

明 細 書

発明の名称：

路面 3 次元形状推定装置、路面 3 次元形状の推定方法、路面 3 次元形状推定システム、及び路面 3 次元形状推定プログラム

技術分野

[0001] 本開示は、路面 3 次元形状推定装置、路面 3 次元形状の推定方法、路面 3 次元形状推定システム、及び路面 3 次元形状推定プログラムに関する。

背景技術

[0002] 近年、道路の不具合を検出したり、適切な維持管理方法を開発したりすることを目的として、様々な検査項目及び方法が提案されている。路面の検査項目に関しては、国土交通省が、路面の補修の判断材料として、ひび割れ率、及びわだち掘れ深さを重要な指標に定めている。

[0003] 路面の 3 次元形状（以下、「路面形状」ともいう。）を推定する方法としては、例えば路面を走行する車両に加速度センサ等のセンサを設置して路面の縦断形状を推定する方法、レーザスキャナを搭載した MMS（Mobile Mapping System）により路面の凹凸形状を推定する方法、及び視点の異なる複数枚の画像から路面の凹凸形状を推定する Structure from motion（SfM）のような方法が考えられる。

[0004] 例えば特許文献 1 には、車両が接地する路面に対して垂直方向の加速度及びピッチ軸に関する角速度等に基づいて路面の縦断形状を推定する方法が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献 1：特開 2018-185276 号公報

発明の概要

[0006] 本発明者らは、既存の路面形状推定方法において、種々の課題を見出した。例えば、SfM による路面形状推定方法は、3 次元モデル構築のための計

算量が膨大であり、また高精度で路面形状を推定することが困難である。さらに、当該方法では多数の視点からの路面画像を必要とするため、路面形状推定に長期間を必要とする傾向にある。

[0007] そこで、本発明は、簡便かつ高精度で路面の3次元形状を推定することができる路面形状推定装置等を提供することを目的とする。

[0008] 本発明の一態様は、第1の位置から路面を撮影した第1の画像を鳥瞰図に変換した第1の鳥瞰図と、第1の位置とは異なる第2の位置から路面を撮影した第2の画像を鳥瞰図に変換した第2の鳥瞰図とを比較して、路面の複数の部分について、当該部分に対応する第1の鳥瞰図における第1部分と第2の鳥瞰図における第2部分とを特定する特定部と、第1部分と第2部分との画像上の移動量を算出し、移動量に基づいて路面の凹凸形状を推定する推定部と、を備える路面形状推定装置を提供する。

[0009] この態様によれば、路面に凹凸が存在する場合に鳥瞰図に変換した画像の一部が歪むことを利用し、異なる視点から撮影した1対の画像の鳥瞰変換による歪み具合を比較することで、2枚の画像のみから路面の凹凸形状を高精度に推定することができる。

[0010] 上記態様において、特定部が、第1の鳥瞰図と第2の鳥瞰図とをマッチングすることにより、第1及び第2部分を特定することが好ましい。特定部は、第1及び第2の鳥瞰図における特徴点をマッチングするか、又は第1及び第2の鳥瞰図の少なくとも一部の領域に含まれる全画素をマッチングしてよい。この態様によれば、多くの路面上の点について第1の鳥瞰図における第1部分と第2の鳥瞰図における第2部分とを特定することができ、路面形状推定の精度を高めることができる。

[0011] 上記態様において、特定部が、第1及び第2の鳥瞰図において指定された所定のサイズを有する複数の領域であって、領域の少なくとも一部分は隣接する領域と互いに重複している複数の領域のそれぞれについて、マッチングを行うと好ましい。

また、特定部が、さらに、第1及び第2の鳥瞰図をそれぞれホモグラフィ

変換して得られる第1及び第2の変換図をマッチングすることにより、第1及び第2部分を特定することも好ましい。

また、特定部が、教師あり学習モデルによりマッチングを行い、学習モデルの教師データが、路面の画像及びこれに対応する不明瞭な画像の組み合わせ、並びに互いに重複する領域の全画素が対応づけられている2つの画像の組み合わせの少なくとも1種を含むことも好ましい。

これらの態様によれば、多くの路面上の点について第1の鳥瞰図における第1部分と第2の鳥瞰図における第2部分とを特定することができ、路面形状推定の精度を高めることができる。

[0012] 上記態様において、路面の画像及びこれに対応する不明瞭な画像の前記組み合わせが、路面の画像と、該路面の画像の少なくとも一部にぼかしを追加した部分を含む画像との組み合わせであると好ましい。

また、互いに重複する領域の全画素が対応づけられている2つの画像の前記組み合わせが、重複する領域を含む1対の画像に対して特徴点をマッチングすることにより複数の特徴点をマッチングすることと、該複数の特徴点の少なくとも一部が前記1対の画像において重なり合うように前記1対の画像の少なくとも一方を射影変換することと、少なくとも一方が射影変換された前記1対の画像の重複する領域において、前記マッチングされた複数の特徴点以外の画素について互いに重なり合う画素を対応付けるようにマッチングすることと、を含む方法により生成された2つの画像の組み合わせであると好ましい。

これらの態様によれば、多くの路面上の点について第1の鳥瞰図における第1部分と第2の鳥瞰図における第2部分とをより簡便かつより精度高く特定することができ、路面形状推定の精度を高めることができる。

[0013] 上記態様において、第1及び第2の画像が、路面を走行している車両に設置された撮影部により撮影された画像又は動画のフレームであり、特定部が、少なくとも、車両の走行方向に略垂直な方向に関して互いに異なる位置を有する路面の複数の部分について、第1及び第2部分を特定し、推定部が、

車両の走行方向に略垂直な方向に沿った凹凸形状を推定してよい。この態様によれば、路面のわだち掘れ形状を好適に推定することができる。

[0014] 上記態様において、特定部が、さらに、車両の走行方向に略垂直な方向に関して互いに同じ位置を有する路面の複数の部分について、第1及び第2部分を特定し、推定部が、車両の走行方向に略垂直な方向に関して互いに同じ位置を有する路面の複数の部分について、算出した移動量の走行方向成分の平均値をさらに算出することが好ましい。この態様によれば、より精度高く、路面のわだち掘れ形状を推定することができる。

[0015] 上記態様において、凹凸形状は、わだち掘れ、及びポットホールの少なくとも1種を含んでいてよい。

[0016] 上記態様において、推定部が、寸法が既知の凹凸形状を有する路面又は物体についての推定結果を参照データとして、推定した路面の凹凸形状の寸法をさらに算出してもよい。この態様によれば、推定した凹凸形状の実寸も推定することができる。

[0017] 本発明の別の態様は、上記態様の路面形状推定装置を用いて路面形状を推定する方法、及びコンピュータを路面形状推定装置として機能させるプログラムを提供する。

[0018] 本発明のさらに別の態様は、車両に設置された撮影部と、撮影部が第1の位置から路面を撮影した第1の画像を鳥瞰図に変換した第1の鳥瞰図と撮影部が第1の位置とは異なる第2の位置から路面を撮影した第2の画像を鳥瞰図に変換した第2の鳥瞰図とを比較して、路面の複数の部分について、当該部分に対応する第1の鳥瞰図における第1部分と第2の鳥瞰図における第2部分とを特定する特定部と、第1部分と第2部分との画像上の移動量を算出し、当該移動量に基づいて路面の凹凸形状を推定する推定部と、を備える、路面形状推定システムを提供する。

発明の効果

[0019] 本発明は、簡便かつ高精度で路面の3次元形状を推定することができる路面形状推定装置等を提供する。

図面の簡単な説明

[0020] [図1]本実施形態に係る路面形状推定システムの概略図である。

[図2]本実施形態に係る路面形状推定装置の機能ブロック図である。

[図3]本実施形態に係る路面形状推定装置の物理的構成を示す図である。

[図4]本実施形態に係る路面形状推定システムにおける処理のフローチャートである。

[図5]本実施形態に係る路面形状推定システムにおいて取得及び変換された画像の一例である。(a)第1の位置から撮影した第1の画像であり、(b)第2の位置から撮影した第2の画像であり、(c)第1の画像を鳥瞰変換した第1の鳥瞰図であり、(d)第2の画像を鳥瞰変換した第2の鳥瞰図である。(c)及び(d)において、矩形で囲まれた領域Sは第1の鳥瞰図及び第2の鳥瞰図において重複している領域を表す。(e)(c)及び(d)の領域Sに含まれた線状の構造物の影Pの画像上の位置を2次元座標で示したグラフである。

[図6]本実施形態に係る路面形状推定装置の推定部における推定の概略図である。

[図7]本実施形態に係る路面形状推定システムが路面のわだち掘れ形状を推定する処理のフローチャートである。

[図8]本実施形態に係る路面形状推定システムによりわだち掘れの形状を推定する際の出力の例を示すグラフである。(a)所定の領域に含まれる、第1部分及び第2部分が特定された複数の点について、画像上のx座標、及び第1部分から第2部分への移動量のy軸方向成分 Δy をプロットしたグラフである。(b)(a)のグラフにおいてx座標が同じ各点の Δy の平均値を計算したグラフである。(c)(b)のグラフを連続化したグラフである。(d)(c)のグラフを平滑化したグラフである。(e)(d)のグラフをわだち掘れの深さに変換したグラフである。

[図9]本実施形態に係る路面形状推定システムによる3次元形状の推定の一例を示す図である。(a)3次元形状を推定する際に複数の領域に分割して推

定を行う例を示した図である。（b－c）本実施形態に係る路面形状推定システムにより推定された（b）わだち掘れ、及び（c）ポットホールの３次元形状を示す図である。

発明を実施するための形態

[0021] 添付図面を参照して、本発明の実施形態について説明する。なお、各図において、同一の符号を付したものは、同一又は同様の構成を有する。

[0022] [路面形状推定システム]

図１は、本実施形態に係る路面形状推定システム１の構成概要を示す図である。路面形状推定システム１は、車両３０と、車両３０に設置された撮影部２０と、路面形状推定装置１０と、を含む。路面形状推定システム１において、車両３０上の撮影部２０は、路面の動画又は写真を撮影する。路面形状推定装置１０は、撮影部２０が撮影した動画又は写真から１対の画像を１又は複数抽出し、当該１対の画像に基づいて路面の３次元形状を推定する。路面形状推定装置１０は、１対の画像を鳥瞰図に変換し、当該１対の鳥瞰図を比較する。路面形状推定装置１０は、路面に凹凸が存在する場合に鳥瞰図に変換した画像の一部が歪むことを利用し、異なる視点から撮影した１対の画像の鳥瞰変換による歪み具合を比較することで、路面の３次元形状を推定する。

[0023] すなわち、路面形状推定システム１は、車両３０に設置された撮影部２０と、撮影部２０が第１の位置から路面を撮影した第１の画像を鳥瞰図に変換した第１の鳥瞰図と、撮影部２０が第１の位置とは異なる第２の位置から路面を撮影した第２の画像を鳥瞰図に変換した第２の鳥瞰図とを比較して、路面の複数の部分について、当該部分に対応する第１の鳥瞰図における第１部分と第２の鳥瞰図における第２部分とを特定し、第１部分と第２部分との画像上の移動量を算出し、移動量に基づいて路面の凹凸形状を推定する路面形状推定装置１０と、を備える。

[0024] 路面形状推定システム１において、路面形状推定装置１０は、通信ネットワークＮを介して撮影部２０と接続される。ここで、通信ネットワークＮは

、有線又は無線の通信網であってよい。なお、路面形状推定装置 10 は、必ずしも撮影部 20 と独立した装置でなくてもよく、撮影部 20 と一体となって構成されるものであってもよい。その場合、撮影部 20 を含む情報処理端末にインストールされた路面推定プログラムが実行されることで、当該情報処理端末が路面形状推定装置 10 としても機能してよい。

[0025] 撮影部 20 は、映像又は画像を撮影できる構成であれば特に限定されない。撮影部 20 は、例えばカメラであってよく、スマートフォン及びタブレットのような汎用情報処理端末であってもよい。

[0026] 撮影部 20 は、車両 30 に固定して設置される。すなわち、車両 30 の移動に対応して移動する。路面形状推定装置 10 における推定においては、撮影部 20 が車両に必ずしも設置されている必要はないが、本明細書では、撮影部 20 が車両 30 に設置され、車両 30 の移動により撮影部 20 が移動する場合について説明する。なお、撮影部 20 が車両に設置されていない場合は、撮影部 20 は、路面からの高さを一定に保ったまま撮影部 20 を移動させることができる機構を有する保持具により保持されることが好ましい。これにより、路面形状推定装置 10 による推定の精度を高めることができる。

[0027] 撮影部 20 は、路面を撮影できる位置であれば車両 30 のどの部分に設置されてもよい。例えば、撮影部 20 は、車両 30 の走行方向前方又は後方に設定されてよく、車両 30 のダッシュボードの上、フロントガラス、及びバックミラー等に設置されて、走行方向前方の路面を撮影してよい。撮影部 20 は、車両 30 の走行方向前方又は後方の画像を取得してよい。第 1 の画像を撮影する第 1 の位置と、第 2 の画像を撮影する第 2 の位置と、撮影する路面とは、略同一直線にあってよい。

[0028] 撮影部 20 は、3次元形状を推定する対象としての路面を撮影し、当該路面の動画又は画像を取得する。撮影部 20 が画像を取得する場合は、路面内の同一箇所を画像範囲内に含む少なくとも 2 枚の画像を取得する。撮影部 20 が動画を取得する場合は、当該動画に、路面内の同一箇所を撮影範囲内に含む少なくとも 2 枚のフレームが含まれるように動画を取得する。本明細書

では、特に言及しない限りにおいて、動画におけるフレームと、静止画像とを包含して、「画像」という。したがって、撮影部20は、撮影範囲が重複している1対の画像を取得する。すなわち、撮影部20が取得する1対の画像のそれぞれは、路面内の所定の範囲を含み、路面形状推定装置10は、当該1対の画像のいずれにも含まれている路面内の範囲の3次元形状を推定することができる。

[0029] 撮影部20は車両30に設置され、車両30を走行させながら撮影部20により路面を撮影する。これにより、第1の位置から路面を撮影した第1の画像と、第2の位置から路面を撮影した第2の画像が得られる。ここで、第1の位置及び第2の位置の路面からの高さは略等しい。車両30の走行速度と撮影部20の画像の取得間隔（動画を取得する場合はフレームレートであり、画像を取得する場合は連写速度である。）とを調整することにより、第1の画像及び第2の画像において重複する部分の範囲を任意に変更することができる。

[0030] 第1の画像を取得する第1の位置と、第2の画像を取得する第2の位置とは、例えば数メートル間隔であってよく、0.5～10メートル間隔、又は1～5メートル間隔であってよい。路面形状推定システム1は、全地球航法衛星システム（GNSS）に基づいて、車両30に設置された情報処理端末から車両30及び撮影部20の位置情報を取得し、当該位置情報に基づいて、撮影部20が取得した複数の画像から適切な間隔で取得された1対の画像を選択してもよい。当該画像を選択する機能は、車両30に設置された情報処理端末が有してよく、路面形状推定装置10が有してもよい。当該車両30に設置された情報処理端末が、撮影部20として機能してもよい。

[0031] 車両30は、路面上を4輪のタイヤで走行する自動車であってよい。もっとも、車両30は、3輪や2輪のものであってもよいし、5輪以上のものであってもよい。車両30としては任意の大きさの自動車を用いてよい。

[0032] （路面形状推定装置）

図2は、路面形状推定装置10の機能ブロック図である。路面形状推定装

置 1 0 は、取得部 1 1、変換部 1 2、特定部 1 3、及び推定部 1 4 を備える。なお、本実施形態では、路面形状推定装置 1 0 において、取得部 1 1 が撮影部 2 0 から画像を取得し、変換部 1 2 が当該画像を変換する態様を例にして説明するが、例えば、撮影部 2 0 の機能を有する情報処理端末が変換部 1 2 の機能を有していてもよい。この場合、路面形状推定装置 1 0 の取得部 1 1 は、撮影部 2 0 を含む情報処理端末が取得し、さらに鳥瞰変換した鳥瞰図を取得する。また、上述のように、撮影部 2 0 を含む情報処理端末が路面形状推定装置 1 0 としての機能を有する場合は、当該情報処理端末は、撮影部 2 0、変換部 1 2、特定部 1 3、及び推定部 1 4 を含んでいけばよい。

[0033] 取得部 1 1 は、撮影部 2 0 が路面を撮影することで取得された 2 枚以上の画像を取得する。取得部 1 1 は、後述の通信部 1 0 d により実現されてよい。取得部 1 1 は、撮影部 2 0 が撮影した複数の画像のうち、全ての画像を取得してもよく、一部の画像のみを取得してもよい。

[0034] 取得部 1 1 は、撮影範囲が重複している 1 対の画像を少なくとも取得する。重複部分は、取得した 1 対の画像のそれぞれの 2 0 % 以上、3 0 % 以上、4 0 % 以上、5 0 % 以上、又は 6 0 % 以上であってよく、9 0 % 以下、8 0 % 以下、又は 7 0 % 以下であってよい。

[0035] 変換部 1 2 は、取得部 1 1 が取得した複数の画像を鳥瞰図に変換する。変換部 1 2 は、後述の R A M 1 0 b 又は R O M 1 0 c に記憶され C P U 1 0 a により実行される画像変換プログラムにより実現されてよい。変換部 1 2 は、取得部 1 1 が取得した複数の画像のうち、全ての画像を変換してもよいし、一部の画像のみを変換してもよい。

[0036] 撮影部 2 0 は、車両 3 0 に設置され、路面を撮影する。したがって、撮影部 2 0 により撮影され、取得部 1 1 により取得される画像は、路面に対して斜め上方から路面を写した画像となる。変換部 1 2 は、当該路面に対して斜め上方からの画像を、路面直上から路面を写したような画像に変換する。変換手段は特に限定されないが、具体例については後述する。変換部 1 2 は、少なくとも、撮影範囲が重複している 1 対の画像について、鳥瞰変換を行う

。

- [0037] 特定部 1 3 は、変換部 1 2 により変換された複数の鳥瞰図のうち、撮影範囲が重複している 1 対の鳥瞰図を比較して、路面の複数の部分について、当該部分に対応する第 1 の鳥瞰図における第 1 部分と第 2 の鳥瞰図における第 2 部分とを特定する。言い換えれば、特定部 1 3 は、第 1 の鳥瞰図の複数の部分又は点について、これに対応する第 2 の鳥瞰図における部分又は点を特定する。特定部 1 3 は、複数の第 1 部分と、それらにそれぞれ対応する複数の第 2 部分とを特定する。特定部 1 3 は、後述の入力部 1 0 e や、後述の RAM 1 0 b 又は ROM 1 0 c に記憶され CPU 1 0 a により実行されるプログラムにより実現されてよい。
- [0038] 特定部 1 3 が特定する鳥瞰図における部分は、鳥瞰図中の 1 ピクセルからなる部分であってよく、複数のピクセルからなる部分であってよい。複数のピクセルは、例えば 2 ～ 16 ピクセルであってよい。また、特定部 1 3 は、路面の複数の部分について、第 1 部分と第 2 部分とを特定するが、当該複数の部分は、それぞれが隣接していてもよく、離れていてもよい。例えば、第 1 部分及び第 2 部分が特定される部分は、第 1 及び第 2 の鳥瞰図の特徴点であってよく、ユーザが指定した路面上の構造物や影等であってよい。
- [0039] 特定部 1 3 による特定は、路面形状推定装置 1 0 のユーザにより実行されてもよく、1 対の画像の対応箇所を特定するようにプログラムされたアルゴリズムにより実行されてもよい。ユーザが第 1 部分及び第 2 部分の特定を行う場合、ユーザは、第 1 の鳥瞰図と第 2 の鳥瞰図とを比較して、第 1 の鳥瞰図及び第 2 の鳥瞰図における、車線、マンホール、及び影のような、路面上の特徴部分を指定すればよい。アルゴリズムにより第 1 部分及び第 2 部分の特定を行う場合、画像のマッチング技術を用いることができる。具体例については後述する。
- [0040] 推定部 1 4 は、特定部 1 3 が特定した複数の第 1 部分及び第 2 部分の組み合わせのそれぞれについて、第 1 部分から第 2 部分に対する画像上の移動量を算出し、当該移動量に基づいて路面の凹凸形状を推定する。詳細は後述す

るが、路面に凹凸が存在する場合に当該路面の画像を鳥瞰変換すると、画像の取得位置及び路面の凹凸形状に応じて鳥瞰図に歪みが生じる。推定部14は、当該歪みを、第1部分から第2部分への画像上の移動量を算出することで定量化し、当該移動量に基づいて路面の凹凸形状を定量的に推定する。推定部14は、後述のRAM10b又はROM10cに記憶されCPU10aにより実行されるプログラムにより実現されてよい。

[0041] 推定部14は、路面の3次元形状を推定することができるが、必ずしも3次元形状を推定する必要はない。例えば、推定部14は、路面の所定方向の断面形状を推定してもよい。推定部14は、路面の横断形状、すなわち、路面の横断方向（車両が走行する方向に対して略垂直な方向）に対する路面の断面形状を推定してもよい。推定部14は、例えば、路面のわだち掘れ、及びポットホールの少なくとも1種を推定してよい。

[0042] 路面形状推定装置10は、推定部14により推定された路面の凹凸形状を適当な形式で出力してよい。例えば、路面形状推定装置10は、後述の表示部10fに推定結果を表示してもよく、通信部10dにより別の端末に推定結果を送信してもよい。推定結果は、3次元又は2次元のグラフであってよく、数値データであってよい。

[0043] 図3は、路面形状推定装置10の物理的構成を示す図である。路面形状推定装置10は、プロセッサに相当するCPU（Central Processing Unit）10aと、記憶部に相当するRAM（Random Access Memory）10b、及びROM（Read only Memory）10cと、通信部10dと、入力部10eと、表示部10fと、を有する。これらの各構成は、バスを介して相互にデータ送受信可能に接続される。なお、本例では路面形状推定装置10が一台のコンピュータで構成される場合について説明するが、路面形状推定装置10は、複数のコンピュータが組み合わされて実現されてもよい。また、図3で示す構成は一例であり、路面形状推定装置10はこれら以外の構成を有してもよいし、これらの構成のうち一部を有さなくてもよい。

- [0044] CPU 10aは、RAM 10b又はROM 10cに記憶されたプログラムの実行に関する制御やデータの演算、加工を行う制御部である。CPU 10aは、撮影部20が取得した画像に基づいて路面の形状を推定するプログラム（路面形状推定プログラム）を実行する演算部である。CPU 10aは、入力部10eや通信部10dから種々のデータを受け取り、データの演算結果を表示部10fに表示したり、RAM 10bやROM 10cに格納したりする。
- [0045] RAM 10bは、記憶部のうちデータの書き換えが可能なものであり、例えば半導体記憶素子で構成されてよい。RAM 10bは、CPU 10aが実行する路面形状推定プログラムを記憶してよい。なお、これらは例示であって、RAM 10bには、これら以外のデータが記憶されていてもよい。
- [0046] ROM 10cは、記憶部のうちデータの読み出しが可能なものであり、例えば半導体記憶素子で構成されてよい。ROM 10cは、例えば画像編集プログラムや、書き換えが行われないデータを記憶してよい。
- [0047] 通信部10dは、路面形状推定装置10を他の機器に接続するインターフェースである。通信部10dは、インターネット等の通信ネットワークNに接続されてよい。
- [0048] 入力部10eは、ユーザからデータの入力を受け付けるものであり、例えば、キーボード及びタッチパネルを含んでよい。
- [0049] 表示部10fは、CPU 10aによる演算結果を視覚的に表示するものであり、例えば、LCD（Liquid Crystal Display）により構成されてよい。表示部10fは、推定された路面形状を示すグラフを表示してよい。
- [0050] 路面形状推定プログラムは、RAM 10bやROM 10c等のコンピュータによって読み取り可能な記憶媒体に記憶されて提供されてもよいし、通信部10dにより接続される通信ネットワークを介して提供されてもよい。路面形状推定装置10では、CPU 10aが路面形状推定プログラムを実行することにより、図2を用いて説明した取得部11、変換部12、特定部13

、及び推定部 14 の動作が実現される。なお、これらの物理的な構成は例示であって、必ずしも独立した構成でなくてもよい。例えば、路面形状推定装置 10 は、CPU 10a と RAM 10b 及び／又は ROM 10c とが一体化した LSI (Large-Scale Integration) を備えていてもよい。

[0051] (処理フロー)

<概要>

図 4 は、本実施形態の路面形状推定システム 1 における処理のフローチャートである。まず、路面形状推定システム 1 において、撮影部 20 は、第 1 の位置から路面を撮影した第 1 の画像と、第 2 の位置から路面を撮影した第 2 の画像とを取得する。撮影部 20 は、上記第 1 の画像及び第 2 の画像を、路面形状推定装置 10 に送信する (S10)。ここで、撮影部 20 は、さらに別の 1 又は複数の画像を取得し、路面形状推定装置 10 に送信してもよい。

[0052] 次に、第 1 の画像及び第 2 の画像を取得した路面形状推定装置 10 は、変換部 12 において、当該第 1 の画像及び第 2 の画像を鳥瞰図に変換する (S11)。変換部 12 は、例えば以下の式にしたがって鳥瞰変換を行う。以下の式は、路面の斜め上方から撮影部 20 が取得した画像を、路面直上に設置された仮想カメラから取得される画像に変換する式である。

[0053] [数1]

$$x' = \frac{f'}{H_{vc}} \cdot \frac{H_c x}{f \sin \theta - y \cos \theta} \quad (1)$$

$$y' = \frac{f'}{H_{vc}} \cdot \left\{ \frac{H_c (f \cos \theta + y \sin \theta)}{f \sin \theta - y \cos \theta} - D_{vc} \right\} \quad (2)$$

[0054] ここで、 x 及び y は、変換前の画像におけるピクセル位置であり、 x' 及び y' は、変換後の画像におけるピクセル位置である。また、 f 及び f' は

、それぞれ撮影部20及び仮想カメラのピクセル換算での焦点距離であり、 θ は、撮影部20と路面とのなす角であり、 H_{vc} は、仮想カメラの路面からの高さであり、 D_{vc} は、撮影部20と仮想カメラとの平行距離であり、 H_c は、撮影部20の路面からの高さである。仮想カメラにおける各種パラメータを調整することにより、鳥瞰図を校正することができる。より詳細には、S. Tanaka et al., International Journal of Vehicular Technology, Volume 20 11, Article ID 279739 (2011).を参照することができる。

[0055] 変換部12において、仮想カメラにおける各種パラメータは、路面形状推定装置10のユーザにより設定されてもよく、路面形状推定装置10の製造者により設定されてもよい。あるいは、路面形状推定装置10が、仮想カメラにおける各種パラメータを調整しながら路面形状推定の精度を高めるように設計されたアルゴリズムにより自動で設定してもよい。あるいは、路面における車線やマンホールなどの形状が既知の部分が、変換後の鳥瞰図において当該既知の形状になるように、手動又は自動で各種パラメータを調整してもよい。

[0056] 図5は、本実施形態の路面形状推定システム1において、ステップS10で取得され、ステップS11で変換された1対の画像の例を示す図である。図5(a)及び(b)は、走行する車両に設置した撮影部が取得した画像である。図5(a)は、第1の位置から路面を撮影した画像であり、図5(b)は、第1の位置から撮影方向前方に数メートル前進した第2の位置から撮影した画像である。図5(c)及び(d)は、それぞれ図5(a)及び(b)の画像を鳥瞰変換した1対の鳥瞰図である。図5(c)及び(d)において、矩形で囲んだ領域Sが第1の鳥瞰図及び第2の鳥瞰図において重複している領域であり、路面形状推定装置10は、この領域Sの路面形状を推定することができる。

[0057] 図4に戻って、ステップS11に次いで、路面形状推定装置10の特定部13は、変換部12が変換した1対の鳥瞰図を比較して、路面の複数の部分について、当該部分に対応する第1の鳥瞰図における第1部分と第2の鳥瞰

図における第2部分とを特定する（S12）。ここでは、ユーザが、車線、マンホール、及び影のような、路面上の特徴部分を指定し、特定部13が当該特徴部分の位置を特定する例を用いて説明する。

[0058] ステップS12において、特定部13は、ユーザにより指定された路面上の特徴部分に対応する第1及び第2の鳥瞰図におけるピクセルと、その画像上の位置を特定する。特定部13は、第1の鳥瞰図における指定された特徴部分の各ピクセルについて、第2の鳥瞰図における指定された特徴部分の対応するピクセルを特定する。対応するピクセルは、画像上の所定の方角に関する位置が同じピクセルであってよく、上記特徴部分の特徴点であってもよい。

[0059] 図5に示す1対の画像の例では、例えば、ユーザが、図5（c）及び（d）の領域Sに含まれる線状の構造物の影Pを対応箇所として指定してよい。ユーザが線状の構造物の影Pを対応箇所として指定した後、特定部13は、当該影に対応するピクセルと、その画像上の位置を特定する。図5（e）は、図5（c）及び（d）における線状の構造物の影Pの画像上の位置を、画像の縦方向（y方角）及び横方向（x方角）に関して示した図である。特定部13は、例えば、第1の鳥瞰図中の線状の構造物の影Pの各ピクセルについて、同じx座標の値を有する第2の鳥瞰図中の線状の構造物の影Pのピクセルを対応付けてよい。あるいは第1の鳥瞰図中の線状の構造物の影Pの各特徴点（例えば、x y座標における極大点や極小点等）に対応するピクセルについて、第2の鳥瞰図中の線状の構造物の影Pの対応する特徴点に対応するピクセルを対応付けてよい。

[0060] 図4に戻って、ステップS12に次いで、路面形状推定装置10の推定部14は、特定部13が特定した第1及び第2の鳥瞰図において対応する各部分（各第1部分及び第2部分）について、第1部分から第2部分への画像上の移動量を算出する（S13）。移動量は、例えば画像のピクセル換算での移動量である。例えば、第1の鳥瞰図における第1部分のピクセル換算の座標と、第2の鳥瞰図における第2部分のピクセル換算の座標との差を計算す

ることで、移動量を求めてよい。

[0061] 次いで、路面形状推定装置 10 の推定部 14 は、ステップ S 13 で算出した各部分の上記移動量に基づいて路面の凹凸形状を推定する (S 14)。ここで、鳥瞰図における長さ、路面の深さとの間には、図 6 に示すピンホールカメラモデルを仮定すると、下記式の関係が成立する。下記式において、 P' (P_1' 、 P_2')、及び P'' (P_1'' 、 P_2'') は、それぞれ第 2 の鳥瞰図、及び第 1 の鳥瞰図の対応する点における画像上の位置であり、 f 、及び H_{VC} は上記式 (1) 及び (2) と同義であり、 $l_{P_1P_2}$ は、路面からの深さであり、 d_1 、 d_2 、 α 、及び β は、図 6 中に定義される長さ又は角度である。

[0062] [数2]

$$\begin{aligned} l_{P_1''P_2''} - l_{P_1'P_2'} &= \frac{f}{H_{VC}}(d_2 - d_1) \\ &= \frac{f}{H_{VC}}(l_{P_1P_2} \tan \beta - l_{P_1P_2} \tan \alpha) \\ &= \frac{fl_{P_1P_2}}{H_{VC}}(\tan \beta - \tan \alpha) \end{aligned} \quad (3)$$

[0063] したがって、ステップ S 14 において、推定部 14 は、以下の式にしたがって第 1 及び第 2 の鳥瞰図において対応部分を特定した各部分の、ピクセル換算での深さ方向の相対的な座標を推定してよい。下記式中、 Δy は、ステップ S 13 で算出した移動量における、車両の進行方向に平行な成分（すなわち、第 1 の位置から第 2 の位置に向かう方向の成分）であり、その他の変数は、上記式 (3) と同義である。したがって、推定部 14 では、第 1 の画像を取得した第 1 の位置において撮影部 20 が路面を撮影する角度と、第 2 の画像を取得した第 2 の位置において撮影部 20 が路面を撮影する角度と、撮影部 20 の焦点距離と、事前に設定した仮想カメラの路面からの高さ、ステップ S 13 で算出した移動量とに基づいて、路面の深さを推定することができる。あるいは、推定部 14 は、 Δy の係数である式 (4-A) で表さ

れる値を変数としてキャリブレーションを行うことで路面の深さを推定してもよい。具体的なキャリブレーション方法の例は、＜凹凸形状の実寸の推定＞の項で後述する。

[0064] [数3]

$$\begin{aligned} l_{P_1P_2} &= \frac{H_{VC}}{f(\tan \beta - \tan \alpha)} (l_{P_1''P_2''} - l_{P_1'P_2'}) \\ &= \frac{H_{VC}}{f(\tan \beta - \tan \alpha)} \Delta y \end{aligned} \quad (4)$$

[数4]

$$\frac{H_{VC}}{f(\tan \beta - \tan \alpha)} \quad (4-A)$$

[0065] 上記式(4)に基づけば、推定部14は、特定部13が特定した各点について、ピクセル換算での深さ方向の相対的な座標、及び／又は路面の深さを推定できることがわかる。図5に示す例では、推定部14は、領域Sに含まれる線状の構造物の影Pが位置する部分の路面の凹凸形状を推定できる。特定部13が、路面の所定の範囲の複数の部分又は点について、第1の鳥瞰図中の部分又は点と第2の鳥瞰図中の部分又は点との対応を特定する場合は、当該範囲の3次元形状を推定することができる。

[0066] ＜凹凸形状の実寸の推定＞

以上の処理フローにより、本実施形態の路面形状推定システム1は、路面の凹凸形状を推定することができるが、路面形状推定システム1は、寸法が既知の凹凸形状を有する路面又は物体についての推定結果を参照データとして、推定した凹凸形状の実寸をさらに推定してもよい。すなわち、路面形状推定システム1は、寸法が既知の凹凸形状を有する路面又は物体についての推定結果を参照データとして、上記式(4-A)で表される値をキャリブレーションしてもよい。

[0067] 参照データは、例えば、寸法が既知の物体（例えば、厚さが既知の平板）を路面上に設置し、図4を参照しながら説明したような上記の推定を当該物体に適用することにより取得してよい。これにより、推定結果で得られたピ

クセル換算での長さと、実寸値での長さとを対応付けることができる。あるいは、SfMのような、既存の路面形状推定方法により得られた推定結果を参照データとしてもよい。

[0068] <特定部の処理>

上述のした処理フローのステップS12において、特定部13は、1対の画像の対応箇所を特定するようにプログラムされたアルゴリズムにより実行されてもよい。例えば、特定部13は、第1の鳥瞰図と第2の鳥瞰図とをマッチングすることにより、路面の複数の部分について、当該部分に対応する第1の鳥瞰図における第1部分と第2の鳥瞰図における第2部分とを特定してもよい。当該マッチングは、適当な画像処理に関するアルゴリズムにより実行することができる。

[0069] 当該マッチングにおいて、特定部13は、第1及び第2の鳥瞰図における特徴点をマッチングしてもよく、第1及び第2の鳥瞰図の少なくとも一部の領域に含まれる全画素をマッチングしてもよい。第1及び第2の鳥瞰図における特徴点をマッチングする方法としては、例えば、特徴点検出、特徴量記述子の計算、及び特徴点のマッチングを含む方法であってよく、機械学習を用いたend-to-endでマッチングを行う方法であってよい。

[0070] 特徴点検出、特徴量記述子の計算、及び特徴点のマッチングを含むアルゴリズムとしては、例えばSIFT (Scale-Invariant Feature Transform)、SURF (Speeded Up Robust Features)、ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF)、及びHarris featuresが挙げられる。機械学習を用いたend-to-endでマッチングを行うアルゴリズムとしては、LoFT R (Local Feature TRansformer)、GMFlow、及びmI-aspanformer等が挙げられる。

[0071] 第1及び第2の鳥瞰図の少なくとも一部の領域に含まれる全画素をマッチングする方法としては、例えば、オプティカルフローに基づくマッチングが挙げられる。オプティカルフローのアルゴリズムとしては、例えばLucas-Kanad法、Horn-Schunck法、及びFarneback

法が挙げられる。特定部 1 3 によるマッチングアルゴリズムとしては、L o F T R が好ましい。

- [0072] 特定部 1 3 におけるマッチングの前又は後に、検出される特徴点を増やしたり、マッチング精度を高めたりするための前処理又は後処理をしてもよい。当該処理としては、画像の明るさ及びコントラストの調整、画像のトリミング、及びミスマッチの除去等が挙げられる。画像のトリミングとしては、例えば第 1 の鳥瞰図及び第 2 の鳥瞰図において対応部分を特定することを所望する範囲のみトリミングすることが挙げられる。ミスマッチの除去としては、特定部 1 3 によるマッチングの後に推定部 1 4 が第 1 部分及び第 2 部分の移動量を算出したときに、当該移動量の所定の成分が閾値以上である特徴点を除去することが挙げられる。
- [0073] また、特定部 1 3 は、1 対の鳥瞰図に対して、一度にマッチングを行うのではなく、指定された所定のサイズを有する複数の領域に分割して、領域ごとにマッチングを行ってもよい。また、当該領域を、隣接する領域と互いに重複するように設定することで、各領域の境界付近の部分についても多くの特徴点をマッチングさせることができる。
- [0074] また、特定部 1 3 は、第 1 の鳥瞰図と第 2 の鳥瞰図とをマッチングすることにより特定される第 1 及び第 2 部分に加えて、その他の第 1 及び第 2 部分を特定するために、第 1 及び第 2 の鳥瞰図をそれぞれホモグラフィ変換して得られる第 1 及び第 2 の変換図をマッチングしてもよい。このように、第 1 及び第 2 の鳥瞰図をそれぞれホモグラフィ変換して得られる第 1 及び第 2 の変換図をマッチングすることで、変換前にはマッチングされなかった特徴点をマッチングすることができ、より多くの第 1 及び第 2 部分を特定することができる。そのようなホモグラフィ変換としては、例えば、拡大、縮小、移動、回転、及びスキュー等が挙げられる。
- [0075] また、特定部 1 3 において、L o F T R 等の機械学習モデルによりマッチングが実行される場合、教師データに、路面の画像及びこれに対応する不明瞭な画像の組み合わせ、並びに互いに重複する領域の全画素が対応づけられ

ている2つの画像の組み合わせの少なくとも1種含ませることで、より多くの第1及び第2部分を特定することができる。

[0076] 教師データが路面の画像及びこれに対応する不明瞭な画像の組み合わせを含むことにより、撮影部20が取得する画像にモーションブラー（ブレ）が生じている場合でも、精度高く第1及び第2部分の特定をすることができる。そのような教師データは、路面の（鮮明な）画像と、当該画像に対して意図的にぼかし（モーションブラー、非フォーカスブラー、及びガウスブラーの少なくとも1種）を追加した画像との組み合わせを用意することにより得ればよい。路面の画像及びこれに対応する不明瞭な画像の組み合わせは、路面の画像と、該路面の画像の少なくとも一部にぼかしを追加した部分を含む画像との組み合わせであってよく、路面の画像と、該路面の画像にぼかしを追加した画像の一部及び当該一部に隣接する画像の一部を含む画像との組み合わせであってよい。路面の画像にぼかしを追加した画像の一部及び当該一部に隣接する画像の一部を含む画像は、路面の画像に対して意図的にぼかしを追加した後、画像の視野領域を移動させて生成すればよい。

[0077] 教師データが互いに重複する領域の全画素が対応づけられている2つの画像の組み合わせを含むことにより、特定部13における特徴点のマッチングの精度をより高めることができる。そのような教師データは、まず重複する領域を含む1対の鳥瞰図に対して特徴点マッチングを行うことで複数の特徴点をマッチングし、これらの特徴点及びその他の画像を射影変換することで1対の鳥瞰図が重なり合うようにして、これにより重なり合った未だマッチングされていない点に対応する点としてマッチングすることにより得ればよい。かかる方法において射影変換を確実にを行うために、特徴点マッチングによりマッチングされる複数の特徴点の数は4以上であることが好ましい。

[0078] <わだち掘れ形状の推定>

本実施形態の路面形状推定システム1は、特定部13が第1及び第2部分を特定した部分に、路面の車両が走行する方向に略垂直な方向（路面の横断方向）に関して異なる位置を有する複数の部分が含まれる場合、路面のわだ

ち掘れ形状を推定することができる。

[0079] 図7は、本実施形態の路面形状推定システム1が路面のわだち掘れ形状を推定する処理のフローチャートである。ステップS10～S13は、図4にフローチャートを示す処理と同じであってよい。ただし、ステップS10において取得される画像は、路面を走行している車両30に設置された撮影部20により撮影された画像である。また、ステップS12において、特定部13は第1の鳥瞰図と第2の鳥瞰図とをマッチングすることで、1対の画像において重複する領域に、第1部分及び第2部分を多数特定することが好ましい。

[0080] 以下、路面の横断方向をx軸、路面の車両が走行する方向をy軸として説明する。

図8は、本実施形態に係る路面形状推定システムによりわだち掘れの形状を推定する際の出力の例を示すグラフである。図8(a)は、y軸方向に480ピクセルの幅を有する所定の領域に含まれる、第1部分及び第2部分が特定された複数の点について、画像上のx座標（路面の横断方向における位置）、及び第1部分から第2部分への移動量のy軸方向成分 Δy をプロットしたグラフである。

[0081] わだち掘れ形状の推定では、y軸方向の所定の範囲ではわだち掘れ形状が一定であると仮定して、図8(a)に示すように、第1又は第2の画像のy軸方向の所定の範囲に含まれる、第1部分及び第2部分が特定された複数の点を推定に用いる。ステップS20では、第1又は第2の画像のy軸方向の所定の範囲に含まれる、第1部分及び第2部分が特定された複数の点について、路面の横断方向に関して同じ位置を有する部分ごとに、ステップS13で算出した移動量の走行方向成分の平均値を算出する(S20)。図8に示す例では、図8(a)に示すx座標が同じ各点について、 Δy の平均値を算出することで、図8(b)に示すグラフが得られる。

[0082] ステップS20では離散的なデータが得られるため、次いで、離散データの連続化と、平滑化を行う(S21, S22)。平滑化は移動平均を計算す

ることを実施すればよい。図8に示す例では、連続化及び平滑化をすることにより、それぞれ図8(c)及び(d)に示すグラフが得られる。

- [0083] 路面の両端は、理想的にはわだち掘れ深さが0であるため、次いで、ステップS22で得られたグラフのベースラインを補正し、路面の両端のわだち掘れ深さが0になるようにする(S23)。ステップS22で得られたグラフの両端を結ぶ線分をわだち掘れがない路面と仮定し、グラフ上の各点と当該線分との距離を、ピクセル換算でのわだち掘れ深さと推定する。そのような補正は、以下の式を用いて実施することができる。下記式中、 d_i は、点*i*におけるわだち掘れ深さ(ピクセル換算)であり、 x_{pi} 及び y_{pi} は、点*i*の変換前のx y座標であり、 x_{pl} 及び y_{pl} は、最左端の点の変換前のx y座標であり、 x_{pr} 及び y_{pr} は、点右端の点の変換前のx y座標であり、分子及び分母における演算は、それぞれ行列の行列式及びノルムである。

- [0084] [数5]

$$d_i = \frac{\begin{vmatrix} x_{pr} - x_{pl} & y_{pr} - y_{pl} \\ x_{pi} - x_{pl} & y_{pi} - y_{pl} \end{vmatrix}}{\|x_{pr} - x_{pl} \quad y_{pr} - y_{pl}\|} \quad (5)$$

- [0085] 図8に示す例では、ベースラインの補正をすることにより、図8(e)に示すグラフが、図8(a)に示した各部分を含む領域におけるわだち掘れ形状として得られる。＜凹凸形状の実寸の推定＞で詳述したように、寸法が既知の凹凸形状を有する路面又は物体についての推定結果を参照データとして、さらにわだち掘れの実際の深さを推定してもよい。

- [0086] なお、上記の処理フローにおいて、ステップS21～S23のいずれかを省略してもよく、別の新たなステップを追加してもよい。

- [0087] ＜3次元形状の推定＞

わだち掘れ形状の推定では、車両の進行方向に対して所定の範囲に含まれる、第1部分及び第2部分が特定された複数の点を推定に用いるが、当該範囲を複数に分割して複数回の推定を行うことで、高い精度で当該領域の3次元形状を推定することができる。すなわち、3次元形状の推定において、推

定を行う領域を複数の領域に分割し、各領域について図7を参照して説明した路面の断面形状の推定を行い、推定結果を再結合することで、推定の精度を高めることができる。領域の分割方向は特に限定されず、第1の位置から第2の位置に向かう方向であってよく、当該方向に略垂直な方向であってよい。

[0088] 図9は路面形状推定システム1による3次元形状の推定を示す図である。図9(a)のように、3次元形状を推定する領域を複数の領域に分割し、各領域について図7を参照して説明した路面の断面形状の推定を行い、推定結果を再結合することで、図9(b)に示すように、路面の3次元形状を精度高く推定することができる。また、当該方法によれば、図9(c)に示すように、路面のポットホール形状を推定することもできる。

[0089] 以上説明した実施形態は、本発明の理解を容易にするためのものであり、本発明を限定して解釈するためのものではない。実施形態が備える各要素並びにその配置、材料、条件、形状及びサイズ等は、例示したものに限定されるわけではなく適宜変更することができる。また、異なる実施形態で示した構成同士を部分的に置換し又は組み合わせることが可能である。

[0090] [付記]

本発明は、以下の実施形態を含む。

[1]

第1の位置から路面を撮影した第1の画像を鳥瞰図に変換した第1の鳥瞰図と、前記第1の位置とは異なる第2の位置から前記路面を撮影した第2の画像を鳥瞰図に変換した第2の鳥瞰図とを比較して、前記路面の複数の部分について、当該部分に対応する前記第1の鳥瞰図における第1部分と前記第2の鳥瞰図における第2部分とを特定する特定部と、

前記第1部分と前記第2部分との画像上の移動量を算出し、当該移動量に基づいて前記路面の凹凸形状を推定する推定部と、

を備える、路面形状推定装置。

[2]

前記特定部が、前記第 1 の鳥瞰図と前記第 2 の鳥瞰図とをマッチングすることにより、前記第 1 及び第 2 部分を特定する、

〔1〕に記載の路面形状推定装置。

〔3〕

前記特定部が、前記第 1 及び第 2 の鳥瞰図における特徴点をマッチングするか、又は前記第 1 及び第 2 の鳥瞰図の少なくとも一部の領域に含まれる全画素をマッチングすることにより特定を行う、

〔2〕に記載の路面形状推定装置。

〔4〕

前記特定部が、前記第 1 及び第 2 の鳥瞰図において指定された所定のサイズを有する複数の領域であって、前記領域の少なくとも一部分は隣接する領域と互いに重複している複数の領域のそれぞれについて、マッチングを行う、

〔2〕又は〔3〕に記載の路面形状推定装置。

〔5〕

前記特定部が、さらに、前記第 1 及び第 2 の鳥瞰図をそれぞれホモグラフィ変換して得られる第 1 及び第 2 の変換図をマッチングすることにより、前記第 1 及び第 2 部分を特定する、

〔2〕～〔4〕のいずれか 1 つに記載の路面形状推定装置。

〔6〕

前記特定部が、教師あり学習モデルによりマッチングを行い、

前記学習モデルの教師データが、路面の画像及びこれに対応する不明瞭な画像の組み合わせ、並びに互いに重複する領域の全画素が対応づけられている 2 つの画像の組み合わせの少なくとも 1 種を含む、

〔2〕～〔5〕のいずれか 1 つに記載の路面形状推定装置。

〔7〕

路面の画像及びこれに対応する不明瞭な画像の前記組み合わせが、路面の画像と、該路面の画像の少なくとも一部にぼかしを追加した部分を含む画像

との組み合わせである、

[6] に記載の路面形状推定装置。

[8]

互いに重複する領域の全画素が対応づけられている2つの画像の前記組み合わせが、重複する領域を含む1対の画像に対して特徴点をマッチングすることにより複数の特徴点をマッチングすることと、該複数の特徴点の少なくとも一部が前記1対の画像において重なり合うように前記1対の画像の少なくとも一方を射影変換することと、少なくとも一方が射影変換された前記1対の画像の重複する領域において、前記マッチングされた複数の特徴点以外の画素について互いに重なり合う画素を対応付けるようにマッチングすることと、を含む方法により生成された2つの画像の組み合わせである、

[6] に記載の路面形状推定装置。

[9]

前記第1及び第2の画像が、前記路面を走行している車両に設置された撮影部により撮影された画像又は動画のフレームであり、

前記特定部が、少なくとも、前記車両の走行方向に略垂直な方向に関して互いに異なる位置を有する前記路面の複数の部分について、前記第1及び第2部分を特定し、

前記推定部が、前記車両の走行方向に略垂直な方向に沿った凹凸形状を推定する、

[1] ~ [8] のいずれか1つに記載の路面形状推定装置。

[10]

前記特定部が、さらに、前記車両の走行方向に略垂直な方向に関して互いに同じ位置を有する前記路面の複数の部分について、前記第1及び第2部分を特定し、

前記推定部が、前記車両の走行方向に略垂直な方向に関して互いに同じ位置を有する前記路面の複数の部分について、前記算出した移動量の前記走行方向成分の平均値をさらに算出する、

[9] に記載の路面形状推定装置。

[1 1]

前記凹凸形状が、わだち掘れ、及びポットホールの少なくとも 1 種を含む、

[1] ～ [1 0] のいずれか 1 つに記載の路面形状推定装置。

[1 2]

前記推定部が、寸法が既知の凹凸形状を有する路面又は物体についての推定結果を参照データとして、前記推定した路面の凹凸形状の寸法をさらに算出する、

[1] ～ [1 1] のいずれか 1 つに記載の路面形状推定装置。

[1 3]

第 1 の位置から路面を撮影した第 1 の画像を鳥瞰図に変換した第 1 の鳥瞰図と、前記第 1 の位置とは異なる第 2 の位置から前記路面を撮影した第 2 の画像を鳥瞰図に変換した第 2 の鳥瞰図とを比較して、前記路面の複数の部分について、当該部分に対応する前記第 1 の鳥瞰図における第 1 部分と前記第 2 の鳥瞰図における第 2 部分とを特定することと、

前記第 1 部分と前記第 2 部分との画像上の移動量を算出し、当該移動量に基づいて前記路面の凹凸形状を推定することを含む、

路面形状の推定方法。

[1 4]

車両に設置された撮影部と、

前記撮影部が第 1 の位置から路面を撮影した第 1 の画像を鳥瞰図に変換した第 1 の鳥瞰図と、前記撮影部が前記第 1 の位置とは異なる第 2 の位置から前記路面を撮影した第 2 の画像を鳥瞰図に変換した第 2 の鳥瞰図とを比較して、前記路面の複数の部分について、当該部分に対応する前記第 1 の鳥瞰図における第 1 部分と前記第 2 の鳥瞰図における第 2 部分とを特定する特定部と、

前記第 1 部分と前記第 2 部分との画像上の移動量を算出し、当該移動量に

基づいて前記路面の凹凸形状を推定する推定部と、

を備える、路面形状推定システム。

[1 5]

コンピュータを、

第 1 の位置から路面を撮影した第 1 の画像を鳥瞰図に変換した第 1 の鳥瞰図と、前記第 1 の位置とは異なる第 2 の位置から前記路面を撮影した第 2 の画像を鳥瞰図に変換した第 2 の鳥瞰図とを比較して、前記路面の複数の部分について、当該部分に対応する前記第 1 の鳥瞰図における第 1 部分と前記第 2 の鳥瞰図における第 2 部分とを特定する特定部；及び

前記第 1 部分と前記第 2 部分との画像上の移動量を算出し、当該移動量に基づいて前記路面の凹凸形状を推定する推定部

として機能させる、路面形状推定プログラム。

[1 5 - 1]

[1 5] のプログラムが記録された、コンピュータ読み取り可能な記録媒体。記録媒体は、C D - R O M、S D カード、U S B メモリ等の一時的でない有形の媒体 (non-transitory tangible media) であってよい。

符号の説明

[0091] 1 …路面形状推定システム、1 0 …路面形状推定装置、1 0 a …C P U、1 0 b …R A M、1 0 c …R O M、1 0 d …通信部、1 0 e …入力部、1 0 f …表示部、1 1 …取得部、1 2 …変換部、1 3 …特定部、1 4 …推定部、2 0 …撮影部、3 0 …車両、N …通信ネットワーク、S …領域。

請求の範囲

- [請求項1] 第1の位置から路面を撮影した第1の画像を鳥瞰図に変換した第1の鳥瞰図と、前記第1の位置とは異なる第2の位置から前記路面を撮影した第2の画像を鳥瞰図に変換した第2の鳥瞰図とを比較して、前記路面の複数の部分について、当該部分に対応する前記第1の鳥瞰図における第1部分と前記第2の鳥瞰図における第2部分とを特定する特定部と、
- 前記第1部分と前記第2部分との画像上の移動量を算出し、当該移動量に基づいて前記路面の凹凸形状を推定する推定部と、
- を備える、路面形状推定装置。
- [請求項2] 前記特定部が、前記第1の鳥瞰図と前記第2の鳥瞰図とをマッチングすることにより、前記第1及び第2部分を特定する、
- 請求項1に記載の路面形状推定装置。
- [請求項3] 前記特定部が、前記第1及び第2の鳥瞰図における特徴点をマッチングするか、又は前記第1及び第2の鳥瞰図の少なくとも一部の領域に含まれる全画素をマッチングすることにより特定を行う、
- 請求項2に記載の路面形状推定装置。
- [請求項4] 前記特定部が、前記第1及び第2の鳥瞰図において指定された所定のサイズを有する複数の領域であって、前記領域の少なくとも一部分は隣接する領域と互いに重複している複数の領域のそれぞれについて、マッチングを行う、
- 請求項2に記載の路面形状推定装置。
- [請求項5] 前記特定部が、さらに、前記第1及び第2の鳥瞰図をそれぞれホモグラフィ変換して得られる第1及び第2の変換図をマッチングすることにより、前記第1及び第2部分を特定する、
- 請求項2に記載の路面形状推定装置。
- [請求項6] 前記特定部が、教師あり学習モデルによりマッチングを行い、
- 前記学習モデルの教師データが、路面の画像及びこれに対応する不

明瞭な画像の組み合わせ、並びに互いに重複する領域の全画素が対応づけられている2つの画像の組み合わせの少なくとも1種を含む、請求項2に記載の路面形状推定装置。

[請求項7] 路面の画像及びこれに対応する不明瞭な画像の前記組み合わせが、路面の画像と、該路面の画像の少なくとも一部にぼかしを追加した部分を含む画像との組み合わせである、請求項6に記載の路面形状推定装置。

[請求項8] 互いに重複する領域の全画素が対応づけられている2つの画像の前記組み合わせが、重複する領域を含む1対の画像に対して特徴点をマッチングすることにより複数の特徴点をマッチングすることと、該複数の特徴点の少なくとも一部が前記1対の画像において重なり合うように前記1対の画像の少なくとも一方を射影変換することと、少なくとも一方が射影変換された前記1対の画像の重複する領域において、前記マッチングされた複数の特徴点以外の画素について互いに重なり合う画素を対応付けるようにマッチングすることと、を含む方法により生成された2つの画像の組み合わせである、請求項6に記載の路面形状推定装置。

[請求項9] 前記第1及び第2の画像が、前記路面を走行している車両に設置された撮影部により撮影された画像又は動画のフレームであり、前記特定部が、少なくとも、前記車両の走行方向に略垂直な方向に関して互いに異なる位置を有する前記路面の複数の部分について、前記第1及び第2部分を特定し、前記推定部が、前記車両の走行方向に略垂直な方向に沿った凹凸形状を推定する、

請求項1～8のいずれか1項に記載の路面形状推定装置。

[請求項10] 前記特定部が、さらに、前記車両の走行方向に略垂直な方向に関して互いに同じ位置を有する前記路面の複数の部分について、前記第1及び第2部分を特定し、

前記推定部が、前記車両の走行方向に略垂直な方向に関して互いに同じ位置を有する前記路面の複数の部分について、前記算出した移動量の前記走行方向成分の平均値をさらに算出する、

請求項 9 に記載の路面形状推定装置。

[請求項11] 前記凹凸形状が、わだち掘れ、及びポットホールの少なくとも 1 種を含む、

請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 項に記載の路面形状推定装置。

[請求項12] 前記推定部が、寸法が既知の凹凸形状を有する路面又は物体についての推定結果を参照データとして、前記推定した路面の凹凸形状の寸法をさらに算出する、

請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 項に記載の路面形状推定装置。

[請求項13] 第 1 の位置から路面を撮影した第 1 の画像を鳥瞰図に変換した第 1 の鳥瞰図と、前記第 1 の位置とは異なる第 2 の位置から前記路面を撮影した第 2 の画像を鳥瞰図に変換した第 2 の鳥瞰図とを比較して、前記路面の複数の部分について、当該部分に対応する前記第 1 の鳥瞰図における第 1 部分と前記第 2 の鳥瞰図における第 2 部分とを特定することと、

前記第 1 部分と前記第 2 部分との画像上の移動量を算出し、当該移動量に基づいて前記路面の凹凸形状を推定することを含む、

路面形状の推定方法。

[請求項14] 車両に設置された撮影部と、

前記撮影部が第 1 の位置から路面を撮影した第 1 の画像を鳥瞰図に変換した第 1 の鳥瞰図と、前記撮影部が前記第 1 の位置とは異なる第 2 の位置から前記路面を撮影した第 2 の画像を鳥瞰図に変換した第 2 の鳥瞰図とを比較して、前記路面の複数の部分について、当該部分に対応する前記第 1 の鳥瞰図における第 1 部分と前記第 2 の鳥瞰図における第 2 部分とを特定する特定部と、

前記第 1 部分と前記第 2 部分との画像上の移動量を算出し、当該移

動量に基づいて前記路面の凹凸形状を推定する推定部と、
を備える、路面形状推定システム。

[請求項15]

コンピュータを、

第1の位置から路面を撮影した第1の画像を鳥瞰図に変換した第1の鳥瞰図と、前記第1の位置とは異なる第2の位置から前記路面を撮影した第2の画像を鳥瞰図に変換した第2の鳥瞰図とを比較して、前記路面の複数の部分について、当該部分に対応する前記第1の鳥瞰図における第1部分と前記第2の鳥瞰図における第2部分とを特定する特定部；及び

前記第1部分と前記第2部分との画像上の移動量を算出し、当該移動量に基づいて前記路面の凹凸形状を推定する推定部

として機能させる、路面形状推定プログラム。