

(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2017-45124

(P2017-45124A)

(43) 公開日 平成29年3月2日(2017.3.2)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)	
G06T	1/00	(2006.01)	G06T	1/00	315	2F112	
G06T	7/00	(2017.01)	G06T	7/00	300B	5B057	
G01C	3/06	(2006.01)	G01C	3/06	110V	5L096	
			G01C	3/06	140		

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2015-164926 (P2015-164926)
 (22) 出願日 平成27年8月24日 (2015.8.24)

(71) 出願人 000004695
 株式会社日本自動車部品総合研究所
 愛知県西尾市下羽角町岩谷14番地
 (71) 出願人 000004260
 株式会社デンソー
 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
 (71) 出願人 592032636
 学校法人トヨタ学園
 愛知県名古屋市天白区久方2丁目12番地
 1
 (74) 代理人 110000578
 名古屋国際特許業務法人
 (72) 発明者 石丸 和寿
 愛知県西尾市下羽角町岩谷14番地 株式
 会社日本自動車部品総合研究所内
 最終頁に続く

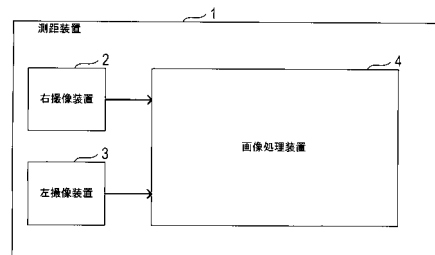
(54) 【発明の名称】 視差検出装置

(57) 【要約】

【課題】 処理時間の短縮と視差の検出精度の向上とを両立させる

【解決手段】 測距装置1は、右画像データと左画像データを取得し、低解像度の右低解像度データと左低解像度データを作成する。測距装置1は、右低解像度データを、複数の画素で構成されたブロックに分割する。測距装置1は、複数のブロック毎に、左低解像度データ内でブロックと同じ領域が写っているブロックを、動的計画法を用いて探索することによりブロックの視差を検出する。測距装置1は、右画像データをブロックに分割する。測距装置1は、複数のブロック毎に、左画像データ内で同じ領域が写っているブロック（以下、撮影解像度対応ブロックという）をブロックマッチング法を用いて決定することにより、ブロックの視差を検出する。測距装置1は、動的計画法による視差検出結果に基づき、左画像データ内で撮影解像度対応ブロックを探索する探索範囲を限定する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

互いに異なる視点から同一の撮影領域を含むように同時に撮影された第 1 撮影画像および第 2 撮影画像を取得する画像取得手段 (S 1 0) と、

前記画像取得手段により取得された前記第 1 撮影画像および前記第 2 撮影画像に対して前記第 1 撮影画像および前記第 2 撮影画像の解像度である撮影解像度よりも低くなるように予め設定された低解像度に変換した第 1 低解像度画像および第 2 低解像度画像を作成する低解像度画像作成手段 (S 3 0) と、

前記第 1 低解像度画像を、複数の画素で構成されたブロックである低解像度ブロックに分割し、分割された複数の前記低解像度ブロック毎に、前記第 2 低解像度画像内において前記低解像度ブロックと同じ領域が写っている前記ブロックである低解像度対応ブロックを、動的計画法を用いて探索することにより、前記低解像度ブロックの視差を検出する第 1 視差検出手段 (S 2 1 0 ~ S 2 7 0 , S 3 1 0 ~ S 3 7 0) と、

前記画像取得手段により取得された前記第 1 撮影画像を、複数の画素で構成された前記ブロックである撮影解像度ブロックに分割し、分割された複数の前記撮影解像度ブロック毎に、前記第 2 撮影画像内において前記撮影解像度ブロックと同じ領域が写っている前記ブロックである撮影解像度対応ブロックを、前記第 2 撮影画像内において前記撮影解像度ブロックとの類似度が高い前記ブロックを探索するブロックマッチング法を用いて決定することにより、前記撮影解像度ブロックの視差を検出する第 2 視差検出手段 (S 6 0) とを備え、

前記第 2 視差検出手段は、前記第 1 視差検出手段による視差検出結果に基づいて、前記第 2 撮影画像内において前記ブロックマッチング法を用いて前記ブロックを探索する探索範囲を限定する

ことを特徴とする視差検出装置 (4) 。

【請求項 2】

前記第 1 視差検出手段は、

複数の前記低解像度ブロック毎に、前記低解像度ブロックの前記第 1 低解像度画像内における 2 次元位置と前記低解像度ブロックの視差とにより特定される節点を、前記低解像度ブロックの前記 2 次元位置と前記低解像度ブロックの視差とで定義される 3 次元空間である節点空間内に配置するとともに、前記節点に対して、対応する前記低解像度ブロックと、対応する前記節点に設定されている視差分離している前記第 2 低解像度画像内の前記ブロックとの類似度が高いほど値が小さくなるように算出される節点コストを設定する節点配置手段 (S 2 1 0 , S 3 1 0) と、

前記節点空間内において 1 つの前記節点である第 1 節点から別の前記節点である第 2 節点へ移動する場合に、前記第 1 節点の視差と前記第 2 節点の視差との差が大きいほど値が大きくなるように算出される視差コストを設定し、前記節点空間内に配置された複数の前記節点のそれぞれについて、前記節点を終点として、前記節点空間の一端に位置する前記節点を第 1 始点として前記第 1 始点から前記終点へ向って移動する第 1 移動経路と、前記節点空間の一端とは反対側の他端に位置する前記節点を第 2 始点として前記第 2 始点から前記終点へ向って移動する第 2 移動経路とを設定し、前記第 1 移動経路上に存在する前記節点の前記節点コストと前記第 1 移動経路の前記視差コストとの総和を前記第 1 移動経路の第 1 移動コストとし、前記第 2 移動経路上に存在する前記節点の前記節点コストと前記第 2 移動経路の前記視差コストとの総和を前記第 2 移動経路の第 2 移動コストとして、前記第 1 移動コストが最小となる前記第 1 移動経路である第 1 最小移動経路と、前記第 2 移動コストが最小となる前記第 2 移動経路である第 2 最小移動経路とを前記動的計画法を用いて探索し、前記第 1 最小移動経路の前記第 1 移動コストと前記第 2 最小移動経路の前記第 2 移動コストとに基づいて、前記第 1 移動経路と前記第 2 移動経路によって特定される移動方向に沿って前記節点へ移動するときの移動コストを、前記節点の移動方向移動コストとして算出するコスト算出手段 (S 2 2 0 ~ S 2 5 0 , S 3 2 0 ~ S 3 5 0) と、

複数の前記低解像度ブロック毎に、前記低解像度ブロックに対応する複数の前記節点の

中から、前記移動方向移動コストが最も小さい前記節点の視差を、前記低解像度ブロックの視差として決定する視差決定手段（S260，S270，S360，S370）とを備える

ことを特徴とする請求項1に記載の視差検出装置。

【請求項3】

前記コスト算出手段は、互いに異なる複数の前記移動方向で、前記移動方向移動コストを算出し、

前記視差決定手段は、前記コスト算出手段で算出された複数の前記移動方向移動コストに基づいて、前記低解像度ブロックの視差を決定する

ことを特徴とする請求項1または請求項2に記載の視差検出装置。

10

【請求項4】

前記低解像度画像作成手段は、互いに異なる複数の前記低解像度で、前記第1低解像度画像および前記第2低解像度画像を作成し、

前記第1視差検出手段は、複数の前記低解像度のそれぞれについて、前記低解像度の解像度が低い順に前記低解像度ブロックの視差を検出し、前記低解像度の解像度が高くなるにつれて、前記低解像度の解像度が低いときの視差検出結果に基づき前記動的計画法を用いて探索するときの視差の範囲を限定する

ことを特徴とする請求項1～請求項3の何れか1項に記載の視差検出装置。

【請求項5】

前記第2視差検出手段は、前記撮影解像度対応ブロックを前記ブロックマッチング法を用いて探索する場合に、前記撮影解像度ブロックと前記第2撮影画像内の前記ブロックとの類似度を示す評価値と、前記撮影解像度ブロックと前記第2撮影画像内の前記ブロックとの視差との相対関係に対して、予め設定されたフィッティング関数を用いてフィッティングするサブピクセル推定を行うことにより、前記撮影解像度ブロックの視差を検出する

ことを特徴とする請求項1～請求項4の何れか1項に記載の視差検出装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、互いに異なる視点から撮影された複数の画像を用いて視差を検出する視差検出装置に関する。

30

【背景技術】

【0002】

互いに平行に隣接して配置された第1撮影装置と第2撮影装置のそれぞれから第1画像と第2画像を取得し、第1画像と第2画像とを比較することにより、第1画像に写っている物体までの距離を測定する測距装置が知られている。このような測距装置において、データ項と正則化項を含む目的関数が最小となる点を動的計画法を用いて算出することにより視差を検出し、検出した視差に基づいて距離を測定するものが知られている（例えば、特許文献1を参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

40

【0003】

【特許文献1】特開2015-114269号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、特許文献1に記載の技術では、正則化項を含む目的関数を使用しているために、目的関数が極小値となる点の近傍において目的関数の値が急激に変化し、視差の検出結果が離散的になってしまうおそれがあった。視差の検出結果が離散的になると、視差に基づいて測定される距離の測定結果も離散的になってしまう。距離の測定精度が低下してしまう。

50

【0005】

本発明は、こうした問題に鑑みてなされたものであり、処理時間の短縮と視差の検出精度の向上とを両立させることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記目的を達成するためになされた本発明の視差検出装置は、画像取得手段と、低解像度画像作成手段と、第1視差検出手段と、第2視差検出手段とを備える。

画像取得手段は、互いに異なる視点から同一の撮影領域を含むように同時に撮影された第1撮影画像および第2撮影画像を取得する。

【0007】

低解像度画像作成手段は、画像取得手段により取得された第1撮影画像および第2撮影画像に対して第1撮影画像および第2撮影画像の解像度である撮影解像度よりも低くなるように予め設定された低解像度に変換した第1低解像度画像および第2低解像度画像を作成する。

【0008】

第1視差検出手段は、第1低解像度画像を、複数の画素で構成されたブロックである低解像度ブロックに分割する。また第1視差検出手段は、分割された複数の低解像度ブロック毎に、第2低解像度画像内において低解像度ブロックと同じ領域が写っているブロックである低解像度対応ブロックを、動的計画法を用いて探索することにより、低解像度ブロックの視差を検出する。

【0009】

第2視差検出手段は、画像取得手段により取得された第1撮影画像を、複数の画素で構成されたブロックである撮影解像度ブロックに分割する。また第2視差検出手段は、分割された複数の撮影解像度ブロック毎に、第2撮影画像内において撮影解像度ブロックと同じ領域が写っているブロックである撮影解像度対応ブロックを、ブロックマッチング法を用いて決定することにより、撮影解像度ブロックの視差を検出する。ブロックマッチング法は、第2撮影画像内において撮影解像度ブロックとの類似度が高いブロックを探索する方法である。

【0010】

また第2視差検出手段は、第1視差検出手段による視差検出結果に基づいて、第2撮影画像内においてブロックマッチング法を用いてブロックを探索する探索範囲を限定する。

このように構成された本発明の視差検出装置は、動的計画法を用いて視差を検出しているが、最終的にはブロックマッチング法を用いて視差を検出する。このため、本発明の視差検出装置は、動的計画法において正則化項を含む目的関数を使用することに起因して視差の検出結果が離散的になるのを回避することができ、視差の検出精度を向上させることができる。さらに、本発明の視差検出装置は、低解像度に変換した第1低解像度画像および第2低解像度画像に対して動的計画法を用いているため、動的計画法を用いて視差を検出するときの処理負荷を低減することができる。また、本発明の視差検出装置は、動的計画法を用いた視差検出結果に基づいて、ブロックマッチング法を用いてブロックを探索する探索範囲を限定するため、ブロックマッチング法を用いて視差を検出するときの処理負荷を低減することができる。以上より、本発明の視差検出装置は、処理時間の短縮と視差の検出精度の向上とを両立させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】測距装置1の構成を示すブロック図である。

【図2】距離測定処理を示すフローチャートである。

【図3】解像度が互いに異なる複数の画像を示す図である。

【図4】第1視差算出処理を示すフローチャートである。

【図5】節点NPを配置する方法を説明する図である。

【図6】節点空間NPSの斜視図である。

10

20

30

40

50

【図 7】 X - Z 平面を示す斜視図である。

【図 8】 Y - Z 平面を示す斜視図である。

【図 9】 右斜め平面を示す斜視図である。

【図 10】 左斜め平面を示す斜視図である。

【図 11】 第 2 視差算出処理を示すフローチャートである。

【図 12】 ブロックマッチングの実行方法を説明する図である。

【図 13】 フィッティング方法を説明する図である。

【図 14】 測距装置 1 の距離測定結果を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

10

以下に本発明の実施形態を図面とともに説明する。

本実施形態の測距装置 1 は、車両に搭載され、図 1 に示すように、右撮像装置 2 と、左撮像装置 3 と、画像処理装置 4 とを備える。以下、測距装置 1 が搭載された車両を自車両という。

【0013】

右撮像装置 2 と左撮像装置 3 は、自車両前方の風景を連続して撮影し、その撮影画像を示す画像データを画像処理装置 4 へ出力する。右撮像装置 2 と左撮像装置 3 はそれぞれ、自車両の進行方向に対して右側と左側に設置される。以下、右撮像装置 2 の画像データを右画像データ、左撮像装置 3 の画像データを左画像データという。

【0014】

20

右撮像装置 2 と左撮像装置 3 は、平行等位に配置される。具体的には、右撮像装置 2 と左撮像装置 3 は、右撮像装置 2 の光軸と左撮像装置 3 の光軸とが平行になるように配置される。これにより、右撮像装置 2 の撮像面と左撮像装置 3 の撮像面が同一平面上に配置される。さらに、右撮像装置 2 と左撮像装置 3 は、右撮像装置 2 の撮像面の横軸と左撮像装置 3 の撮像面の横軸とが一致するように、水平方向に沿って予め設定された基線長だけ離れて配置される。撮像面の横軸は、撮像面上において撮像面と光軸との交点を原点とした二次元直交座標系の X 軸および Y 軸のうちの X 軸である。

【0015】

画像処理装置 4 は、CPU、ROM、RAM、I/O 及びこれらの構成を接続するバスラインなどからなる周知のマイクロコンピュータを中心に構成され、ROM に記憶されたプログラムに基づいて各種処理を実行する。

30

【0016】

このように構成された測距装置 1 において、画像処理装置 4 は、距離測定処理を実行する。この距離測定処理は、画像処理装置 4 の動作中において繰り返し実行される処理である。

【0017】

この距離測定処理が実行されると、画像処理装置 4 は、図 2 に示すように、まず S10 にて、右撮像装置 2 から右画像データを取得するとともに、左撮像装置 3 から左画像データを取得する。そして S20 にて、S10 で取得した右画像データが示す右撮影画像と、S10 で取得した左撮像データが示す左撮影画像との間の垂直方向のずれを補正し、右撮影画像と左撮影画像を互いに平行化する。具体的には、右撮影画像と左撮影画像との間で互いに対応関係にある画像領域（例えば、画素）の高さが一致するように、予め設定された補正パラメータに従って画素全体の垂直方向の座標を変換し、垂直方向のずれを補正する。

40

【0018】

次に S30 にて、S20 で平行化された右撮影画像および左撮影画像（図 3 の画像 G0 を参照）を用いて、これらの右撮影画像および左撮影画像の解像度よりも低くなるように予め設定された第 1 解像度と第 2 解像度の右撮影画像および左撮影画像を作成する。これにより、第 1 解像度の右撮影画像および左撮影画像（図 3 の画像 G1 を参照）と、第 2 解像度の右撮影画像および左撮影画像（図 3 の画像 G2 を参照）が作成される。なお、本実

50

施形態では、第1解像度は、右撮像装置2と左撮像装置3で撮影された画像（以下、原画像ともいう）における横と縦それぞれの解像度を1/4にしたものである。また第2解像度は、原画像における横と縦それぞれの解像度を1/2にしたものである。

【0019】

そしてS40にて、第1視差算出処理を実行する。ここで、S40で実行される第1視差算出処理の手順を説明する。

この第1視差算出処理が実行されると、画像処理装置4は、図4に示すように、まずS210にて、S30で作成された第1解像度の右撮影画像および左撮影画像を用いて、節点空間NPS内に節点NPを配置するとともに、節点NPのコストを算出する。

【0020】

具体的には、図5に示すように、右撮影画像および左撮影画像のそれぞれについて、撮影画像を構成する各画素の位置を、物理座標系で設定する。物理座標は、撮影画像の左上の角を原点として、X軸の正方向が右向きとなり、Y軸の正方向が下向きとなる座標である。これにより、撮影画像を構成する各画素の位置が、ピクセル単位で設定される。以下、X軸方向の位置をX座標位置、Y軸方向の位置をY座標位置という。また、右撮影画像および左撮影画像をそれぞれ、基準画像および比較画像ともいう。

【0021】

そして、第1解像度の基準画像を、X軸方向にp画素（pは正の整数）でY軸方向にq画素（qは正の整数）の矩形のブロックBLに分割する。

次に、分割された複数のブロックBLのそれぞれについて、比較画像の中からY座標位置が同じ領域を探索領域として設定する（領域SRを参照）。この探索領域において、ブロックBLとの視差が互いに異なり、且つ、ブロックBLと同じ大きさ（すなわち、X軸方向にp画素でY軸方向にq画素の矩形）の複数のブロックを節点設定用ブロックBLnとして抽出する。そして、抽出された複数の節点設定用ブロックBLnに基づいて、節点空間NPS内に節点NPを配置する。節点空間NPSは、図6に示すように、ブロックBLのX座標位置をX軸とし、ブロックBLのY座標位置をY軸とし、ブロックBLに対応する節点設定用ブロックBLnの視差をZ軸とした3次元直交座標空間である。

【0022】

例えば、図5に示すように、基準画像内のブロックBB1について、探索領域SR内でX座標位置が同じブロックBC1(1)を節点設定用ブロックBLnとして抽出するとする（矢印AL1を参照）。この場合に、ブロックBB1のX座標位置をx1、ブロックBB1のY座標位置をy1、ブロックBB1とブロックBC1(1)との視差をd1と表記すると、ブロックBC1(1)に対応する節点NP1(1)は節点空間NPS内の(x1, y1, d1)に配置される（矢印AL2を参照）。なお、図5に示す節点空間NPSは、Y座標がy1であるX-Z平面である。

【0023】

また、基準画像内のブロックBB1について、探索領域SR内でX座標位置が異なるブロックBC1(2)を節点設定用ブロックBLnとして抽出するとする（矢印AL3を参照）。この場合に、ブロックBB1とブロックBC1(2)との視差をd2と表記すると、ブロックBC1(2)に対応する節点NP1(2)は節点空間NPS内の(x1, y1, d2)に配置される（矢印AL4を参照）。

【0024】

また、基準画像内のブロックBB1に隣接するブロックBB2についても、ブロックBB1と同じ探索領域SR内で節点設定用ブロックBLnを抽出する。

例えば、基準画像内のブロックBB2について、探索領域SR内でX座標位置が同じブロックBC2(1)を節点設定用ブロックBLnとして抽出するとする（矢印AL5を参照）。この場合に、ブロックBB2のX座標位置をx2、ブロックBLのY座標位置をy1、ブロックBB2とブロックBC2(1)との視差をd1と表記すると、ブロックBC2(1)に対応する節点NP2(1)は節点空間NPS内の(x2, y1, d1)に配置される（矢印AL6を参照）。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 5 】

また、節点空間 N P S 内に配置された複数の節点 N P のそれぞれについて、コストを算出する。コストは、節点 N P を節点空間 N P S 内に配置する際に用いられた 2 つのブロック間の類似度を表す値である。上記 2 つのブロックは、基準画像内のブロック B L と、このブロック B L に対応して節点 N P を配置するために比較画像から抽出された節点設定用ブロック B L n である。例えば、節点 N P 1 (1) のコストは、ブロック B B 1 と、ブロック B C 1 (1) とを用いて算出される。

【 0 0 2 6 】

節点空間 N P S 内における節点 N P の X 座標位置と Y 座標位置をまとめて節点位置 p と表記し、節点 N P の視差を u_p と表記する。さらに、節点空間 N P S 内において節点位置 p と視差 u_p で特定される位置に配置される節点 N P のコストを $D(p, u_p)$ と表記する。

10

【 0 0 2 7 】

本実施形態では、周知の S S I M (Structural Similarity) を用いて、コスト $D(p, u_p)$ を下式 (1) で算出する。

【 0 0 2 8 】

【 数 1 】

$$D(p, u_p) = \left[\frac{2\mu_x\mu_y + c_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1} \right]^\alpha \left[\frac{2\sigma_x\sigma_y + c_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2} \right]^\beta \left[\frac{\sigma_{xy} + c_3}{\sigma_x\sigma_y + c_3} \right]^\gamma \cdots (1)$$

20

なお、上式 (1) において、 μ_x は、基準画像内のブロック B L に含まれる画素の輝度の平均値である。 μ_y は、比較画像内の節点設定用ブロック B L n に含まれる画素の輝度の平均値である。 σ_x は、基準画像内のブロック B L に含まれる画素の輝度の標準偏差である。 σ_y は、比較画像内の節点設定用ブロック B L n に含まれる画素の輝度の標準偏差である。 σ_{xy} は、基準画像内のブロック B L と比較画像内の節点設定用ブロック B L n に含まれる画素の輝度の共分散である。 c_1, c_2, c_3, \dots は予め設定される定数である。

【 0 0 2 9 】

このようにして、分割されたブロック B L の全てについて節点 N P を節点空間 N P S 内に配置するとともに、配置された節点 N P の全てについてコスト $D(p, u_p)$ を算出すると、S 2 1 0 の処理を終了する。

30

【 0 0 3 0 】

S 2 1 0 の処理が終了すると、図 4 に示すように、S 2 2 0 にて、節点 N P の X 方向移動コスト E_x (後述) を算出する。ブロック B L は Y 軸方向に沿って q 画素毎に分割されている (図 5 を参照)。このため、図 7 に示すように、節点空間 N P S 内には、複数の節点 N P が配置された X - Z 平面が Y 軸方向に沿って q 画素毎に存在する (図 7 の平面 P L 1, P L 2, P L 3 を参照)。

【 0 0 3 1 】

これら複数の X - Z 平面のそれぞれについて、節点 N P の X 方向移動コスト E_x を算出する。以下に、節点 N P の X 方向移動コスト E_x の算出方法を説明する。

40

例えば、図 5 に示すように、X - Z 平面において、複数の節点 N P が 2 次元行列状に配列されているとする。また、以下の説明のために、Z 軸方向を列方向とし、X 軸方向を行方向として、第 i 行 (i は正の整数) の第 j 列 (j は正の整数) に位置する節点 N P を $N P(i, j)$ と表記する。なお、視差が小さいほど i は小さくなり、X 座標位置が原点から近いほど j は小さくなる。

【 0 0 3 2 】

まず、X - Z 平面に配列されている複数の節点 N P の中から 1 つの節点 N P を終点として選択する。X 座標位置が原点から最も近い複数の節点 N P (すなわち、第 i 行の第 1 列に位置する節点 N P) のうちの 1 つを始点とする。そして、始点から、X 軸の正方向に向

50

かって、隣の列（すなわち、第2列）に位置する複数の節点NPのうちの1つへ移動させる（図5と図7の移動方向M1を参照）。さらに、移動した節点NPから更に隣の列（すなわち、第3列）に位置する複数の節点NPのうちの1つへ移動させる。このように、始点の節点NPから、X軸の正方向に向かって1列ずつ節点NPへ順次移動させ、終点として選択された節点NPまで移動させた1つの移動経路を確定する。以下、この移動経路を右方向移動経路という。図5では、左からNP(4,1)、NP(3,2)、NP(3,3)、NP(3,4)の順に右方向へ移動する右方向移動経路を示している。

【0033】

そして、確定した移動経路のコストEを、下式(2)で算出する。

【0034】

【数2】

$$E = \sum_p D(p, u_p) + \sum_{p, q \in \varepsilon} S(u_p, u_q) \\ = \sum_p D(p, u_p) + \sum_{p, q \in \varepsilon} |u_p - u_q| \quad \dots(2)$$

上式(2)の右辺の第1項は、移動経路上に存在する節点NPのコストD(p, u_p)の総和を示す。上式(2)の右辺の第1項は、データ項という。上式(2)の右辺の第2項は、正則化項である。上式(2)の右辺の第2項のS(u_p, u_q)は、視差がu_pである節点NPから、視差がu_qである節点NPへ移動する場合の視差コストである。S(u_p, u_q)は、視差u_pと視差u_qとの差が大きくなるほど値が大きくなるように設定された関数である。本実施形態では、S(u_p, u_q)は、視差u_pと視差u_qとの差分の絶対値である。したがって、上式(2)の右辺の第2項は、移動経路を通過することによる視差の変化の総和を示す。

【0035】

このようにして、第1列に位置する複数の節点NPの何れか1点を始点とし、複数の節点NPの中から選択された1つの節点NPを終点とした場合において可能な全ての移動経路を確定することができ、確定した全ての移動経路についてコストEを算出することができる。これにより、コストEが最小となる移動経路を特定することができる。

【0036】

本実施形態では、上記のように全ての移動経路でコストEを算出する代わりに、動的計画法の一種である周知のビタビアルゴリズムを用いて、コストEが最小となる移動経路を特定する演算を行う。

【0037】

S220では、コストEが最小となる右方向移動経路の特定を、1つのX-Z平面に配列されている全ての節点NPについて行う。これにより、このX-Z平面に配列されている全ての節点NPのそれぞれについて、右方向移動経路の最小コスト（以下、右方向移動コストという）が算出される。

【0038】

次に、右方向移動コストの算出と同様にして、このX-Z平面に配列されている全ての節点NPのそれぞれについて、左方向移動経路の最小コスト（以下、左方向移動コストという）を算出する。

【0039】

具体的には、X-Z平面に配列されている複数の節点NPの中から1つの節点NPを終点として選択する。X座標位置が原点から最も遠い複数の節点NP（すなわち、第i行の最終列に位置する節点NP）のうちの1つを始点とする。そして、始点から、X軸の負方向に向かって、隣の列に位置する複数の節点NPのうちの1つへ移動させる（図5と図7の移動方向M2を参照）。さらに、移動した節点NPから更に隣の列に位置する複数の節点NPのうちの1つへ移動させる。このように、始点の節点NPから、X軸の負方向に向かって1列ずつ節点NPへ順次移動させ、終点として選択された節点NPまで移動させた

10

20

30

40

50

1つの移動経路を確定する。以下、この移動経路を左方向移動経路という。

【0040】

S220では、右方向移動経路の場合と同様にして、コストEが最小となる左方向移動経路の特定を、1つのX-Z平面に配列されている全ての節点NPについて行う。これにより、このX-Z平面に配列されている全ての節点NPのそれぞれについて、左方向移動経路の最小コスト（以下、左方向移動コストという）が算出される。

【0041】

そして、S220では、このX-Z平面に配列されている全ての節点NPのそれぞれについて、右方向移動コストと左方向移動コストとを加算した加算値を、X方向移動コスト E_x として算出する。

10

【0042】

このX-Z平面でX方向移動コスト E_x の算出が終了すると、次のX-Z平面について、同様にして、X方向移動コスト E_x の算出を行う。そして、全てのX-Z平面についてX方向移動コスト E_x の算出を行うと、S220の処理を終了する。

【0043】

S220の処理が終了すると、図4に示すように、S230にて、節点NPのY方向移動コスト E_y （後述）を算出する。ブロックBLはX軸方向に沿ってp画素毎に分割されている（図5を参照）。このため、図8に示すように、節点空間NPS内には、複数の節点NPが配置されたY-Z平面がX軸方向に沿ってp画素毎に存在する（図8の平面PL11, PL12, PL13, PL14を参照）。

20

【0044】

S230では、これら複数のY-Z平面のそれぞれについて、節点NPのY方向移動コスト E_y を算出する。節点NPのY方向移動コスト E_y の算出は、X-Z平面の代わりにY-Z平面を用いている点が、上述したX方向移動コスト E_x の算出と異なる。

【0045】

具体的には、Y-Z平面において、Y座標位置が原点から最も近い複数の節点NPのうちの1つを始点として、Y軸の正方向に向かって、1列ずつ節点NPへ順次移動させ（図8の移動方向M3を参照）、終点として選択された節点NPまで移動させた移動経路を下方向移動経路とする。また、Y-Z平面において、Y座標位置が原点から最も遠い複数の節点NPのうちの1つを始点として、Y軸の負方向に向かって、1列ずつ節点NPへ順次移動させ（図8の移動方向M4を参照）、終点として選択された節点NPまで移動させた移動経路を上方向移動経路とする。

30

【0046】

S230では、コストEが最小となる下方向移動経路と上方向移動経路の特定を、1つのY-Z平面に配列されている全ての節点NPについて行う。これにより、このY-Z平面に配列されている全ての節点NPのそれぞれについて、下方向移動経路の最小コスト（以下、下方向移動コストという）と、上方向移動経路の最小コスト（以下、上方向移動コストという）が算出される。

【0047】

そして、S230では、このY-Z平面に配列されている全ての節点NPのそれぞれについて、下方向移動コストと上方向移動コストとを加算した加算値を、Y方向移動コスト E_y として算出する。

40

【0048】

このY-Z平面でY方向移動コスト E_y の算出が終了すると、次のY-Z平面について、同様にして、Y方向移動コスト E_y の算出を行う。そして、全てのY-Z平面についてY方向移動コスト E_y の算出を行うと、S230の処理を終了する。

【0049】

S230の処理が終了すると、図4に示すように、S240にて、節点NPの右斜め方向移動コスト E_{x-y} （後述）を算出する。

S240では、まず、図9に示すように、節点空間NPS内において、X軸とY軸との

50

間に跨って $X - Y$ 平面と垂直になるように形成された複数の平面（以下、右斜め平面という）を設定する（図 9 の平面 $PL21$, $PL22$, $PL23$ を参照）。これら複数の右斜め平面は、互いに平行となるように、且つ、その平面の全面に亘って節点 NP が配置されるように設定されている。

【0050】

S240 では、これら複数の右斜め平面のそれぞれについて、節点 NP の右斜め方向移動コスト E_{x-y} を算出する。節点 NP の右斜め方向移動コスト E_{x-y} の算出は、 $X - Z$ 平面の代わりに右斜め平面を用いている点が、上述した X 方向移動コスト E_x の算出と異なる。

【0051】

具体的には、右斜め平面において、 Y 軸から最も近い複数の節点 NP のうちの 1 つを始点して、 X 軸に向かって、1 列ずつ節点 NP へ順次移動させ（図 9 の移動方向 $M5$ を参照）、終点として選択された節点 NP まで移動させた移動経路を右上方向移動経路とする。また、右斜め平面において、 X 軸から最も遠い複数の節点 NP のうちの 1 つを始点して、 Y 軸に向かって、1 列ずつ節点 NP へ順次移動させ（図 9 の移動方向 $M6$ を参照）、終点として選択された節点 NP まで移動させた移動経路を左下方向移動経路とする。

【0052】

S240 では、コスト E が最小となる右上方向移動経路と左下方向移動経路の特定を、1 つの右斜め平面に配列されている全ての節点 NP について行う。これにより、この右斜め平面に配列されている全ての節点 NP のそれぞれについて、右上方向移動経路の最小コスト（以下、右上方向移動コストという）と、左下方向移動経路の最小コスト（以下、左下方向移動コストという）が算出される。

【0053】

そして、S240 では、この右斜め平面に配列されている全ての節点 NP のそれぞれについて、右上方向移動コストと左下方向移動コストとを加算した加算値を、右斜め方向移動コスト E_{x-y} として算出する。

【0054】

この右斜め平面で右斜め方向移動コスト E_{x-y} との算出が終了すると、次の右斜め平面について、同様にして、右斜め方向移動コスト E_{x-y} の算出を行う。そして、全ての右斜め平面について右斜め方向移動コスト E_{x-y} の算出を行うと、S240 の処理を終了する。

【0055】

S240 の処理が終了すると、図 4 に示すように、S250 にて、節点 NP の左斜め方向移動コスト E_{x+y} （後述）を算出する。

S250 では、まず、図 10 に示すように、節点空間 NPS 内において、右斜め平面と交差するように形成された複数の平面（以下、左斜め平面という）を設定する。（図 10 の平面 $PL31$, $PL32$, $PL33$, $PL34$ を参照）。これら複数の左斜め平面は、互いに平行となるように、且つ、その平面の全面に亘って節点 NP が配置されるように設定されている。

【0056】

S250 では、これら複数の左斜め平面のそれぞれについて、節点 NP の左斜め方向移動コスト E_{x+y} を算出する。節点 NP の左斜め方向移動コスト E_{x+y} の算出は、 $X - Z$ 平面の代わりに左斜め平面を用いている点が、上述した X 方向移動コスト E_x の算出と異なる。

【0057】

具体的には、左斜め平面において、原点から最も近い複数の節点 NP のうちの 1 つを始点して、原点から離れる方向に向かって、1 列ずつ節点 NP へ順次移動させ（図 10 の移動方向 $M7$ を参照）、終点として選択された節点 NP まで移動させた移動経路を右下方向移動経路とする。また、左斜め平面において、原点から最も遠い複数の節点 NP のうちの 1 つを始点して、原点へ近付く方向に向かって、1 列ずつ節点 NP へ順次移動させ（図 1

10

20

30

40

50

0の移動方向M8を参照)、終点として選択された節点NPまで移動させた移動経路を左上方向移動経路とする。

【0058】

S250では、コストEが最小となる右下方向移動経路と左上方向移動経路の特定を、1つの左斜め平面に配列されている全ての節点NPについて行う。これにより、この左斜め平面に配列されている全ての節点NPのそれぞれについて、右下方向移動経路の最小コスト(以下、右下方向移動コストという)と、左上方向移動経路の最小コスト(以下、左上方向移動コストという)が算出される。

【0059】

そして、S250では、この左斜め平面に配列されている全ての節点NPのそれぞれについて、右下方向移動コストと左上方向移動コストとを加算した加算値を、左斜め方向移動コスト E_{x+y} として算出する。

10

【0060】

この左斜め平面で左斜め方向移動コスト E_{x+y} との算出が終了すると、次の左斜め平面について、同様にして、左斜め方向移動コスト E_{x+y} の算出を行う。そして、全ての左斜め平面について左斜め方向移動コスト E_{x+y} の算出を行うと、S250の処理を終了する。

【0061】

S250の処理が終了すると、図4に示すように、S260にて、節点空間NPS内の全ての節点NPについて、総方向移動コスト E_{sum} を、下式(3)で算出する。

20

【0062】

【数3】

$$E_{sum} = E_x + E_y + E_{x-y} + E_{x+y} \quad \dots(3)$$

そしてS270にて、基準画像を構成する全てのブロックBLのそれぞれについて、ブロックBLと同じX座標位置とY座標位置を有して視差が互いに異なる複数の節点NPの中から、総方向移動コスト E_{sum} が最小となる節点NPを選択し、第1視差算出処理を終了する。

【0063】

第1視差算出処理が終了すると、図2に示すように、S50にて、第2視差算出処理を行う。ここで、S50で実行される第2視差算出処理の手順を説明する。

30

この第2視差算出処理が実行されると、画像処理装置4は、図11に示すように、まずS310にて、S30で作成された第2解像度の右撮影画像および左撮影画像を用いて、節点空間NPS内に節点NPを配置するとともに、節点NPのコストを算出する。節点NPを配置する方法と、節点NPのコストを算出する方法は、S210と同じであるため、説明を省略する。

【0064】

S310の処理が終了すると、S320にて、節点NPのX方向移動コスト E_x を算出する。S320では、節点空間NPS内の全ての節点NPではなく、S270で選択された節点NPの付近に位置する節点NPに限定して、X方向移動コスト E_x を算出する。X方向移動コスト E_x を算出する方法は、S220と同じであるため、説明を省略する。

40

【0065】

S320の処理が終了すると、S330にて、節点NPのY方向移動コスト E_y を算出する。S330では、節点空間NPS内の全ての節点NPではなく、S270で選択された節点NPの付近に位置する節点NPに限定して、Y方向移動コスト E_y を算出する。Y方向移動コスト E_y を算出する方法は、S230と同じであるため、説明を省略する。

【0066】

S330の処理が終了すると、S340にて、節点NPの右斜め方向移動コスト E_{x-y} を算出する。S340では、節点空間NPS内の全ての節点NPではなく、S270で選択された節点NPの付近に位置する節点NPに限定して、右斜め方向移動コスト E_{x-y}

50

y を算出する。右斜め方向移動コスト E_{x-y} を算出する方法は、S 2 4 0 と同じであるため、説明を省略する。

【 0 0 6 7 】

S 3 4 0 の処理が終了すると、S 3 5 0 にて、節点 N P の左斜め方向移動コスト E_{x+y} を算出する。S 3 5 0 では、節点空間 N P S 内の全ての節点 N P ではなく、S 2 7 0 で選択された節点 N P の付近に位置する節点 N P に限定して、左斜め方向移動コスト E_{x+y} を算出する。左斜め方向移動コスト E_{x+y} を算出する方法は、S 2 5 0 と同じであるため、説明を省略する。

【 0 0 6 8 】

S 3 5 0 の処理が終了すると、S 3 6 0 にて、S 2 6 0 と同様にして、総方向移動コスト E_{sum} を算出する。

そして S 3 7 0 にて、S 2 7 0 と同様にして、基準画像を構成する全てのブロック B L のそれぞれについて、総方向移動コスト E_{sum} が最小となる節点 N P を選択する。

【 0 0 6 9 】

さらに S 3 8 0 にて、S 3 7 0 で選択された節点 N P の視差を、対応するブロック B L の視差として決定する。S 3 8 0 にて、基準画像を構成する全てのブロック B L について視差を決定すると、第 2 視差算出処理を終了する。

【 0 0 7 0 】

第 2 視差算出処理が終了すると、図 2 に示すように、S 6 0 にて、S 2 0 で平行化された右撮影画像および左撮影画像（すなわち、原画像）を用いて、ブロックマッチングを実行する。

【 0 0 7 1 】

S 6 0 では、まず、S 2 0 で平行化された右撮影画像および左撮影画像をそれぞれ基準画像および比較画像とし、基準画像を、X 軸方向に $(2m+1)$ 画素（ m は正の整数）で Y 軸方向に $(2n+1)$ 画素（ n は正の整数）の矩形形状のブロック B L m に分割する。

【 0 0 7 2 】

S 6 0 では、分割された複数のブロック B L m のそれぞれについて、対応点探索の範囲を決定する。例えば、図 1 2 に示すように、基準画像内の 1 つのブロック B L m の座標を (x_m, y_m) とする。なお、ブロック B L m の座標とは、ブロック B L m の中心に位置する画素の位置に対応している。

【 0 0 7 3 】

そして、S 3 8 0 での結果に基づいて、ブロック B L m の視差を決定する。具体的には、第 2 解像度の右撮影画像において、ブロック B L m の座標 (x_m, y_m) を含んでいるブロック B L を特定し、このブロック B L について決定された視差を、ブロック B L m の視差とする。

【 0 0 7 4 】

次に、基準画像内のブロック B L m の座標と視差に基づいて、比較画像内の探索領域 S R c を設定する。ブロック B L m の視差を d_s [ピクセル] と表記すると、例えば、探索領域 S R c の X 方向長さを予め $(2L+1)$ [ピクセル] と設定している場合には、探索領域 S R c の X 方向範囲は、 $(x_m + d_s - 2L) \sim (x_m + d_s + 2L)$ である。また、探索領域 S R c の Y 方向範囲は、 $(y_m - 2n) \sim (y_m + 2n)$ である。

【 0 0 7 5 】

そして、この探索領域 S R c 内で、ブロック B L m と同じ大きさ（すなわち、X 軸方向に m 画素で Y 軸方向に n 画素の矩形）の探索ブロック B L s を移動させる。探索領域 S R c 内において探索ブロック B L s を複数箇所移動させ、移動させた各箇所の探索ブロック B L s の中に含まれる画素と、基準画像内のブロック B L m 内に含まれる画素とを用いて、周知の S A D (Sum of Absolute Difference) を実行する。ブロック B L m が座標 (x_m, y_m) に位置し、探索ブロック B L s の X 座標位置が x_s である場合に、S A D により算出される評価値を $M(x_m, y_m, x_s)$ と表記すると、評価値 $M(x_m, y_m, x_s)$ は、下式 (4) で算出される。下式 (4) の I_m は、ブロック B L m 内に含まれる各

10

20

30

40

50

画素の輝度を示す。下式(4)の I_s は、探索ブロック BL_s 内に含まれる各画素の輝度を示す。

【0076】

【数4】

$$M(x_m, y_m, x_s) = \sum_{i=-m}^m \sum_{j=-n}^n |I_m(x_m + i, y_m + j) - I_s(x_s + i, y_m + j)| \quad \dots(4)$$

そして、図13に示すように、横軸を x_s （探索ブロック BL_s のX座標位置）とし、縦軸を評価値 $M(x_m, y_m, x_s)$ として、算出された複数の評価値 $M(x_m, y_m, x_s)$ をプロットしたグラフを作成する（プロット点PT1, PT2, PT3, PT4, PT5を参照）。そして、プロット点に対して、例えば2次関数等のフィッティング関数を用いてフィッティングを行い、フィッティングにより得られたフィッティング曲線（曲線FLを参照）において極小値となるX座標位置 x_f を算出する。このX座標位置 x_f と、ブロック BL_m のX座標位置 x_m との差が、ブロック BL_m の視差である。

10

【0077】

1つのブロック BL_m で視差の算出が終了すると、次のブロック BL_m について、同様にして、視差の算出を行う。そして、全てのブロック BL_m について視差の算出を行うと、S60の処理を終了する。

【0078】

S60の処理が終了すると、図2に示すように、S70にて、基準画像を構成する全てのブロック BL_m について、S60で算出された視差に基づき、視差を用いた周知の距離算出式を用いて距離を算出し、距離測定処理を終了する。これにより、基準画像を構成するブロック BL_m 毎に、ブロック BL_m 内に写っている物体までの距離が特定される。

20

【0079】

図14に、本実施形態の測距装置1による距離測定結果と、S60においてブロックマッチングの代わりにS40とS50と同様に総方向移動コスト E_{sum} を算出することで得られた距離測定結果（以下、比較用測定結果という）を示す。

【0080】

測距装置1による距離測定結果は、第1解像度の画像と、第2解像度の画像とで動的計画法を適用し、原画像でブロックマッチングを適用した測定結果である。

30

比較用測定結果は、第1解像度の画像と、第2解像度の画像と、原画像とで動的計画法を適用した測定結果である。

【0081】

図14に示す画像G11は、右撮像装置2で撮影された画像である。画像G12は、測距装置1が画像G11を用いて距離を測定した結果を示す。画像G13は、画像G12の一部を拡大した図である。画像G14は、画像G11を用いた比較用測定結果を示す。画像G15は、画像G14の一部を拡大した図である。

【0082】

図14の画像G13と画像G15とを比較すると明らかなように、画像G11において連続的に距離が変化している箇所（画像G13の矢印Lc1と画像G15の矢印Lc2を参照）において、画像G13が示す距離測定結果は濃淡が連続的に変化しているのに対して、画像G15が示す距離測定結果は濃淡が離散的に変化している。

40

【0083】

このように構成された測距装置1は、互いに異なる視点から同一の撮影領域を含むように同時に撮影された右画像データおよび左画像データを取得する（S10）。また測距装置1は、取得された右画像データおよび左画像データに対して右画像データおよび左画像データの解像度よりも低くなるように予め設定された第1解像度と第2解像度の右画像データ（以下、右低解像度データという）および左画像データ（以下、左低解像度データという）を作成する（S30）。

【0084】

50

また測距装置 1 は、右低解像度データを、複数の画素で構成されたブロック B L に分割する。また測距装置 1 は、分割された複数のブロック B L 毎に、左低解像度データ内においてブロック B L と同じ領域が写っている節点設定用ブロック B L n を、動的計画法を用いて探索することにより、ブロック B L の視差を検出する (S 2 1 0 ~ S 2 7 0 , S 3 1 0 ~ S 3 7 0) 。

【 0 0 8 5 】

そして測距装置 1 は、取得された右画像データを、複数の画素で構成されたブロック B L m に分割する。また測距装置 1 は、分割された複数のブロック B L m 毎に、左画像データ内においてブロック B L m と同じ領域が写っているブロック (以下、撮影解像度対応ブロックという) を、ブロックマッチング法を用いて決定することにより、ブロック B L m の視差を検出する (S 6 0) 。また測距装置 1 は、動的計画法による視差検出結果 (S 4 0 , S 5 0) に基づいて、左画像データ内においてブロックマッチング法を用いて撮影解像度対応ブロックを探索する探索範囲を限定する (S 6 0) 。

【 0 0 8 6 】

このように測距装置 1 は、動的計画法を用いて視差を検出しているが、最終的にはブロックマッチング法を用いて視差を検出する。このため、測距装置 1 は、動的計画法において正則化項を含む目的関数を使用することに起因して視差の検出結果が離散的になるのを回避することができ、視差の検出精度を向上させることができる。さらに測距装置 1 は、低解像度に変換した右低解像度データおよび左低解像度データに対して動的計画法を用いているため、動的計画法を用いて視差を検出するときの処理負荷を低減することができる。また測距装置 1 は、動的計画法を用いた視差検出結果に基づいて、ブロックマッチング法を用いてブロックを探索する探索範囲を限定するため、ブロックマッチング法を用いて視差を検出するときの処理負荷を低減することができる。以上より、測距装置 1 は、処理時間の短縮と視差の検出精度の向上とを両立させることができる。

【 0 0 8 7 】

また測距装置 1 は、複数のブロック B L 毎に、ブロック B L の右低解像度データ内における 2 次元位置とブロック B L の視差とにより特定される節点 N P を、ブロック B L の 2 次元位置とブロック B L の視差とで定義される 3 次元空間である節点空間 N P S 内に配置する (S 2 1 0 , S 3 1 0) 。また測距装置 1 は、節点 N P に対して、対応するブロック B L と、対応する節点 N P に設定されている視差分離れている左低解像度データ内の節点設定用ブロック B L n との類似度が高いほど値が小さくなるように算出されるコスト D (p , u p) を設定する (S 2 1 0 , S 3 1 0) 。

【 0 0 8 8 】

また測距装置 1 は、節点空間 N P S 内において 1 つの節点 N P である第 1 節点から別の節点 N P である第 2 節点へ移動する場合に、第 1 節点の視差と第 2 節点の視差との差が大きいほど値が大きくなるように算出される視差コスト S (u p , u q) を設定する (S 2 2 0 ~ S 2 5 0 , S 3 2 0 ~ S 3 5 0) 。

【 0 0 8 9 】

また測距装置 1 は、節点空間 N P S 内に配置された複数の節点 N P のそれぞれについて、節点 N P を終点として、節点空間 N P S の一端に位置する節点 N P を第 1 始点として第 1 始点から終点へ向って移動する右方向移動経路、下方向移動経路、右上方向移動経路および右下方向移動経路を設定する (S 2 2 0 ~ S 2 5 0 , S 3 2 0 ~ S 3 5 0) 。以下、右方向移動経路、下方向移動経路、右上方向移動経路および右下方向移動経路をまとめて第 1 移動経路という。また測距装置 1 は、節点空間 N P S の一端とは反対側の他端に位置する節点 N P を第 2 始点として第 2 始点から終点へ向って移動する左方向移動経路、上方向移動経路、左下方向移動経路および左上方向移動経路を設定する (S 2 2 0 ~ S 2 5 0 , S 3 2 0 ~ S 3 5 0) 。以下、左方向移動経路、上方向移動経路、左下方向移動経路および左上方向移動経路をまとめて第 2 移動経路という。

【 0 0 9 0 】

また測距装置 1 は、第 1 移動経路上に存在する節点 N P のコスト D (p , u p) と第 1

移動経路の視差コスト $S(u_p, u_q)$ との総和を、右方向移動コスト、下方向移動コスト、右上方方向移動コストおよび右下方方向移動コストとする ($S_{220} \sim S_{250}, S_{320} \sim S_{350}$)。以下、右方向移動コスト、下方向移動コスト、右上方方向移動コストおよび右下方方向移動コストをまとめて第1移動コストという。

【0091】

また測距装置1は、第2移動経路上に存在する節点NPのコスト $D(p, u_p)$ と第2移動経路の視差コスト $S(u_p, u_q)$ との総和を、左方向移動コスト、上方方向移動コスト、左下方方向移動コストおよび左上方方向移動コストとする ($S_{220} \sim S_{250}, S_{320} \sim S_{350}$)。以下、左方向移動コスト、上方方向移動コスト、左下方方向移動コストおよび左上方方向移動コストをまとめて第2移動コストという。

10

【0092】

そして測距装置1は、第1移動コストが最小となる第1移動経路(以下、第1最小移動経路という)と、第2移動コストが最小となる第2移動経路(以下、第2最小移動経路という)とを動的計画法を用いて探索する ($S_{220} \sim S_{250}, S_{320} \sim S_{350}$)。

【0093】

さらに測距装置1は、第1最小移動経路の第1移動コストと第2最小移動経路の第2移動コストとに基づいて、節点NPのX方向移動コスト E_x 、Y方向移動コスト E_y 、右斜め方向移動コスト E_{x-y} および左斜め方向移動コスト E_{x+y} を算出する ($S_{220} \sim S_{250}, S_{320} \sim S_{350}$)。

【0094】

そして測距装置1は、複数のブロックBL毎に、ブロックBLに対応する複数の節点NPの中から、総方向移動コスト E_{sum} が最も小さい節点NPの視差を、ブロックBLの視差として決定する ($S_{260}, S_{270}, S_{360}, S_{370}$)。

20

【0095】

このように測距装置1は、正則化項である視差コスト $S(u_p, u_q)$ を含む移動コストを目的関数として使用する動的計画法を用いて、視差を検出する。これに対して、測距装置1は、最終的にはブロックマッチング法を用いて視差を検出する。このため、測距装置1は、視差の検出結果が離散的になるのを回避することができ、視差の検出精度を向上させることができる。

【0096】

また測距装置1は、互いに異なるX方向、Y方向、右斜め方向および左斜め方向で、X方向移動コスト E_x 、Y方向移動コスト E_y 、右斜め方向移動コスト E_{x-y} および左斜め方向移動コスト E_{x+y} を算出する ($S_{220} \sim S_{250}, S_{320} \sim S_{350}$)。そして測距装置1は、算出されたX方向移動コスト E_x 、Y方向移動コスト E_y 、右斜め方向移動コスト E_{x-y} および左斜め方向移動コスト E_{x+y} に基づいて、ブロックBLの視差を決定する ($S_{260}, S_{270}, S_{360}, S_{370}$)。

30

【0097】

このように、測距装置1は、複数の移動方向で算出された移動コストに基づいて視差を決定するため、右画像データおよび左画像データに含まれるノイズが視差検出結果に与える影響を低減し、視差の検出精度を向上させることができる。

40

【0098】

また測距装置1は、互いに異なる第1解像度と第2解像度で、右低解像度データおよび左低解像度データを作成する (S_{30})。そして測距装置1は、まず第1解像度の右低解像度データのブロックBLの視差を検出し (S_{40})、第1解像度の視差検出結果に基づき、第2解像度の右低解像度データで動的計画法を用いて探索するときの視差の範囲を限定する (S_{50})。

【0099】

これにより、測距装置1は、第1解像度より高い第2解像度において動的計画法を用いて探索するときの視差の範囲を狭くすることができ、動的計画法を用いて視差を検出するときの処理負荷を低減することができる。

50

【0100】

また測距装置1は、撮影解像度対応ブロックをブロックマッチング法を用いて探索する場合に、評価値 $M(x_m, y_m, x_s)$ と、ブロック BL_m と左画像データ内の探索ブロック BL_s との視差との相対関係に対して、フィッティング関数を用いてフィッティングするサブピクセル推定を行うことにより、ブロック BL_m の視差を検出する(S60)。これにより、測距装置1は、サブピクセルの精度で視差を検出することができる。

【0101】

以上説明した実施形態において、画像処理装置4は本発明における視差検出装置、S10の処理は本発明における画像取得手段、S30の処理は本発明における低解像度画像作成手段、S210~S270, S310~S370の処理は本発明における第1視差検出手段、S60の処理は本発明における第2視差検出手段である。

10

【0102】

また、右画像データは本発明における第1撮影画像、左画像データは本発明における第2撮影画像、第1解像度と第2解像度の右画像データは本発明における第1低解像度画像、第1解像度と第2解像度の左画像データは本発明における第2低解像度画像、ブロック BL は本発明における低解像度ブロック、ブロック BL_m は本発明における撮影解像度ブロックである。

【0103】

また、S210, S310の処理は本発明における節点配置手段、S220~S250, S320~S350の処理は本発明におけるコスト算出手段、S260, S270, S360, S370の処理は本発明における視差決定手段である。

20

【0104】

また、コスト $D(p, u_p)$ は本発明における節点コスト、コスト $S(u_p, u_q)$ は本発明における視差コスト、X方向移動コスト E_x 、Y方向移動コスト E_y 、右斜め方向移動コスト E_{x-y} および左斜め方向移動コスト E_{x+y} は本発明における移動方向移動コストである。

【0105】

以上、本発明の一実施形態について説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、本発明の技術的範囲に属する限り種々の形態を採ることができる。

(変形例1)

30

例えば上記実施形態では、2台の撮像装置(すなわち、右撮像装置2と左撮像装置3)を用いて視差を検出するものを示したが、3台以上の撮像装置を用いるようにしてもよい。

【0106】

(変形例2)

また上記実施形態では、互いに異なる2つの低解像度(すなわち、第1解像度と第2解像度)の右撮影画像および左撮影画像を作成するものを示したが、1つの低解像度または3つ以上の低解像度の右撮影画像および左撮影画像を作成するようにしてもよい。

【0107】

(変形例3)

40

また上記実施形態では、X方向移動コスト E_x 、Y方向移動コスト E_y 、右斜め方向移動コスト E_{x-y} および左斜め方向移動コスト E_{x+y} を加算した総方向移動コスト E_{sum} を算出することにより視差を検出するものを示した。しかし、コスト E_x 、 E_y 、 E_{x-y} 、 E_{x+y} に基づいて視差を検出する方法は、総方向移動コスト E_{sum} に限定されるものではなく、コスト E_x 、 E_y 、 E_{x-y} 、 E_{x+y} を考慮できる手法であればよい。

【0108】

上記実施形態における1つの構成要素が有する機能を複数の構成要素として分散させたり、複数の構成要素が有する機能を1つの構成要素に統合させたりしてもよい。また、上記実施形態の構成の一部を省略してもよい。また、上記実施形態の構成の少なくとも一部

50

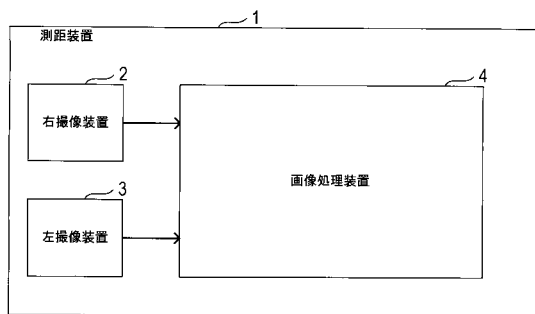
を、他の上記実施形態の構成に対して付加又は置換してもよい。なお、特許請求の範囲に記載した文言のみによって特定される技術思想に含まれるあらゆる態様が本発明の実施形態である。

【符号の説明】

【0109】

- 1 ... 測距装置、 2 ... 右撮像装置、 3 ... 左撮像装置、 4 ... 画像処理装置

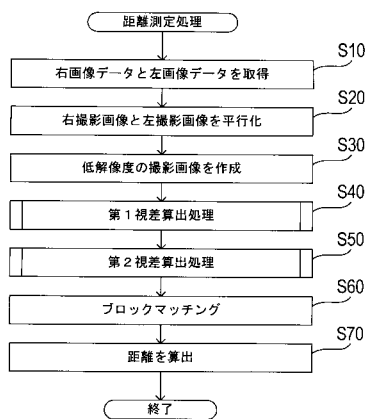
【図1】



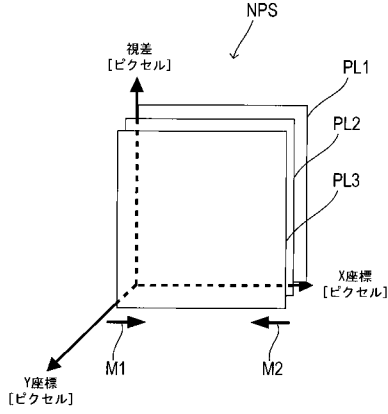
【図4】



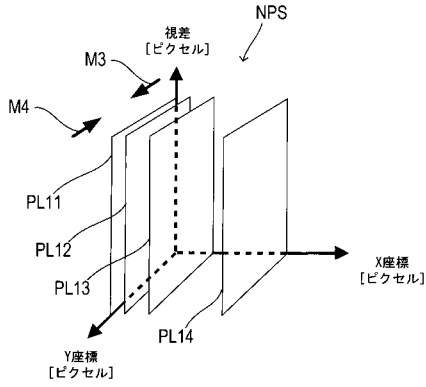
【図2】



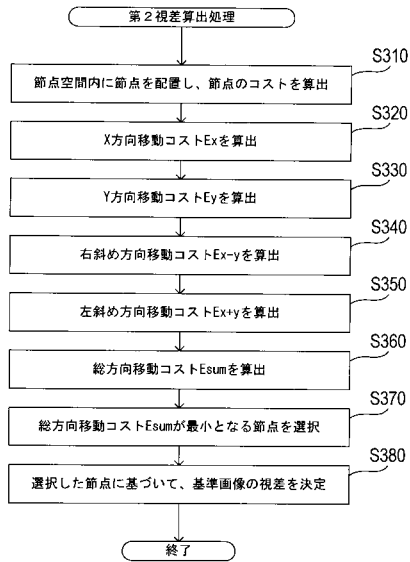
【 図 7 】



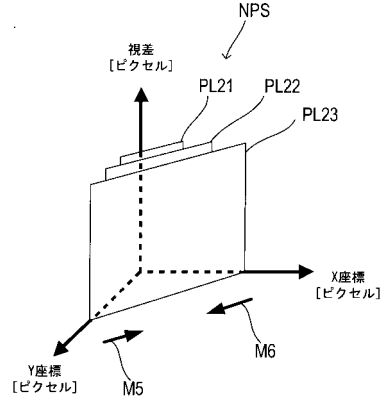
【 図 8 】



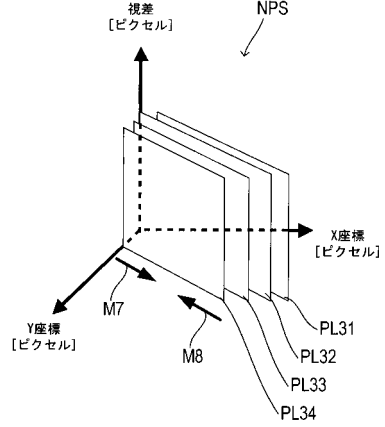
【 図 1 1 】



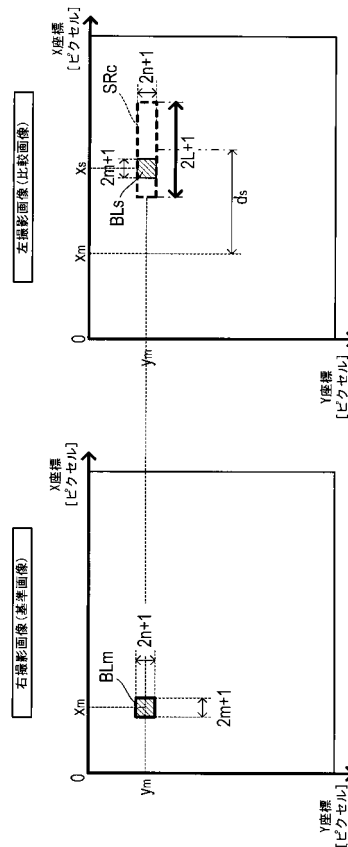
【 図 9 】



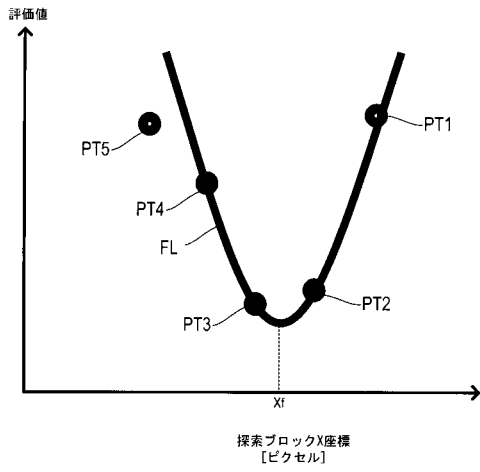
【 図 1 0 】



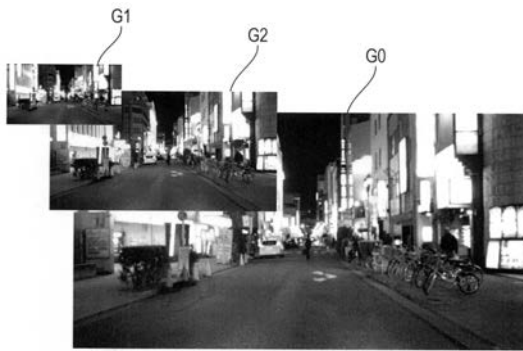
【 図 1 2 】



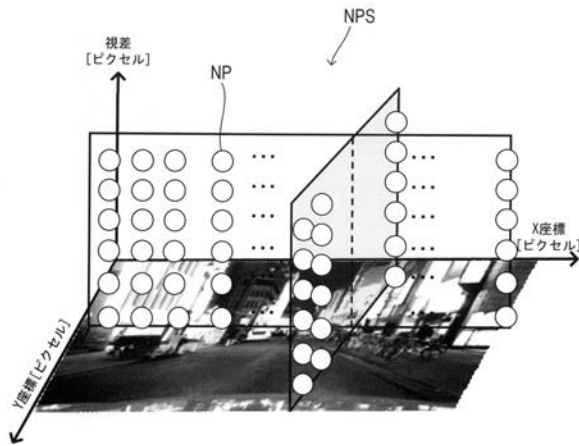
【 図 1 3 】



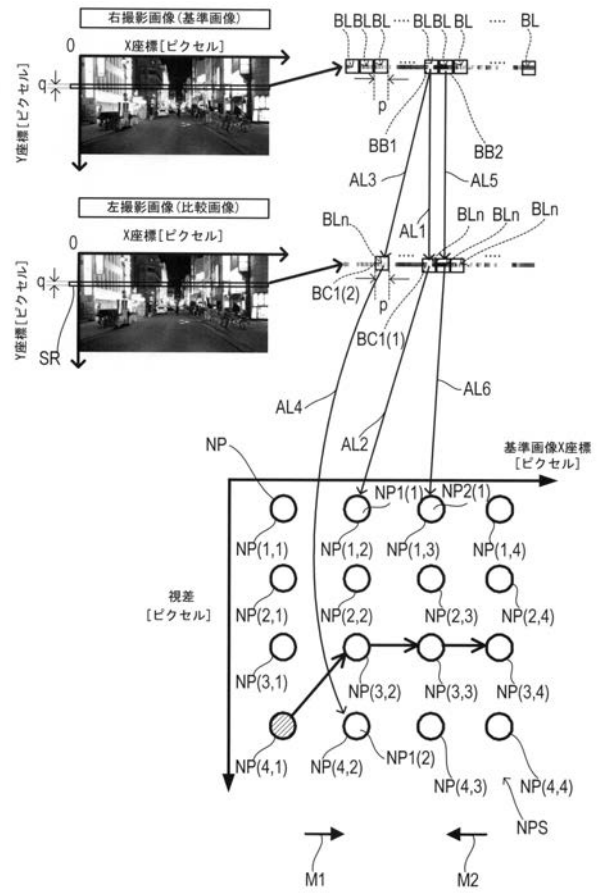
【 図 3 】



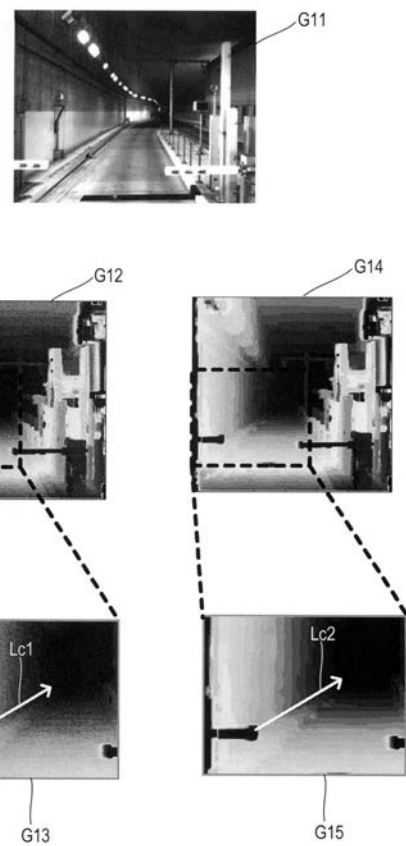
【 図 6 】



【 図 5 】



【 図 1 4 】



フロントページの続き

(72)発明者 白井 孝昌

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内

(72)発明者 三田 誠一

愛知県名古屋市天白区久方2丁目12番地1 学校法人トヨタ学園内

(72)発明者 ロン チャン

愛知県名古屋市天白区久方2丁目12番地1 学校法人トヨタ学園内

Fターム(参考) 2F112 AC06 BA05 BA06 CA05 FA31 FA35 FA38 FA45

5B057 AA16 CA08 CA12 CA13 CA16 CH11 DA07 DA08 DB03 DB09

DC03 DC32

5L096 BA04 CA05 FA66 GA19 JA14