換後の動画像入力データと前回時刻の動画像入力データとの明度誤差をカメラの移動量と回転量の修正量で偏微分した結果として得られる方程式の解を用いて、今回時刻の仮定したカメラの移動量と回転量の動き情報を逐次修正することにより今回時刻のカメラの移動量と回転量の動き情報を推定し、距離推定部は、複数の今回時刻の仮定した距離情報のそれぞれに対して、前回時刻の動画像入力データと、運動推定部で推定された今回時刻のカメラの移動量と回転量の動き情報とに基づいて複数の座標の第2変換後の動画像入力データを生成し、複数の第2変換後の動画像入力データの中から、今回時刻の動画像入力データとの明度の一致度が最大となる第2変換後の動画像入力データを特定する処理を今回時刻の動画像入力データの画素毎に行い、特定した第2変換後の動画像入力データに対応する今回時刻の仮定した距離情報を今回時刻の距離情報として推定するものである。

10

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、距離推定部が出力する距離情報を運動推定部の入力とし、運動推定部が出力する動き情報を距離推定部の入力とし、運動推定部および距離推定部の演算結果を交互に利用することにより、入力画像の情報だけから、運動推定部により撮影したカメラの動きを推定することができるとともに、距離推定部により撮影対象までの距離情報を推定することができ、1台のカメラから得られた2次元の画像から、カメラの3次元運動と撮影対象上の空間的に密な3次元形状を求めることのできる3次元情報復元装置を得ることができる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

以下、本発明の3次元情報復元装置の好適な実施の形態につき図面を用いて説明する。

本発明の3次元情報復元装置は、運動推定部と距離推定部とを備え、互いの推定結果を交互に利用することにより、1台のカメラからの動画像入力データからカメラの3次元運動と撮影対象上の空間的に密な3次元形状を求めることができることを特徴とする。

【0012】

実施の形態1.

30

図1は、本発明の実施の形態1における3次元情報復元装置の構成図である。3次元情報復元装置は、運動推定部100と距離推定部200とで構成される。運動推定部100は、動画像入力データである動画像データ $I(x, y, t)$ と、距離推定部200が出力する前回時刻の距離情報 $D(x, y, t - t)$ を受けて、カメラの3次元空間上の今回時刻の動き情報 $M(t)$ を推定する。

【0013】

ここで x および y は、画像平面上の座標を表す変数であり、 t は時刻を表す。また、 t は、動画像における1フレーム～数フレームに対応する僅かな時間を表す。以下の記載において、 $t - t$ は、 t を今回時刻とした場合の前回時刻に相当する。そして、今回時刻の動き情報 $M(t)$ とは、前回時刻 $t - t$ から今回時刻 t までのカメラの動きに相当する。

40

【0014】

動画像データである $I(x, y, t)$ は、時刻 t における点 (x, y) 上の画像の明度を表し、距離情報である $D(x, y, t - t)$ は、カメラのレンズ中心から点 (x, y) 方向に直線を伸ばしたとき、時刻 $t - t$ におけるカメラのレンズ中心から直線と撮影対象とが交わる交点までの距離を表す。

【0015】

カメラの動きは、カメラのレンズ中心の移動量 $T = (U, V, W)$ とカメラの回転量 $= (A, B, C)$ とを用いて表すことができ、撮影装置の動き情報 $M(t)$ は、時刻 t における (U, V, W, A, B, C) を成分に持つベクトルとして表すことができる。

50

【 0 0 1 6 】

図 2 は、本発明の実施の形態 1 におけるカメラの動き量を表す成分 (U、V、W、A、B、C) の座標軸上でのそれぞれの方向を説明する図である。図 2 において、x y 座標系は、画像面を表す 2 次元の座標系である。画像面に垂直に Z 軸をとり、画像面からカメラの焦点距離 f だけ離れた Z 軸上に原点 O をとる。この原点 O は、視点を表し、カメラのレンズの中心に対応する。この原点 O から x 軸、y 軸に平行にそれぞれ X 軸、Y 軸をとる。

【 0 0 1 7 】

X Y Z 座標系は、カメラに固定した座標系であり、カメラを中心とした 3 次元空間を表す。空間上の点 $P = (X、Y、Z)$ は、この点 P と原点 O とを結ぶ直線の画像面との交点 p に投影されることを表している。撮影装置の動きを表す U、V、W は、それぞれ X 軸、Y 軸、Z 軸方向の撮影装置の並進移動量を表し、撮影装置の動きを表す A、B、C は、それぞれ X 軸、Y 軸、Z 軸まわりの右ねじ方向の回転量を表すものとする。

10

【 0 0 1 8 】

距離推定部 2 0 0 は、動画像データ $I (x、y、t)$ と、運動推定部 1 0 0 が出力するカメラの今回時刻の動き情報 $M (t)$ を受けて、撮影対象までの今回時刻の距離情報 $D (x、y、t)$ を推定する。

【 0 0 1 9 】

すなわち、ある時刻 t を今回時刻とすると、まず始めに、運動推定部 1 0 0 は、今回時刻の動画像データ $I (x、y、t)$ と、距離推定部 2 0 0 で推定された前回時刻の距離情報 $D (x、y、t - t)$ とに基づいて、今回時刻の動き情報 $M (t)$ を推定する。次に、距離推定部 2 0 0 は、今回時刻の動画像データ $I (x、y、t)$ と、運動推定部 1 0 0 で推定された今回時刻の動き情報 $M (t)$ に基づいて、今回時刻の距離情報 $D (x、y、t)$ を推定する。そして、これらの処理を交互に繰り返すことにより、本発明の 3 次元情報復元装置は、動き情報と距離情報を逐次推定することとなる。

20

【 0 0 2 0 】

図 3 は、本発明の実施の形態 1 における 3 次元情報復元装置の構成図であり、運動推定部 1 0 0 と距離推定部 2 0 0 の詳細な構成を示している。図 3 において、運動推定部 1 0 0 は、第 1 の画像記憶部 1 1 0、第 1 の座標変換部 1 2 0、時空間微分処理部 1 3 0、運動誤差推定部 1 4 0、および運動誤差修正部 1 5 0 で構成される。一方、距離推定部 2 0 0 は、第 2 の画像記憶部 2 1 0、第 2 の座標変換部 2 2 0、マッチング処理部 2 3 0、および対応点探索部 2 4 0 で構成される。

30

【 0 0 2 1 】

始めに、運動推定部 1 0 0 の作動原理を説明する。第 1 の画像記憶部 1 1 0 は、動画像データ $I (x、y、t)$ を逐次記憶する記憶部であり、今回時刻 t に対する前回時刻 $t - t$ の動画像データ $I (x、y、t - t)$ を常に記憶している。

【 0 0 2 2 】

第 1 の座標変換部 1 2 0 は、前回時刻 $t - t$ における距離情報 $D (x、y、t - t)$ と、今回時刻の仮定したカメラの動き情報 $M' (t)$ を用いて、今回時刻の動画像データ $I (x、y、t)$ を座標変換し、今回時刻の動画像データ $I (x、y、t)$ を前回時刻 $t - t$ におけるカメラの位置から見た画像データに相当する第 1 変換後の動画像データ $I^w (x、y、t)$ を生成する。

40

【 0 0 2 3 】

また、今回時刻の仮定したカメラの動き情報 $M' (t)$ は、最終的に推定されるべき今回時刻のカメラの動き情報 $M (t)$ に対して誤差量を含んでいるものであり、この誤差量を繰り返し演算により最小化することにより、今回時刻のカメラの動き情報 $M (t)$ を求めることとなる。そこで、まず始めに、第 1 の座標変換部 1 2 0 による第 1 変換後の動画像データ $I^w (x、y、t)$ の具体的な生成方法について、以下に説明する。

【 0 0 2 4 】

仮定したカメラの動き情報を $M' (t) = (U、V、W、A、B、C)$ とすると、撮影対象上の点が $M' (t)$ により画面上で見かけ上、移動して見え、オプティカル・フロー

50

($x(\cdot)$ 、 $y(\cdot)$)が生じる。ここで、(\cdot)は、その前の記号の上に \cdot が付されていることを意味する。撮影対象の画面上の点 p は、撮影対象上の点 P と撮影装置の焦点距離 f 、撮影対象の Z 座標である D を用いて下式(1)で表される。

【0025】

【数1】

$$p = \frac{f}{D} P \quad (1)$$

【0026】

画面上での見かけの動きであるオプティカル・フローは、式(1)を微分することにより、下式(2)で表される。 10

【0027】

【数2】

$$\dot{p} = \frac{f}{D} \left(\dot{P} - \frac{P}{D} \dot{D} \right) \quad (2)$$

【0028】

ここで、カメラに固定した XYZ 座標系が移動することにより、撮影対象上の点の位置が移動することから、カメラのレンズ中心の移動量 $T = (U, V, W)$ およびカメラの回転量 $\theta = (A, B, C)$ による関係式 $P(\cdot) = -T - \theta \times P$ を用いて式(2)を変形し、各成分に分解すると、下式(3)が得られる。ここで、 $P(\cdot)$ は、 P の上に \cdot が付されていることを意味する。 20

【0029】

【数3】

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \frac{1}{D} (-fU + xW) + \frac{xy}{f} A - \left(\frac{x^2}{f} + f \right) B + yC \\ \dot{y} &= \frac{1}{D} (-fV + yW) + \left(\frac{y^2}{f} + f \right) A - \frac{xy}{f} B - xC \end{aligned} \quad (3)$$

30

【0030】

第1の座標変換部120は、式(3)の($x(\cdot)$ 、 $y(\cdot)$)を用いて下式(4)により座標変換を行う。

【0031】

【数4】

$$I^w(x, y, t) = I(x + \dot{x}, y + \dot{y}, t) \quad (4)$$

【0032】

時空間微分処理部130は、第1の画像記憶部110が出力する前回時刻 $t - \delta t$ における入力画像 $I(x, y, t - \delta t)$ および第1の座標変換部120が出力する第1変換後の画像 $I^w(x, y, t)$ に対して下式(5)~(7)の演算を行って3種類の画像を出力する。 40

【0033】

【数5】

$$I_x(x, y, t - \delta t) = \frac{\partial I(x, y, t - \delta t)}{\partial x} \quad (5)$$

$$I_y(x, y, t - \delta t) = \frac{\partial I(x, y, t - \delta t)}{\partial y} \quad (6)$$

$$I_t(x, y, t) = I^w(x, y, t) - I(x, y, t - \delta t) \quad (7)$$

【 0 0 3 4 】

式 (5) および式 (6) は、それぞれ x 軸方向および y 軸方向の空間微分を表し、デジタル画像処理で公知の P r e w i t t オペレータや S o b e l オペレータにより実現することができる。式 (7) は、時間方向の微分に関連した式であり、時間差のある 2 画面の差分を表している。

【 0 0 3 5 】

運動誤差推定部 1 4 0 は、時空間微分処理部 1 3 0 が出力する 3 種類の微分画像 $I_x (x, y, t - t)$ 、 $I_y (x, y, t - t)$ 、 $I_t (x, y, t)$ を受けて、第 1 の座標変換部 1 2 0 の入力に使用した、仮定したカメラの動き情報 $M' (t)$ に含まれる誤差を推定する。

10

【 0 0 3 6 】

ここで、運動誤差推定部 1 4 0 の作動原理を具体的に説明する。カメラが移動して視点が僅かに変化した場合にも、撮影対象上の移動前後の同じ点において、画面上での明度は、ほとんど変化しない。従って、下式 (8) が成り立つ。

【 0 0 3 7 】

【 数 6 】

$$I^w(x, y, t) - I(x, y, t - \delta t) = I(x + \dot{x}, y + \dot{y}, t) - I(x, y, t - \delta t) = 0 \quad (8)$$

【 0 0 3 8 】

ところが、仮定したカメラの動き情報 $M' (t)$ に誤差が含まれると、 $M' (t)$ の誤差が式 (3) に従ってオプティカル・フロー ($x(\cdot)$ 、 $y(\cdot)$) の誤差 ($x(\cdot)$ 、 $y(\cdot)$) となる。そして、画面上の対応点の誤差となって現れ、式 (8) の明度に誤差が生じることになり、式 (8) の右辺は、0 にはならない。式 (8) の左辺を 2 画面が重なる範囲 R 内で下式 (9) のように加算すると、画面全体での明度の誤差の合計を表す式が得られる。

20

【 0 0 3 9 】

【 数 7 】

$$e_c = \sum_{x, y \in R} (I(x + \dot{x} + \Delta \dot{x}, y + \dot{y} + \Delta \dot{y}, t) - I(x, y, t - \delta t))^2 \quad (9)$$

30

【 0 0 4 0 】

x 、 y 、 t の変化が小さい場合、 $I(x, y, t)$ に対するテーラー展開から、式 (9) は、下式 (10) のように近似することができる。

【 0 0 4 1 】

【 数 8 】

$$e_c = \sum_{x, y \in R} (\Delta \dot{x} I_x + \Delta \dot{y} I_y + I_t)^2 \quad (10)$$

【 0 0 4 2 】

ここで、オプティカル・フローの誤差 ($x(\cdot)$ 、 $y(\cdot)$) は、前述のように仮定したカメラの動き情報 $M' (t)$ の推定誤差に起因する。そこで、カメラの動きの各成分の誤差を (U 、 V 、 W 、 A 、 B 、 C) と表すと、仮定したカメラの動き情報 $M' (t)$ の推定誤差に起因する画面の明度誤差は、下式 (11) で表すことができる。

40

【 0 0 4 3 】

【数 9】

$$e_c = \sum_{x,y \in R} \left[\left\{ \frac{1}{D} (-f\Delta U + x\Delta W) + \frac{xy}{f} \Delta A - \left(\frac{x^2}{f} + f \right) \Delta B + y\Delta C \right\} I_x + \left\{ \frac{1}{D} (-f\Delta V + y\Delta W) + \left(\frac{y^2}{f} + f \right) \Delta A - \Delta B \frac{xy}{f} - x\Delta C \right\} I_y + I_t \right]^2 \quad (11)$$

【0044】

画面の明度誤差を最小にするような動きの各成分の誤差 (U、 V、 W、 A、 B、 C) は、明度誤差を最小化する動きの各成分の修正量と捉えることができる。この修正量を求めるために、 e_c を U、 V、 W、 A、 B、 C それぞれで偏微分すると、 e_c の最小点では偏微分がそれぞれ 0 となる。したがって、偏微分が全て 0 とおいた連立方程式 (12) を解くことにより、 e_c を最小にする U、 V、 W、 A、 B、 C を求めることができる。

10

【0045】

【数 10】

$$\frac{\partial e_c}{\partial \Delta U} = 0$$

$$\frac{\partial e_c}{\partial \Delta V} = 0$$

$$\frac{\partial e_c}{\partial \Delta W} = 0$$

$$\frac{\partial e_c}{\partial \Delta A} = 0$$

$$\frac{\partial e_c}{\partial \Delta B} = 0$$

$$\frac{\partial e_c}{\partial \Delta C} = 0$$

(12)

20

【0046】

運動誤差推定部 140 は、式 (12) を解く演算手段であり、仮定したカメラの動き情報 $M'(t)$ の推定誤差 (U、 V、 W、 A、 B、 C) を出力する。式 (12) の第 1 式である e_c の U による偏微分は、展開すると下式 (13) となる。

【0047】

【数 1 1】

$$\begin{aligned}
\frac{\partial e_c}{\partial \Delta U} &= f^2 \left(\sum_{x,y \in R} \frac{I_x^2}{D^2} \right) \Delta U + f^2 \left(\sum_{x,y \in R} \frac{I_x I_y}{D^2} \right) \Delta V \\
&- \left\{ f \left(\sum_{x,y \in R} \frac{x I_x^2}{D^2} \right) + f \left(\sum_{x,y \in R} \frac{y I_x I_y}{D^2} \right) \right\} \Delta W \\
&- \left\{ \left(\sum_{x,y \in R} \frac{xy I_x^2}{D} \right) + \left(\sum_{x,y \in R} \frac{y^2 I_x I_y}{D} \right) + f^2 \left(\sum_{x,y \in R} \frac{I_x I_y}{D} \right) \right\} \Delta A \\
&+ \left\{ \left(\sum_{x,y \in R} \frac{x^2 I_x^2}{D} \right) + \left(\sum_{x,y \in R} \frac{xy I_x I_y}{D} \right) + f^2 \left(\sum_{x,y \in R} \frac{I_x^2}{D} \right) \right\} \Delta B \\
&+ \left\{ -f \left(\sum_{x,y \in R} \frac{y I_x^2}{D} \right) + f \left(\sum_{x,y \in R} \frac{x I_x I_y}{D} \right) \right\} \Delta C - f \left(\sum_{x,y \in R} \frac{I_t I_x}{D} \right) = 0
\end{aligned} \tag{13}$$

10

【0048】

式(12)の第2式から第6式も同様に展開することができ、展開した結果は、いずれも未知数(U、 V、 W、 A、 B、 C)についての1次式となり、未知数に係る係数は、カメラの焦点距離 f と、画面上の座標(x、 y)と、時空間微分処理部130が出力する3種類の微分画像 I_x 、 I_y 、 I_t と、撮影対象上の点の Z 座標 D を用いて表すことができる。加算演算の後には、係数は定数となるので、式(12)は、6元1次の連立方程式として簡単に解くことができる。

20

【0049】

運動誤差修正部150は、第1の座標変換部120に前述したような仮定したカメラの動き情報 $M'(t) = (U, V, W, A, B, C)$ を出力するとともに、運動誤差推定部140が求めた修正量(U、 V、 W、 A、 B、 C)を下式(14)のように加算することによりカメラの誤差の少ない新たな仮定した動き情報 $M'(t)$ としてデータを更新する。

【0050】

【数 1 2】

$$M'(t) = (U + \Delta U, V + \Delta V, W + \Delta W, A + \Delta A, B + \Delta B, C + \Delta C) \tag{14}$$

30

【0051】

運動誤差修正部150により更新された仮定したカメラの動き情報 $M'(t)$ は、再び第1の座標変換部120に対して出力される。そして、第1の座標変換部120、時空間微分処理部130、および運動誤差推定部140による上述した一連の処理により、更新された仮定したカメラの動き情報 $M'(t)$ に対応する新たな修正量(U、 V、 W、 A、 B、 C)が算出される。

【0052】

運動誤差修正部150は、新たな修正量(U、 V、 W、 A、 B、 C)を用いて再び仮定したカメラの動き情報 $M'(t)$ を更新する。このような処理を繰り返すことにより、仮定したカメラの動き情報 $M'(t)$ に含まれる誤差量を小さくしていくことができる。

40

【0053】

すなわち、運動推定部100は、今回時刻の動画データ $I(x, y, t)$ 、距離推定部200が出力する前回時刻の距離情報 $D(x, y, t - \Delta t)$ 、および仮定したカメラの動き情報 $M'(t)$ に基づいて、仮定したカメラの動き情報 $M'(t)$ に含まれている誤差量を算出して仮定したカメラの動き情報 $M'(t)$ を更新する処理を所定回数繰り返すことにより、仮定したカメラの動き情報 $M'(t)$ に含まれている誤差を減少させる。

50

【 0 0 5 4 】

運動誤差修正部 1 5 0 は、所定回数の繰り返し演算処理が終了した後に、最終的に更新された仮定したカメラの動き情報 $M'(t)$ を、推定すべき今回時刻のカメラの動き情報 $M(t)$ として出力する。

【 0 0 5 5 】

また、運動誤差修正部 1 5 0 が出力する仮定したカメラの動き情報 $M'(t)$ の初期値は、 $M'(t) = (0, 0, 0, 0, 0, 0)$ から始めてもよいし、前回時刻 $t - \Delta t$ において最終的に推定されたカメラの動き情報 $M(t - \Delta t)$ を初期値としてもよい。

【 0 0 5 6 】

運動推定部 1 0 0 は、所定の回数だけ運動誤差推定と運動誤差修正を繰り返して、時刻 t のカメラの動き情報 $M(t)$ の推定演算を確定する。 $M(t)$ の推定演算を確定した後、運動推定部 1 0 0 は、入力データの時刻を t から $t + \Delta t$ に進めて同様の演算を繰り返す。

10

【 0 0 5 7 】

すなわち、運動推定部 1 0 0 は、次回時刻の動画像データ $I(x, y, t + \Delta t)$ と、距離推定部 2 0 0 が出力する今回時刻の距離情報 $D(x, y, t)$ を受け、第 1 の画像記憶部 1 1 0 は、次回時刻 $t + \Delta t$ における入力画像 $I(x, y, t + \Delta t)$ を記憶し、事前に記憶していた今回時刻の入力画像 $I(x, y, t)$ を出力して、次回時刻のカメラの動き情報 $M(t + \Delta t)$ を推定する上記演算を実行する。

【 0 0 5 8 】

次に、距離推定部 2 0 0 の作動原理を説明する。距離推定部 2 0 0 は、今回時刻の動画像データ $I(x, y, t)$ と、運動推定部 1 0 0 が出力する今回時刻のカメラの動き情報 $M(t)$ を受けて、撮影対象までの今回時刻の距離情報 $D(x, y, t)$ を推定する。

20

【 0 0 5 9 】

第 2 の画像記憶部 2 1 0 は、動画像データ $I(x, y, t)$ を逐次記憶する記憶部であり、今回時刻 t に対する前回時刻 $t - \Delta t$ の動画像データ $I(x, y, t - \Delta t)$ を常に記憶している。

【 0 0 6 0 】

第 2 の座標変換部 2 2 0 は、今回時刻のカメラの動き情報 $M(t)$ と、対応点探索部 2 4 0 が出力する、距離情報 D を求めるための仮定した今回時刻の距離情報 $D'(x, y)$ を用いて、第 2 の画像記憶部 2 1 0 に記憶された前回時刻の動画像データ $I(x, y, t - \Delta t)$ を座標変換し、前回時刻の動画像データ $I(x, y, t - \Delta t)$ を今回時刻 t におけるカメラの位置から見た画像データに相当する第 2 変換後の動画像データ $I^{w'w'}(x, y, t - \Delta t)$ を生成する。

30

【 0 0 6 1 】

前回時刻 $t - \Delta t$ から今回時刻 t までのカメラの動き情報である $M(t)$ が与えられると、時刻 t から時刻 $t - \Delta t$ までの時間を遡ったカメラの逆の動き (U', V', W', A', B', C') は、(U, V, W, A, B, C) の符号を変える等、逆変換して簡単に求められる。カメラを時刻 t の位置から時刻 $t - \Delta t$ の位置に移動させた場合に生じる画面上での見かけの動きであるオプティカル・フロー ($x'(\cdot), y'(\cdot)$) は、式 (3) と同様に下式 (15) で表される。

40

【 0 0 6 2 】

【数 1 3】

$$\begin{aligned} \dot{x}' &= \frac{1}{D'}(-fU' + xW') + \frac{xy}{f}A' - \left(\frac{x^2}{f} + f\right)B' + yC' \\ \dot{y}' &= \frac{1}{D'}(-fV' + yW') + \left(\frac{y^2}{f} + f\right)A' - \frac{xy}{f}B' - xC' \end{aligned} \quad (15)$$

【 0 0 6 3 】

50

第2の座標変換部220は、式(15)の $(x'(\cdot), y'(\cdot))$ を用いて下式(16)により座標変換を行う。

【0064】

【数14】

$$I^{ww}(x, y, t - \delta t) = I(x + \dot{x}', y + \dot{y}', t - \delta t) \quad (16)$$

【0065】

図4は、本発明の実施の形態1における仮定した距離情報 $D'(x, y)$ とカメラの動き情報 $M(t)$ とオプティカル・フロー $(x'(\cdot), y'(\cdot))$ の関係を図示したものである。時刻 t の画像 $I(x, y, t)$ 上で見ている点 (x, y) が、実際の3次元空間上では、距離 D' の位置にあると仮定すると、時刻 $t - t$ の画像 $I(x, y, t - t)$ 上では、オプティカル・フロー $(x'(\cdot), y'(\cdot))$ 分だけずれて見えることを表している。距離 D' の仮定が正しければ、式(16)による座標変換の結果である $I^{ww}(x, y, t - t)$ は、 $I(x, y, t)$ と同じ撮影対象物上の点を見ているので、撮影対象物上の反射の影響が無視できる場合、画素の明度は一致する。

【0066】

マッチング処理部230は、対応点探索部240が出力した仮定した距離情報 $D'(x, y)$ が正しいかどうかを判定するために、第2の座標変換部220が出力する第2変換後の動画像データ $I^{ww}(x, y, t - t)$ と、今回時刻の動画像データ $I(x, y, t)$ とのそれぞれの画面上の点 (x, y) における明度の一致度を計算する。明度が一致しているかどうかは、点 (x, y) の近傍の画素、例えば、 x 方向に ± 4 画素および y 方向に ± 4 画素の範囲内にある画素の明度を使用して、正規化相互相関や各画素の明度差の絶対値の和を評価値として用いることができる。

【0067】

対応点探索部240は、仮定した距離情報 $D'(x, y)$ を適当な範囲内で変化させることにより、複数の仮定した距離情報 $D'(x, y)$ を出力する。第2の座標変換部220は、複数の仮定した距離情報 $D'(x, y)$ のそれぞれに対応した座標変換の結果 $I^{ww}(x, y, t - t)$ を出力する。

【0068】

マッチング処理部230は、複数の仮定した距離情報 $D'(x, y)$ のそれぞれに対応した $I^{ww}(x, y, t - t)$ と今回時刻の動画像データ $I(x, y, t)$ との一致度を示す評価値 $V(x, y)$ を出力する。さらに、対応点探索部240は、複数の仮定した距離情報 $D'(x, y)$ に対応してマッチング処理部230が出力する複数の評価値 $V(D', x, y)$ の各点 (x, y) 毎に最も評価値のよい仮定した距離を探索する。

【0069】

図5は、本発明の実施の形態1における対応点探索の様子の説明図である。複数の仮定した距離情報 $D'(x, y)$ として、 D_1 、 D_2 、 D_3 の3つを仮定したときに、 D_2 において明度の一致度を表す評価値 $V(D', x, y)$ が最小値を示していることを表しており、 D_2 を点 (x, y) における今回時刻の距離情報 $D(x, y, t)$ とする。

【0070】

図5においては、評価値 V の数値が小さいほど明度がよく一致していることを表している。図5に示す対応点探索は、各点 (x, y) 毎に実施する。この結果、撮影対象上の空間的に密な3次元形状を求めることができる。以上の処理手順により、距離推定部200は、撮影対象までの今回時刻の距離情報 $D(x, y, t)$ を推定する。

【0071】

距離推定部200が出力する撮影対象までの今回時刻の距離情報 $D(x, y, t)$ は、次の時刻の運動推定部100の演算の入力となる。今回時刻 t と次回時刻 $t + t$ の表記を t だけずらして表記して、今回時刻を $t - t$ 、次回時刻を t と表記することにより、運動推定部100の作動原理と距離推定部200の作動原理で説明した演算を繰り返して実行する。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 2 】

これにより、実施の形態 1 による 3 次元情報復元装置は、動画像データ $I(x, y, t)$ を入力としてカメラの 3 次元空間上の動き情報 $M(t)$ および距離情報 $D(x, y, t)$ を推定することができる。

【 0 0 7 3 】

運動推定部 100 の最初の演算を行う時は、距離推定部 200 の出力が得られていないが、このときは、前回時刻の距離情報 $D(x, y, t - t)$ に基づいて撮影対象までの距離を仮定して適当な定数等の初期値を与えておけばよい。

【 0 0 7 4 】

以上のように、実施の形態 1 によれば、運動推定部と距離推定部が互いの推定結果を交互に利用することにより、1 台のカメラからの動画像入力データから動き情報と距離情報を精度よく推定でき、その結果としてカメラの 3 次元運動と撮影対象上の空間的に密な 3 次元形状を求めることができる。

10

【 0 0 7 5 】

なお、実施の形態 1 の説明において、運動推定部 100 は、所定の回数だけ運動誤差推定と運動誤差修正を繰り返して、時刻 t のカメラの動き情報 $M(t)$ の推定演算を確定する場合について説明したが、これに限定されるものではない。算出される修正量 (U 、 V 、 W 、 A 、 B 、 C) の収束状況を所定値と比較することにより、時刻 t のカメラの動き情報 $M(t)$ の推定演算を確定することも可能である。

【 0 0 7 6 】

実施の形態 2 .

図 6 は、本発明の実施の形態 2 における 3 次元情報復元装置の構成図である。図 6 における運動推定部 100 の構成は、実施の形態 1 で示した図 3 における運動推定部 100 の構成と同様である。また、図 6 における距離推定部 200 の構成は、実施の形態 1 で示した図 3 における距離推定部 200 の構成と比較すると、画像更新判定部 250 を新たに備えている。

20

【 0 0 7 7 】

実施の形態 1 の場合と同様に、運動推定部 100 は、今回時刻の動画像データ $I(x, y, t)$ と、距離推定部 200 が出力する前回時刻の距離情報 $D(x, y, t - t)$ を受けて、カメラの 3 次元空間上の今回時刻の動き情報 $M(t)$ を推定する。また、距離推定部 200 は、今回時刻の動画像データ $I(x, y, t)$ と、運動推定部 100 が出力する今回時刻のカメラの動き情報 $M(t)$ を受けて、撮影対象までの今回時刻の距離情報 $D(x, y, t)$ を推定する。

30

【 0 0 7 8 】

次に、実施の形態 1 と構成の異なる距離推定部 200 の動作を中心に説明する。画像更新判定部 250 は、運動推定部 100 が出力する撮影装置の今回時刻の動き情報 $M(t)$ に応じて第 2 の画像記憶部 210 および対応点探索部 240 の更新を制御し、第 2 の座標変換部 220 に入力する撮影装置の動き情報を制御する。

【 0 0 7 9 】

仮定した距離情報 $D'(x, y)$ とカメラの動き情報 $M(t)$ とオプティカル・フロー ($x'(\cdot)$ 、 $y'(\cdot)$) の関係は、先の図 4 に示すとおりである。すなわち、視点の異なる方向から撮影対象物上の点を対応付けて、カメラの動き情報 $M(t)$ とカメラのレンズの中心と撮影対象物上の点から形成される三角形から距離情報 D を求めるので、カメラの動き情報 $M(t)$ の大きさが小さい場合、撮影対象物上の点を頂点とする角度が小さくなる。

40

【 0 0 8 0 】

この場合、カメラのレンズの中心と撮影対象物上の点とを結ぶ方向に誤差が生じると、距離情報 D の誤差に大きく影響する。そこで、画像更新判定部 250 は、動き情報 $M(t)$ を逐次累積していき、その累積後の動き情報 $M(t)$ の大きさ $|M(t)|$ が所定の大きさを超えたときに、第 2 の画像記憶部 210 に対して記憶する画像の更新指令を出

50

力する。また、この更新指令は、対応点探索部 2 4 0 に対する演算指令にもなる。

【 0 0 8 1 】

第 2 の画像記憶部 2 1 0 は、動画像データ $I(x, y, t)$ を入力して記憶するとともに、画像更新判定部 2 5 0 の指令を受けた時刻を今回時刻 t として、前回時刻 $t - t$ に記憶した動画像データ $I(x, y, t - t)$ を出力する。図 7 は、本発明の実施の形態 2 における累積後の動き情報 $M(t)$ に関する累積の始点と、画像の更新指令、第 2 の画像記憶部 2 1 0 の出力の変化を説明する図である。

【 0 0 8 2 】

図 7 において、画像更新判定部 2 5 0 は、累積動き情報の累積を時刻 t_1 から始め、時刻 t_4 のとき累積動き情報である下式 (1 7) が所定の大きさを越えたことにより、更新指令を出力している例を示している。

【 0 0 8 3 】

【 数 1 5 】

$$\sum_{t=t_1}^{t_4} M(t)$$

(1 7)

【 0 0 8 4 】

このとき、第 2 の画像記憶部 2 1 0 は、時刻 t_1 から t だけ前の画像を記憶して時刻 t_1 から時刻 t_4 まで繰り返し出力し、更新指令を受けた時刻 t_4 の次の時刻 t_5 において、時刻 t_5 から t だけ前の時刻 (この例では時刻 t_4 に相当) に記憶していた画像 $I(x, y, t_4)$ を出力する。

【 0 0 8 5 】

また、画像更新判定部 2 5 0 は、時刻 t_4 において、時刻 t_1 から累積を始めた累積動き情報を出力した後、時刻 t_5 において累積動き情報の累積の始点を時刻 t_5 に設定し直す。

【 0 0 8 6 】

第 2 の座標変換部 2 2 0 は、画像更新判定部 2 5 0 が出力する累積動き情報と、対応点探索部 2 4 0 が出力する、距離情報 D を求めるための仮定した距離情報 $D'(x, y)$ を用いて、第 2 の画像記憶部 2 1 0 が出力する動画像データ I を座標変換し、時刻 t におけるカメラの位置から見た第 2 変換後の動画像データ $I^{w'w}$ を生成する。座標変換の式は、実施の形態 1 の場合と同様に式 (1 5) に基づいて実行する。

【 0 0 8 7 】

マッチング処理部 2 3 0 の作動原理は、実施の形態 1 の場合と同様である。

【 0 0 8 8 】

対応点探索部 2 4 0 の作動原理は、カメラの動き情報 $M(t)$ の大きさが小さい場合、距離情報 D の誤差が大きくなるので、累積後の動き情報 $M(t)$ の大きさ $|M(t)|$ が所定の大きさを越えたとき、画像更新判定部 2 5 0 が出力する更新指令を受けて撮影対象までの距離情報 $D(x, y, t)$ を推定すること以外は、実施の形態 1 の場合と同様である。

【 0 0 8 9 】

実施の形態 2 によれば、画像更新判定部を有することにより、動き情報の累積値が所定値を超えたタイミングで距離情報の推定を行うことができ、誤差要因を抑えた距離情報の推定を実現できる。さらに、誤差要因を抑えた距離情報に基づいて動き情報が推定されるため、動き情報の誤差要因も抑えることができる。

【 0 0 9 0 】

実施の形態 3 .

図 8 は、本発明の実施の形態 3 における 3 次元情報復元装置の構成図である。図 8 における運動推定部 1 0 0 の構成は、実施の形態 1 で示した図 3 における運動推定部 1 0 0 の構成と比較すると、微分信頼度算出部 1 6 0 を新たに備えている。また、図 8 における距離推定部 2 0 0 の構成は、実施の形態 1 で示した図 3 における距離推定部 2 0 0 の構成と

10

20

30

40

50

比較すると、距離信頼度算出部 260 を新たに備えている。

【0091】

実施の形態 1 の場合と同様に、運動推定部 100 は、今回時刻の動画データ $I(x, y, t)$ と、距離推定部 200 が出力する前回時刻の距離情報 $D(x, y, t - t)$ を受けて、カメラの 3 次元空間上の今回時刻の動き情報 $M(t)$ を推定する。また、距離推定部 200 は、今回時刻の動画データ $I(x, y, t)$ と、運動推定部 100 が出力する今回時刻のカメラの動き情報 $M(t)$ を受けて、撮影対象までの今回時刻の距離情報 $D(x, y, t)$ を推定する。

【0092】

次に、実施の形態 1 と異なる構成を中心に、動作を説明する。運動誤差推定部 140 は、実施の形態 1 の場合と同様に、連立方程式 (12) を解く演算手段であるが、偏微分の展開式 (13) において、実施の形態 1 では、2 画面が重なる範囲を示す領域を R とすると、領域 R 内の全ての画素について加算演算を実施している。

【0093】

これに対して、実施の形態 3 における運動誤差推定部 140 は、微分信頼度算出部 160 および距離信頼度算出部 260 が出力する信頼度に基づいて、時空間微分処理部 130 が出力する微分画像の信頼度、および対応点探索部 240 が出力する距離情報の信頼度が高い画素の情報のみを偏微分の展開式に加算演算に使用している。

【0094】

微分信頼度算出部 160 は、時空間微分処理部 130 が出力する微分画像を判定して、明度勾配が平坦な画素および明度勾配が極端に急峻な画素については、低い信頼度を出力する。この理由は、式 (10) による微分画像 $I_x(x, y, t - t)$ 、 $I_y(x, y, t - t)$ 、 $I_t(x, y, t)$ とオプティカル・フロー ($x(\cdot)$ 、 $y(\cdot)$) の誤差 ($x(\cdot)$ 、 $y(\cdot)$) との関係が、明度勾配が平坦な画素および明度勾配が極端に急峻な画素においては成立し難くなるためである。

【0095】

例えば、微分画像に対する適当な判定しきい値 $Tdev_min$ と $Tdev_max$ を設定し、下式 (18) として $Cdev(x, y, t - t)$ を微分信頼度として出力する。

【0096】

【数 16】

$$\begin{aligned} Tdev_min < I_x(x, y, t - \delta t) < Tdev_max \quad \text{または} \\ Tdev_min < I_y(x, y, t - \delta t) < Tdev_max \quad \text{のとき、} \\ Cdev(x, y, t - \delta t) = 1 \\ \text{上記以外、} Cdev(x, y, t - \delta t) = 0 \end{aligned} \quad (18)$$

【0097】

距離信頼度算出部 260 は、複数の仮定した距離情報 $D'(x, y)$ に対するそれぞれの評価値 $V(D', x, y)$ 、および評価値が最小値を示す距離情報 $D(x, y)$ を対応点探索部 240 から受け取り、距離情報 $D(x, y)$ の安定性を判定して、距離情報 $D(x, y)$ の距離信頼度 $Cdis(x, y, t)$ を出力する。

【0098】

図 9 は、本発明の実施の形態 3 における距離情報 $D(x, y)$ の距離信頼度に関する説明図である。この図 9 においては、先の図 5 と同様に、評価値 V が小さい方が第 2 の座標変換部 220 が出力する座標変換後の動画データ $I^{w,w}(x, y, t - t)$ と動画データ $I(x, y, t)$ の画面上の点 (x, y) との明度の一致度がよいことを表している。

【0099】

図 9 (a) において、評価値が最小値 $Vmin$ を示す距離情報 $D(x, y)$ の近傍の評

10

20

30

40

50

価値 $V(D', x, y)$ の曲率半径 r_a は小さく、その逆数である曲率 $Curv(x, y)$ は大きいこととなる。したがって、この場合には、先に対応点探索部 240 で探索された評価値が最小値 V_{min} を示す距離情報 $D(x, y)$ は、他の距離情報と比較して明らかに小さい評価値を有しているものとして、安定していると見なすことができ、信頼度は高いと考えられる。

【0100】

一方、図 9 (b) において、評価値が最小値 V_{min} を示す距離情報 $D(x, y)$ の近傍の評価値 $V(D', x, y)$ の曲率半径 r_b は大きく、その逆数である曲率 $Curv(x, y)$ は小さいこととなる。したがって、この場合には、先に対応点探索部 240 で探索された評価値が最小値 V_{min} を示す距離情報 $D(x, y)$ は、他の距離情報と比較して明らかに小さい評価値を有しているものとは必ずしもいえず、距離情報が前後することがあり、安定していないと見なすことができ、信頼度は低いと考えられる。

10

【0101】

距離信頼度算出部 260 は、例えば、評価値の最小値 V_{min} および評価値が最小値を示す点における曲率 $Curv$ に対して適当な判定しきい値 T_v と T_{curv} を設定し、下式 (19) として $C_{dis}(x, y, t)$ を距離信頼度として出力する。

【0102】

【数 17】

$V_{min}(x, y) < T_v$ かつ、 $T_{curv} < Curv(x, y)$ のとき、

$$C_{dis}(x, y, t) = 1 \quad (19)$$

20

上記以外、 $C_{dis}(x, y, t) = 0$

【0103】

なお、上述した曲率 $Curv$ は、評価値 $V(D', x, y)$ を 2 次微分することにより得ることが可能である。

【0104】

運動誤差推定部 140 は、微分信頼度算出部 160 が出力する微分信頼度 $C_{dev}(x, y, t - t)$ および距離信頼度算出部 260 が出力する時刻 $t - t$ における距離信頼度 $C_{dis}(x, y, t - t)$ を受けて、 $C_{dev}(x, y, t - t) = 1$ 、かつ $C_{dis}(x, y, t - t) = 1$ のとき、式 (13) における x, y の加算を実行する。

30

【0105】

式 (12) の第 2 式から第 6 式の展開式においても、式 (13) と同様に x, y の加算が現れるが、同様に $C_{dev}(x, y, t - t) = 1$ 、かつ $C_{dis}(x, y, t - t) = 1$ のとき、 x, y の加算を実行する。

【0106】

この結果、運動誤差推定部 140 は、信頼度の高い範囲のデータのみを採用して動き情報の誤差量を推定することができる。

【0107】

実施の形態 3 によれば、運動誤差推定部は、微分信頼度および距離信頼度に基づいて、微分信頼度が高く、かつ距離信頼度が高い画素の情報のみを偏微分の展開式の加算演算に使用することにより、動き情報および距離情報の推定誤差を抑えることができる。

40

【0108】

実施の形態 4 .

図 10 は、本発明の実施の形態 4 における 3 次元情報復元装置の構成図である。図 10 における運動推定部 100 の構成は、実施の形態 1 で示した図 3 における運動推定部 100 の構成と比較すると、第 3 の画像記憶部 170 を新たに備えている。また、図 10 における距離推定部 200 の構成は、実施の形態 1 で示した図 3 における距離推定部 200 の構成と比較すると、第 4 の画像記憶部 270 を新たに備えている。さらに、運動推定部 100 および距離推定部 200 の前段に、ピラミッド画像生成部 300 が新たに設けられて

50

いる。

【 0 1 0 9 】

実施の形態 1 の場合と同様に、運動推定部 1 0 0 は、今回時刻の動画像データ $I(x, y, t)$ と、距離推定部 2 0 0 が出力する前回時刻の距離情報 $D(x, y, t - t)$ を受けて、カメラの 3 次元空間上の今回時刻の動き情報 $M(t)$ を推定する。また、距離推定部 2 0 0 は、今回時刻の動画像データ $I(x, y, t)$ と、運動推定部 1 0 0 が出力する今回時刻のカメラの動き情報 $M(t)$ を受けて、撮影対象までの今回時刻の距離情報 $D(x, y, t)$ を推定する。

【 0 1 1 0 】

次に、実施の形態 1 と異なる構成を中心に、動作を説明する。まず、ピラミッド画像生成部 3 0 0 は、入力画像の解像度がレベル 0 からレベル L (L は 1 以上の整数) に従って粗くなる 1 組のピラミッド画像を生成する。図 1 1 は、本発明の実施の形態 4 におけるピラミッド画像の説明図である。レベル 0 は、入力画像と同じ解像度を持ち、レベル数が大きくなるにつれて解像度が低くなる。解像度が低くなると画素数が少なくなるので、画像の大きさを小さくして解像度が低いことを表している。

10

【 0 1 1 1 】

運動推定部 1 0 0 内の第 3 の画像記憶部 1 7 0 は、ピラミッド画像生成部 3 0 0 が出力する 1 組のピラミッド画像を一旦、記憶する記憶部であり、解像度の低いピラミッド画像から解像度の高いピラミッド画像の順に出力する。第 1 の画像記憶部 1 1 0、第 1 の座標変換部 1 2 0、時空間微分処理部 1 3 0、運動誤差推定部 1 4 0 および運動誤差修正部 1 5 0 の作動原理は、実施の形態 1 の場合と同様である。

20

【 0 1 1 2 】

運動推定部 1 0 0 は、まず始めに、解像度の最も低いレベル L のピラミッド画像に対して、実施の形態 1 の場合と同様に、所定の回数だけ運動誤差推定と運動誤差修正を繰り返して時刻 t のカメラの動き情報 $M(t)$ を推定演算する。次に、第 3 の画像記憶部 1 7 0 は、1 段階だけ解像度の高いレベル ($L - 1$) のピラミッド画像を出力する。

【 0 1 1 3 】

そして、運動推定部 1 0 0 は、レベル L のピラミッド画像を用いて求めた動き情報 $M(t)$ を運動誤差修正部 1 5 0 による新たな仮定した動き情報 $M'(t)$ の初期値として、時刻 t のレベル ($L - 1$) のピラミッド画像に対するカメラの動き情報 $M(t)$ を推定演算する。

30

【 0 1 1 4 】

運動推定部 1 0 0 は、各解像度レベルで推定された動き情報 $M(t)$ を次に解像度の高いレベルでの仮定した動き情報 $M'(t)$ の初期値として使用し、第 3 の画像記憶部 1 7 0 が最も解像度の高いレベル 0 のピラミッド画像を出力するまで運動誤差推定と運動誤差修正を繰り返すことにより、最終的に、時刻 t のカメラの動き情報 $M(t)$ の推定演算を確定する。

【 0 1 1 5 】

一方、距離推定部 2 0 0 内の第 4 の画像記憶部 2 7 0 は、ピラミッド画像生成部 3 0 0 が出力する 1 組のピラミッド画像を一旦、記憶する記憶部であり、解像度の低いピラミッド画像から解像度の高いピラミッド画像の順に出力する。第 2 の画像記憶部 2 1 0、第 2 の座標変換部 2 2 0、マッチング処理部 2 3 0 および対応点探索部 2 4 0 の作動原理は、実施の形態 1 の場合と同様である。

40

【 0 1 1 6 】

距離推定部 2 0 0 は、解像度の低いレベル L のピラミッド画像に対して、実施の形態 1 の場合と同様に、撮影対象までの距離情報 $D(x, y, t)$ を推定する。次に、第 4 の画像記憶部 2 7 0 は、1 段階だけ解像度の高いレベル ($L - 1$) のピラミッド画像を出力して、距離推定部 2 0 0 は、レベル L のピラミッド画像を用いて求めた距離情報 $D(x, y, t)$ を対応点探索部 2 4 0 の探索範囲を限定するために使用する。

【 0 1 1 7 】

50

図 1 2 は、本発明の実施の形態 4 における対応点探索部 2 4 0 の探索範囲を限定する様子の説明図である。レベル (L - 1) のピラミッド画像に対する複数の仮定した今回時刻の距離情報 $D' (x, y)$ としては、レベル L のピラミッド画像を用いて求めた距離情報 $D (x, y, t)$ を挟み、かつ、レベル L における探索範囲よりも狭い範囲を設定することにより、その中から最も評価値の高いものをレベル (L - 1) における今回時刻の距離情報 $D (x, y)$ として探索する。

【 0 1 1 8 】

このように、探索範囲を狭めることにより、対応点探索の処理時間を短縮し、レベル L のピラミッド画像を用いて求めた距離情報 $D (x, y, t)$ よりも解像度の高い距離情報を得ることができる。距離推定部 2 0 0 は、第 4 の画像記憶部 2 7 0 が最も解像度の高いレベル 0 のピラミッド画像を出力するまで距離情報の推定を繰り返して距離情報 $D (x, y, t)$ の推定演算を確定する。

10

【 0 1 1 9 】

実施の形態 4 によれば、ピラミッド画像を用いて解像度の低い画像から動き情報および距離情報を推定しながら検索範囲を徐々に狭めることにより、最終的に解像度の高い画像の動き情報および距離情報を効率よく、かつ高精度で推定できる。

【 0 1 2 0 】

実施の形態 5 .

図 1 3 は、本発明の実施の形態 5 における 3 次元情報復元装置の構成図である。図 1 3 における運動推定部 1 0 0 の構成は、実施の形態 1 で示した図 3 における運動推定部 1 0 0 の構成と比較すると、絶対運動量換算部 1 8 0 を新たに備えている。また、図 1 3 における距離推定部 2 0 0 の構成は、実施の形態 1 で示した図 3 における距離推定部 2 0 0 の構成と比較すると、絶対距離換算部 2 8 0 を新たに備えている。

20

【 0 1 2 1 】

実施の形態 1 の場合と同様に、運動推定部 1 0 0 は、今回時刻の動画像データ $I (x, y, t)$ と、距離推定部 2 0 0 が出力する前回時刻の距離情報 $D (x, y, t - t)$ を受けて、カメラの 3 次元空間上の今回時刻の動き情報 $M (t)$ を推定する。また、距離推定部 2 0 0 は、今回時刻の動画像データ $I (x, y, t)$ と、運動推定部 1 0 0 が出力する今回時刻のカメラの動き情報 $M (t)$ を受けて、撮影対象までの今回時刻の距離情報 $D (x, y, t)$ を推定する。

30

【 0 1 2 2 】

次に、実施の形態 1 と異なる構成を中心に、動作を説明する。運動推定部 1 0 0 の最初の演算を行う時は、距離推定部 2 0 0 の出力が得られていないので、距離情報 $D (x, y, t - t)$ として撮影対象までの距離を仮定して、適当な定数等の初期値を与えて、運動推定部 1 0 0 の演算を開始することとなる。

【 0 1 2 3 】

したがって、運動推定部 1 0 0 が出力するカメラの動き情報、および距離推定部 2 0 0 が出力する撮影対象までの距離情報の相対値が得られても、実際のカメラの動き量および撮影対象までの絶対距離に対して誤差が含まれていることがある。

【 0 1 2 4 】

そこで、本実施の形態 5 における絶対運動量換算部 1 8 0 は、外部からジャイロ等のモーションセンサにより計測したカメラの動き情報を受けて、外部から入力したカメラの移動量 $T_s = (U_s, V_s, W_s)$ と、運動誤差修正部 1 5 0 が出力するカメラの移動量 $T = (U, V, W)$ との大きさを定期的に比較する、あるいは 1 度だけ比較する。

40

【 0 1 2 5 】

そして、絶対運動量換算部 1 8 0 は、運動誤差修正部 1 5 0 が出力するカメラの動き量を絶対動き量に換算する補正係数 K を求めて、外部からジャイロ等のモーションセンサの情報が得られない時間は、この補正係数 K を運動誤差修正部 1 5 0 が出力するカメラの移動量 $T = (U, V, W)$ に掛けて絶対運動量 $M_a (t)$ を出力する。

【 0 1 2 6 】

50

補正係数 K の算出は、下式 (2 0) による。絶対運動量の算出は、下式 (2 1) による。式 (2 0) において、 $||$ は、ベクトルの大きさを表す。また、絶対運動量換算部 1 8 0 は、補正係数 K を出力する。

【 0 1 2 7 】

【数 1 8 】

$$K = ||T_s|| / ||T|| \quad (20)$$

$$M_a(t) = (K \cdot U, K \cdot V, K \cdot W, A, B, C) \quad (21)$$

【 0 1 2 8 】

一方、絶対距離換算部 2 8 0 は、絶対運動量換算部 1 8 0 が出力する補正係数 K を受けて、対応点探索部 2 4 0 が出力する距離情報を絶対距離 $D_a(x, y, t)$ に換算して出力する。絶対距離の算出は、下式 (2 2) による。

10

【 0 1 2 9 】

【数 1 9 】

$$D_a(x, y, t) = K \cdot D(x, y, t) \quad (22)$$

【 0 1 3 0 】

実施の形態 5 によれば、カメラの動き情報を外部センサから受け取り補正係数を算出することにより、動き情報および距離情報を絶対量に換算することができる。さらに、外部センサからの情報が得られない時間は、推定した動き情報と補正係数 K から絶対運動量を出力することができる。さらに、動画像入力データに基づいて、絶対運動量および絶対距離を推定演算の周期に応じて逐次出力することができる。

20

【 0 1 3 1 】

実施の形態 6 .

図 1 4 は、本発明の実施の形態 6 における 3 次元情報復元装置の構成図である。図 1 4 における運動推定部 1 0 0 の構成は、実施の形態 1 で示した図 3 における運動推定部 1 0 0 の構成と比較すると、絶対運動量換算部 1 8 0 を新たに備えており、図 1 3 と同一の構成である。また、図 1 4 における距離推定部 2 0 0 の構成は、実施の形態 1 で示した図 3 における距離推定部 2 0 0 の構成と比較すると、絶対距離換算部 2 8 0 を新たに備えており、図 1 3 と同一の構成である。

30

【 0 1 3 2 】

実施の形態 1 の場合と同様に、運動推定部 1 0 0 は、今回時刻の動画像データ $I(x, y, t)$ と、距離推定部 2 0 0 が出力する前回時刻の距離情報 $D(x, y, t - \Delta t)$ を受けて、カメラの 3 次元空間上の今回時刻の動き情報 $M(t)$ を推定する。また、距離推定部 2 0 0 は、今回時刻の動画像データ $I(x, y, t)$ と、運動推定部 1 0 0 が出力する今回時刻のカメラの動き情報 $M(t)$ を受けて、撮影対象までの今回時刻の距離情報 $D(x, y, t)$ を推定する。

【 0 1 3 3 】

次に、実施の形態 1 と異なる構成、および実施の形態 5 と異なる機能を中心に、動作を説明する。運動推定部 1 0 0 の最初の演算を行う時は、距離推定部 2 0 0 の出力が得られていないので、距離情報 $D(x, y, t - \Delta t)$ として撮影対象までの距離を仮定して、適当な定数等の初期値を与えて、運動推定部 1 0 0 の演算を開始することとなる。

40

【 0 1 3 4 】

したがって、運動推定部 1 0 0 が出力するカメラの動き情報、および距離推定部 2 0 0 が出力する撮影対象までの距離情報の相対値が得られても、実際のカメラの動き量および撮影対象までの絶対距離に対して誤差が含まれていることがある。

【 0 1 3 5 】

そこで、本実施の形態 6 における絶対距離換算部 2 8 0 は、外部からレーザー測距器等の距離センサにより計測した撮影対象の距離情報を受けて、外部から入力した撮像対象上の 1 点 (x_1, y_1) の距離 $D_s(x_1, y_1)$ と、対応点探索部 2 4 0 が出力する撮影

50

対象の距離情報 $D(x_1, y_1, t)$ とを定期的に比較する、あるいは 1 度だけ比較する。

【 0 1 3 6 】

そして、絶対距離換算部 280 は、対応点探索部 240 が出力する撮像対象の距離情報を絶対距離に換算する補正係数 K を求めて、外部からレーザー測距器等の距離センサの情報得られない時間は、補正係数 K を対応点探索部 240 が出力する撮像対象の距離情報 $D(x, y, t)$ に掛けて絶対距離 $D_a(x, y, t)$ を出力する。

【 0 1 3 7 】

補正係数 K の算出は、下式 (23) による。絶対距離の算出は、下式 (24) による。また、絶対距離換算部 280 は、補正係数 K を出力する。

【 0 1 3 8 】

【数 2 0】

$$K = D_s(x_1, y_1) / D(x_1, y_1, t) \quad (23)$$

$$D_a(x, y, t) = K \cdot D(x, y, t) \quad (24)$$

【 0 1 3 9 】

補正係数 K を求めるのに、上記説明では、1 点 (x_1, y_1) 距離 $D_s(x_1, y_1)$ を使用したが、撮像対象上の複数の点の距離情報から複数の補正係数を求めて、それらの平均値を補正係数 K としてもよい。

【 0 1 4 0 】

一方、絶対運動量換算部 180 は、絶対距離換算部 280 が出力する補正係数 K を受けて、運動誤差修正部 150 が出力する動き情報を絶対運動量 $M_a(t)$ に換算して出力する。絶対運動量の算出は、下式 (25) による。

【 0 1 4 1 】

【数 2 1】

$$M_a(t) = (K \cdot U, K \cdot V, K \cdot W, A, B, C) \quad (25)$$

【 0 1 4 2 】

実施の形態 6 によれば、距離情報を外部センサから受け取り補正係数を算出することにより、動き情報および距離情報を絶対量に換算することができる。さらに、外部センサからの情報が得られない時間は、推定した距離情報と補正係数 K から絶対距離を出力することができる。さらに、動画像入力データに基づいて、絶対運動量および絶対距離を推定演算の周期に応じて逐次出力することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 1 4 3 】

【図 1】本発明の実施の形態 1 における 3 次元情報復元装置の構成図である。

【図 2】本発明の実施の形態 1 におけるカメラの動き量を表す成分の座標軸上でのそれぞれの方向を説明する図である。

【図 3】本発明の実施の形態 1 における 3 次元情報復元装置の構成図である。

【図 4】本発明の実施の形態 1 における仮定した距離情報 $D'(x, y)$ とカメラの動き情報 $M(t)$ とオプティカル・フロー $(x'(\cdot), y'(\cdot))$ の関係を図示したものである。

【図 5】本発明の実施の形態 1 における対応点探索の様子を説明する図である。

【図 6】本発明の実施の形態 2 における 3 次元情報復元装置の構成図である。

【図 7】本発明の実施の形態 2 における累積後の動き情報 $M(t)$ に関する累積の始点と、画像の更新指令、第 2 の画像記憶部の出力の変化を説明する図である。

【図 8】本発明の実施の形態 3 における 3 次元情報復元装置の構成図である。

【図 9】本発明の実施の形態 3 における距離情報 $D(x, y)$ の距離信頼度に関する説明図である。

【図 10】本発明の実施の形態 4 における 3 次元情報復元装置の構成図である。

10

20

30

40

50

【図 1 1】本発明の実施の形態 4 におけるピラミッド画像の説明図である。

【図 1 2】本発明の実施の形態 4 における対応点探索部の探索範囲を限定する様子の説明図である。

【図 1 3】本発明の実施の形態 5 における 3 次元情報復元装置の構成図である。

【図 1 4】本発明の実施の形態 6 における 3 次元情報復元装置の構成図である。

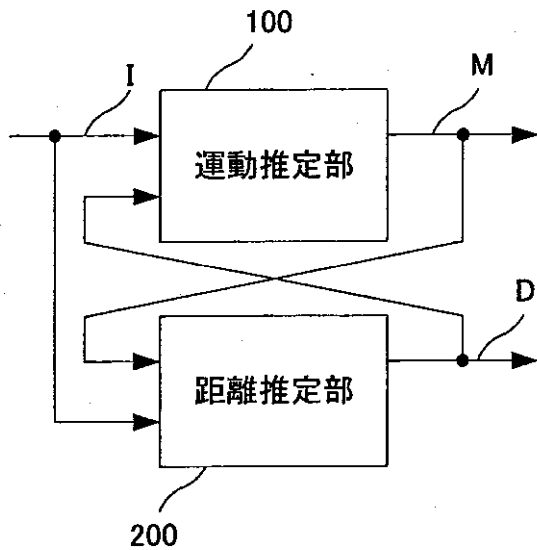
【符号の説明】

【 0 1 4 4 】

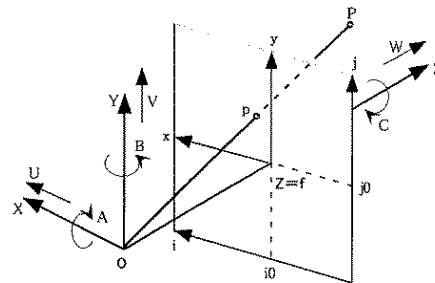
1 0 0 運動推定部、1 1 0 第 1 の画像記憶部、1 2 0 第 1 の座標変換部、1 3 0 時空間微分処理部、1 4 0 運動誤差推定部、1 5 0 運動誤差修正部、1 6 0 微分信頼度算出部、1 7 0 第 3 の画像記憶部、1 8 0 絶対運動量換算部、2 0 0 距離推定部、2 1 0 第 2 の画像記憶部、2 2 0 第 2 の座標変換部、2 3 0 マッチング処理部、2 4 0 対応点探索部、2 5 0 画像更新判定部、2 6 0 距離信頼度算出部、2 7 0 第 4 の画像記憶部、2 8 0 絶対距離換算部。

10

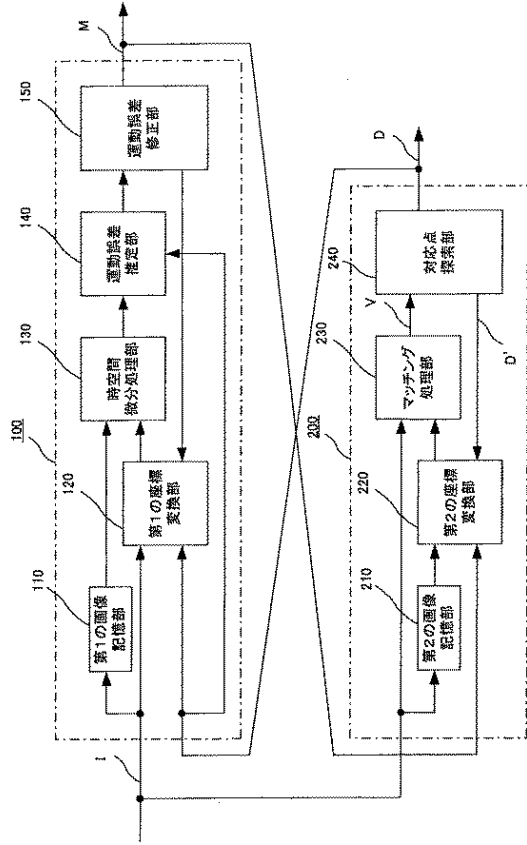
【 図 1 】



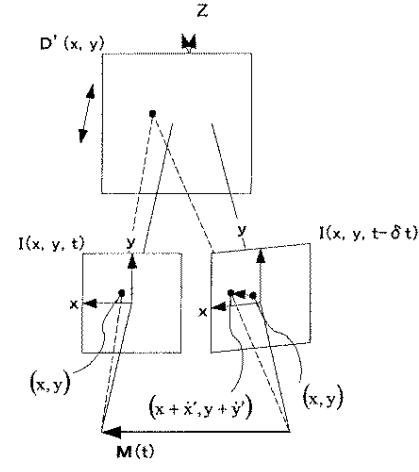
【 図 2 】



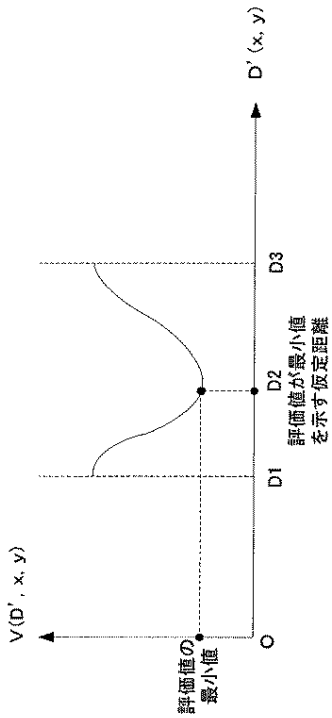
【 図 3 】



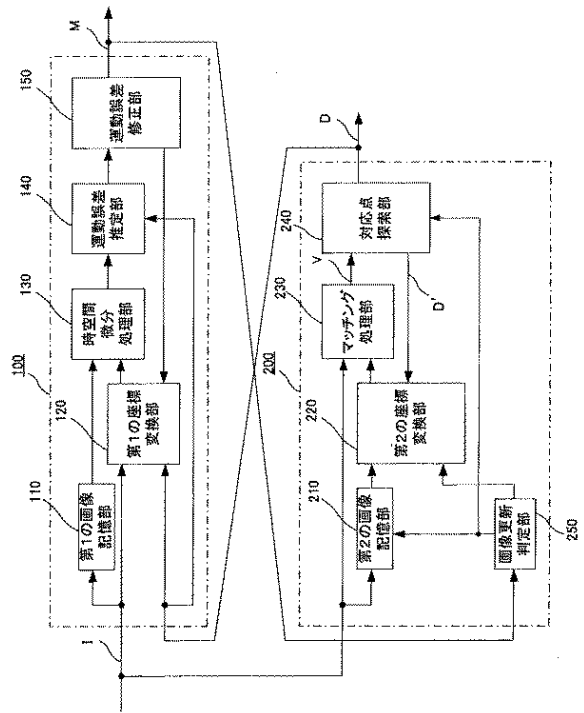
【 図 4 】



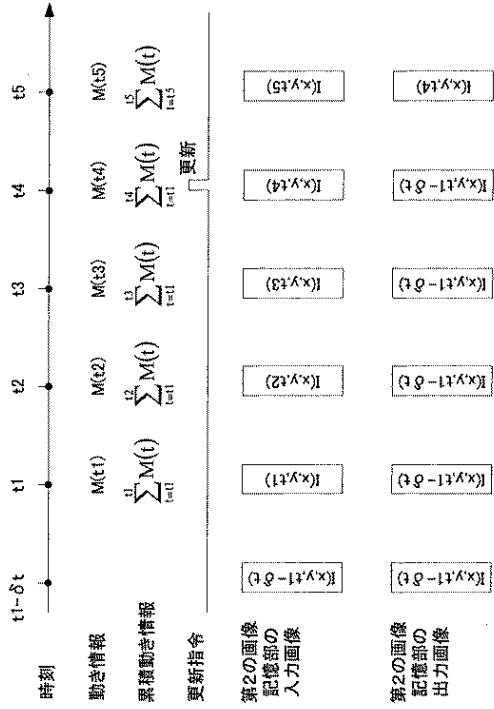
【 図 5 】



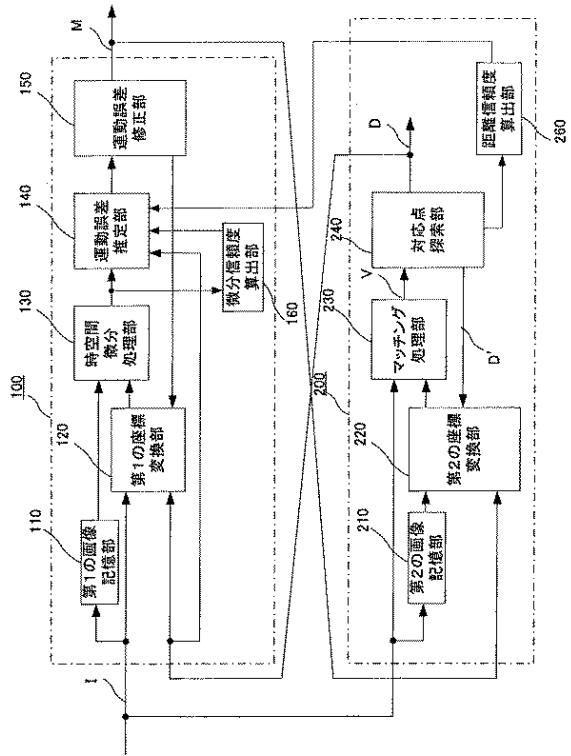
【 図 6 】



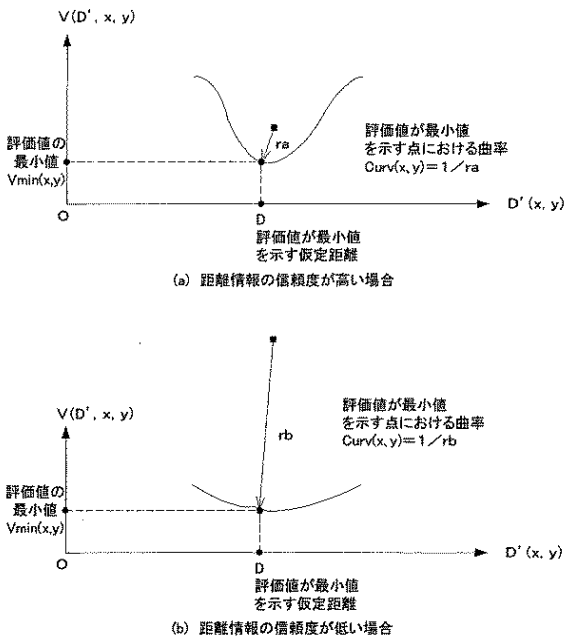
【 図 7 】



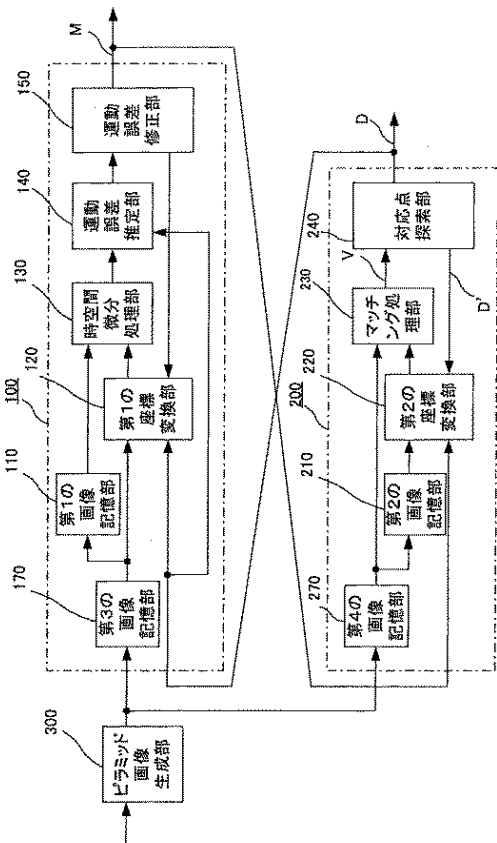
【 図 8 】



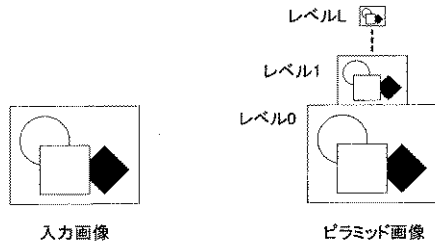
【 図 9 】



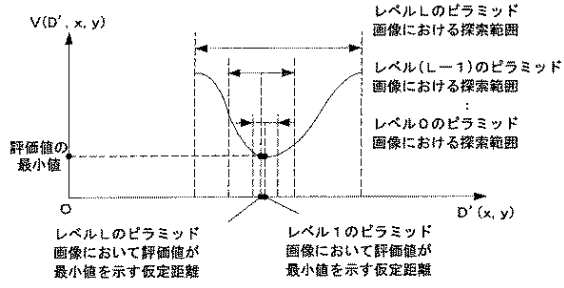
【 図 10 】



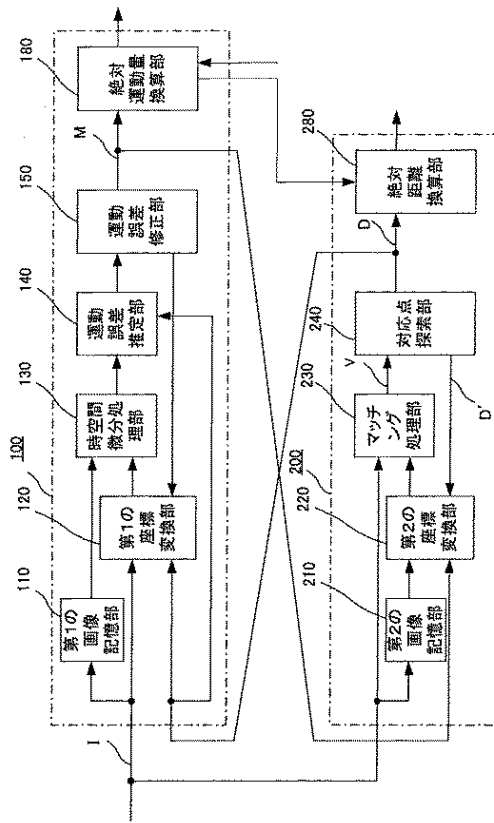
【 図 1 1 】



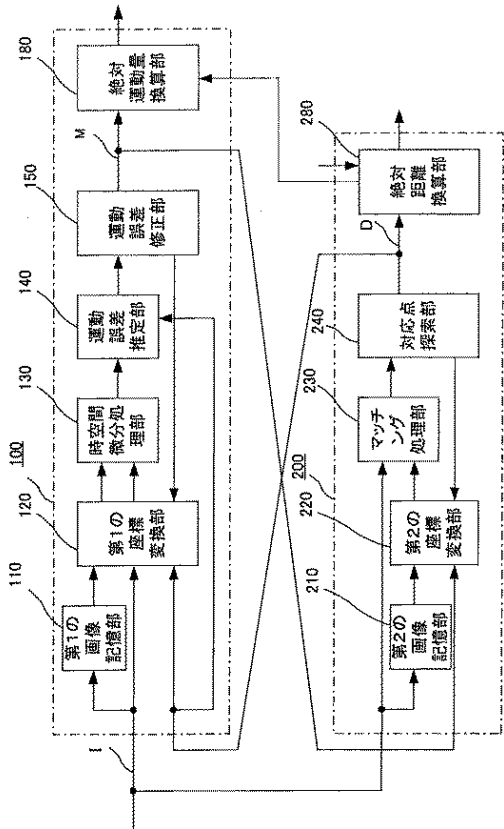
【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



フロントページの続き

- (72)発明者 天野 一彦
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 木村 茂
東京都新宿区市谷本村町5番1号 防衛庁内
- (72)発明者 大橋 洋一
東京都新宿区市谷本村町5番1号 防衛庁内

審査官 後藤 昌夫

- (56)参考文献 特開平07-160893(JP,A)
特開2004-120661(JP,A)
特表平11-509946(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 11/00 - 11/30
G06T 1/00
G06T 7/00