

令和元年6月12日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00224

研究課題名(和文)空間平面の順次推定を利用した単視点画像による3次元復元と知的カメラへの応用

研究課題名(英文)3D reconstruction from single view image using sequential plane estimation and its application to intelligent camera realization

研究代表者

木村 彰男 (Kimura, Akio)

岩手大学・理工学部・准教授

研究者番号：00281949

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：画像に写された地面や床などのある空間平面を基準として、その平面に隣接している平面を、視点変更や射影行列の再計算を伴うことなく逐次的に推定していく手法を開発した。これに伴い、基準平面に対して斜めに交わる形で隣接した平面を推定する際の新たな2つの幾何的手掛かりを見出した。これらによって、空間中では異なる平面上に存在している点間の距離や2直線の成す角度といった3次元量が、僅か1枚の単視点画像のみから復元できるようになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した隣接平面の順次推定法には、適用に関する若干の制約条件があるものの、これをクリアできた場合には非常に多くの3次元量を僅か1枚の単視点画像から復元・推定することができる。理論的には、撮り直しが不可能な画像(監視カメラ映像の1コマとか)や過去の資料にも適用可能であり、その波及効果は大きいものとする。また、通常の3次元復元のように大量の異視点画像を準備する必要もないため、利用者はより手軽な形で技術を試すことができる。

研究成果の概要(英文)：This research developed a sequential estimation method of neighbor plane to the reference plane such as the ground or floor in the single image without changing view point and re-calculating projection matrix. Also the research newly found out two geometrical clues needed to estimate a plane intersected to the reference plane obliquely. With this, various kind of 3D information such as a distance between two points that belong to each different plane or an intersection angle formed by two space lines can be estimated from only a single view image.

研究分野：コンピュータビジョン

キーワード：コンピュータビジョン 平面推定 射影幾何学 3次元復元 知的カメラ

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

2次元の画像から自動的に3次元情報を推定・復元する3Dフォトグラフィーは急速な進化を遂げてきており、レーザーレンジセンサー等の非常に高価な3D計測機器と同等の性能を、安価な大衆向けカメラから得ることが可能となりつつある。この技術の基盤となるのは、異なった視点から撮影された多数の画像（複視点画像）を利用して、そこに写っている多数の特徴点の対応付けを行い、その結果からカメラレンズの歪みやカメラの向きを推定して、最終的には三角測量の原理に基づいて画像中に写されている特徴点の3次元座標を推定・復元する、という「多眼ステレオ」である。しかしこの多眼ステレオでは、精度の高い3次元情報を復元するために、ある程度解像度の高い、かつ大量の画像を入力することが要求され、多大な労力と手間がかかっていた。したがって実際は、撮影者が1台のカメラを持って移動しながら被写体の動画を撮り、その動画像から多くの画像を準備することも多かったが、このような画像群に対して多眼ステレオを適用すると、ブレや歪みの多さが影響して各画像間の特徴点対応を正確に定めることが困難になる、という別の問題が発生してしまう。これを解決するための研究も広く行われていたが、当時は、利用者が“手軽に”3次元復元技術を体感・利用できる状況とは言い難かった。

### 2. 研究の目的

このような背景を踏まえ、本研究では、そもそも複数の画像を扱わず、1枚のみの画像（単視点画像）から3次元情報を推定する問題に着目した。このような場合、多眼ステレオで用いられる三角測量の原理を使うことはできないが、複数の画像間で対応点を定める必要はなくなる。その代わりに、例えば、画像上の複数の点が実空間上では同一平面に載っている、画像中の複数の直線が実空間上では互いに平行（または直交）であるといった、画像に写された何らかの幾何的手掛かりに頼らなければならない。申請当時、研究代表者は単視点画像に写されたある一つの空間平面さえ推定できれば、これを基準平面として、それに隣接する平面を（シーン中の手掛かりから）順次、推定するための技法に関する理論検討を既に開始していたため、本研究では、この技術の妥当性・有効性を立証した上でさらに発展させ、より手軽で、より高機能な知的カメラを実現させるという目標を掲げた。

### 3. 研究の方法

本研究の目的を遂行するため、研究開始当初はおおよそ次のような計画を立てて研究を進めた。

#### (1) 単視点画像に写っている基準平面を自動的に推定する手法を開発する。

まずは3次元復元のための基準となる空間平面（基準平面）を、単視点画像から自動的に推定する手法を開発する。先行研究では、逆数座標と Hough 変換を利用して画像から消失点を検出し、これらに向かう空間平面を基準平面として定める方法を検討していたが、本研究では別の新たな方法として、基準としたい実空間の平面上に円が存在していることを手掛かりとした平面推定法を検討する。我々の身の周りには円形物体が多数存在しているが、これを画像に写すと通常は楕円となる。そこで、円の像として写る楕円を（単視点画像から）抽出して、その楕円を円に戻すような平面変換を推定することで（空間中の）基準平面の方向を決めることを考える。例えば、もし道路を基準にしたい場合なら、その道路にマンホールの蓋（円形物体）が写っていれば、画像から（蓋としての）楕円を検出して、さらにその楕円を円に戻すような変換を推定することで道路の（実3次元空間での）方向が分かるはずである。本研究では、これを実現する手順を確立させる。

#### (2) 基準平面に隣接する平面を、シーン中の手掛かりを頼りに順次、推定する手法を開発する。

続いて、画像中に写されている基準平面に隣接した空間平面を、シーン中の手掛かりを頼りに順次、推定する手法を開発する。具体的には、基準平面に対してある交線を介して交わる平面を、その交線像といくつかの手掛かりから推定する手法を開発する。先行研究によって既に、(i) 推定したい平面上に長さが予め分かっている線分が存在し、画像にその像がある、(ii) 推定したい平面上に交差角が既知の2つの直線が存在し、画像にそれらの像が両方とも写っている、といった場合なら、空間平面パラメータが推定できることを見出していたが、本研究ではまず、新たに推定した空間平面を再度、基準平面として設定し直して、それに隣接している平面を同様の手掛かりから順次、推定可能となるような手法の汎化を実現する。また、利用可能な別の手掛かりを模索し、最終的には、状況に応じて複数の手掛かりを使い分けられるような、手法の適用範囲拡大を図る。

#### (3) 平面上の被写体の寸法や構造を推定した際の精度検証を実施する。

得られた平面パラメータ群、およびその隣接関係から、任意平面上にある対象物の寸法、所属平面が異なる任意の空間点間の距離、任意平面上に置かれた円錐台状の物体体積など、さまざまな3次元量が計算できるので、例えば階段や建物といった箱型形状の物体であれば、その大まかな構造を（単視点画像のみから）把握することが可能となる。本研究では、これらの3次元復元性能について評価実験を通じた精度検証を実施する。また、可能であれば3Dスキャナや3Dプリンタを活用して人工的に評価サンプルを生成して復元精度を細かく検証する、建

築物から微細な人工物まで大小さまざまな物体を対象として実験して既存デバイス（レーザー測量器や Kinect 等）との優劣について検証するなど、より多角的な評価実験を実施する。

#### 4. 研究成果

まずは、前節で示した(1)~(3)の研究計画にしたがって各々の成果を述べる。

(1) 画像から欠損楕円を検出する手法を開発し、単視点画像に写った平面を半自動的に推定する手法を確立させた。

本研究では、画像からより高精度に欠損楕円を検出するための方法として、はじめに各画素位置での接線方向を推定し、次にそれらの接線方向を利用して欠損楕円のパラメータを定める手順を新たに考案した（発表論文④に相当）。さらに、この手法が従来の楕円検出法よりも高い能力を有することを評価実験によって立証した。これを利用すると、例えば下図 1(a)のように床に円形物体が写っている場合、その輪郭線画像（同図(b)）から本手法によって同図(c)のように楕円を抽出することができ、その中の一番大きな楕円を円に戻すような平面変換を推定すると、床の（元の 3 次元空間での）法線方向が分かる。同図(d)は、定めた法線方向にカメラ視点を置く形に元画像を変形したものであるが、このような形で単視点画像から基準平面を推定できるようになった。もちろん、この方法は基準平面に円が存在することが利用可能な条件となるが、従来の 4 点对応（平面ホモグラフィ推定）法が使えない場合などの代替法として十分に機能するものである。

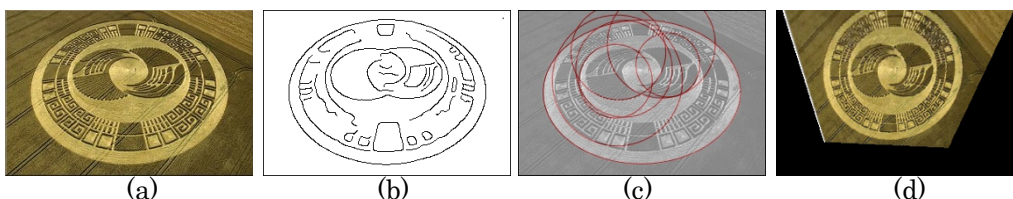


図 1. 楕円検出と基準平面の推定

(2) 基準平面に隣接する平面を逐次的に（順番に）推定するための手法の汎化と、傾斜隣接平面を推定するために用いるシーン中の新たな手掛かりを見出した。

例えば下図 2(a)は、ある建物の玄関付近のステップと障害者用スロープを少しマクロ気味に撮影した画像であるが、空間平面①を基準平面として定めた場合、平面②は空間的に平面①と（同図(b)の黄色で示した交線を介して）垂直に隣接しているという事前知識があれば、そのパラメータを推定することが従来から可能であった。しかしながら、残りの平面③、④、⑤は、平面①には隣接していないので、基準平面を①に固定したままでは推定が困難である、という問題があった。そこで本研究では、まず、新たに推定した空間平面②を基準平面に再設定し直し、同図(b)の青線で示された交線で平面③が②に垂直に隣接している、という同様の手掛かりから、順次、隣接平面を推定できるような形に手法の汎化を行った（発表論文⑥で公表）。これにより、平面③を基準に設定し直せば平面④が推定でき、さらに平面④を基準にすれば平面⑤が推定できる。このような空間平面の順次推定を、本研究で初めて視点の移動や射影行列の再計算を伴わない簡潔な形に定式化したので、手法の適用範囲も飛躍的に広がった。

さらに本研究では、平面④のような（平面③に対して）斜めに隣接している平面の推定に用いる新たな手掛かりとして、(iii) 推定したい平面上に円形物体があり、その円、及び円の中心点が両方とも画像に写っている、(iv) 推定したい平面またはその平行面上に、二つの円形物体が写っている、という 2 つを見出した。図 2 の場合、スロープにコーヒー缶（円柱）が置かれているので、その上下面を(1)で述べた楕円検出法によって（同図(b)赤線で示したように）抽出すれば、(iv)の条件によって平面④を求めることができるようになった（発表論文⑥）。ただし、実際には 4 次方程式を解く必要があるため、場合によってはやや推定誤差がやや大きくなることもある。

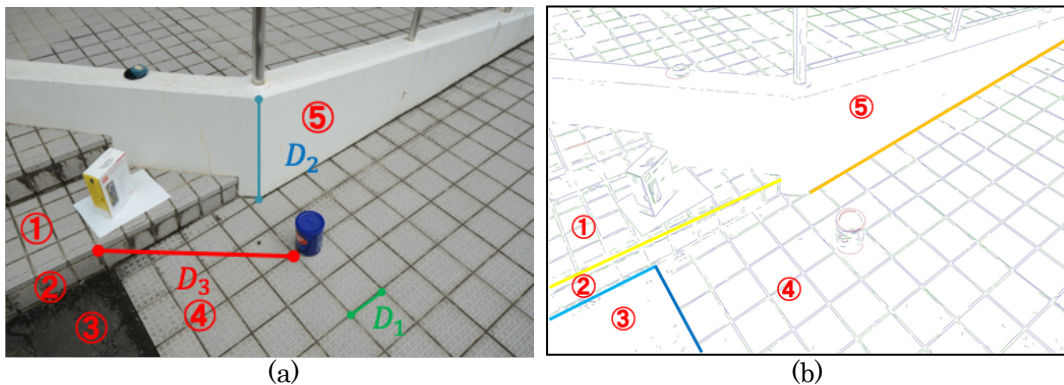


図 2. 空間平面の順次推定と 3 次元情報復元

(3) 評価実験を通じて、本研究の手法が概ね相対誤差 5%程度で種々の 3次元情報を復元できることを確認した。

例えば図 2(a)中に示した  $D_3$  は、両端点がそれぞれ異なる平面に存在する線であり、その空間における距離を単視点画像のみで測ることは（従来は）困難であった。本研究の手法では、一度定めた基準平面と射影行列を変更することなくこの  $D_3$  も推定することができる。実際、本来の距離 70[cm]に対して画像から推定した値が 71.3[cm]であり、相対誤差は 1.8%とかなり小さかった。もちろん、 $D_1$  や  $D_2$  も同様に推定できる（それぞれ推定相対誤差は 1.4%と 2.2%）が、特に  $D_2$  は平面⑤上の線なので、本研究のような順次推定ができて初めて算出可能となる距離である。その他、さまざまな画像で同様の評価実験を実施したところ、全体としてはおおよそ相対誤差 5%程度で 3次元情報を復元できることを確認した。僅か 1 枚の単視点画像からでもこのような情報を復元可能という意味で、本手法の波及効果はそれなりに高いものと評価している。

なお、助成期間中に 3D プリンタを導入して、寸法や形状を固定した評価用モデルを生成してから画像を撮影し、その画像からの 3次元復元性能を評価する実験なども試みたが、そもそも評価用モデルの製造精度にバラつきがあって寸法誤差が大きく、性能検証のために詳細データを取ることは向いていないと判断した。こちらについては、実験条件を厳しくコントロールする、評価方法をそもそも考え直すなどの根本的な対応が必要と考えられたため、今後の研究課題としたい。

さらに、本研究を遂行する段階で以下のような成果も得られている。

(4) 携帯情報端末に搭載された加速度センサーとジャイロセンサーからの情報と、視点の異なる 2 枚の画像だけでカメラキャリブレーションを実現する手法を確立させた。

知的カメラ実現に向けた実用化の観点から、実際に使用するカメラのキャリブレーションをどう実現するかは重要な課題であった。通常は、そのカメラを利用する前に、別途、数十枚のチェッカーパターン画像を用いてキャリブレーションを済ませておく、といったことが行われていたが、これは決して「手軽」とは言い難かった。そこで本研究では、スマートフォンやタブレット PC に代表される携帯情報端末に搭載されている“加速度センサー”と“ジャイロセンサー”から得られるカメラの姿勢情報と、視点の異なる 2 枚の画像だけで簡易的にキャリブレーションを実現する手法を確立させた（学会発表②）。この手法では、センサーからの生データにリアルタイムでカルマンフィルタを適用し、ノイズやドリフトを抑制した情報を得た上で処理を進めるという工夫が施されており、画像を 2 枚しか使わない簡易的な方法の割にはそれなりの精度でキャリブレーションを実現することができる。より詳細な性能検証はこれからの課題であるが、本手法により、利用者はカメラを持って適当に異なる位置から 2 枚の画像を撮影するだけでキャリブレーションを済ませられるので、より手軽に 3次元復元を試すことができるようになったといえる。

なお、研究最終年度には、すべての成果をとりまとめた形のアプリ開発にも着手し、「対象物を 2 視点で撮影」→「カメラキャリブレーション」→「基準平面推定」→「各種 3次元情報の推定」までの一連の動作をシステムに落とし込む作業も進めた。しかし、残念ながら完成までには至らなかった。現時点ではカメラキャリブレーション後の基準平面推定部の UI を設計・検討している段階であり、未完成部分については今後の開発課題としたい。

研究全体を通しては、3次元情報復元のための各種アルゴリズムの確立、評価実験を通じた性能検証と妥当性の立証までは着実に実施することができており、知的カメラ実現のための基盤技術を固めるといった視点からは、満足できる成果が得られたと評価している。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 6 件）

- ① Naoki DEGAWA, Xin LU and Akio KIMURA, A performance improvement of Mask R-CNN using region proposal expansion, Proc. of SPIE 11049, International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT) 2019, 1104929, 査読有, 2019, pp.1-4  
DOI: 10.1117/12.2521383
- ② Suleiman MUSTAFA and Akio KIMURA, A SVM-based diagnosis of melanoma using only useful image features, International Workshop on Advanced Image Technology 2018, 査読有, 2018, pp.1-4  
DOI: 10.1109/IWAIT.2018.8369646
- ③ Kouta YAMADA and Akio KIMURA, A performance evaluation of keypoints detection methods SIFT and AKAZE for 3D reconstruction, International Workshop on Advanced Image Technology 2018, 査読有, 2018, pp.1-4  
DOI: 10.1109/IWAIT.2018.8369647
- ④ Toshihiro IWABUCHI and Akio KIMURA, An improved method for extracting tangent information from a binary edge image, International Workshop on Advanced Image Technology 2017, 査読有, 2017, 4 pages

- ⑤ Daiki SHIROSAWA, Lu XIN, and Akio KIMURA, A performance evaluation of variation-HOG descriptor for human face detection, International Workshop on Advanced Image Technology 2017, 査読有, 2017, 4 pages
- ⑥ Akio KIMURA, Usuke UCHISAWA, Ryo NARITA, 3D measurements from a single uncalibrated image based on estimating space planes using geometrical clues in real scenes, The Journal of the Society for Art and Science, 査読有, Vol.15, No.1, 2016, pp.20-31  
<https://www.art-science.org/journal/v15n1/v15n1pp20/artsci-v15n1pp20.pdf>

[学会発表] (計3件)

- ① Naoki DEGAWA, Xin LU and Akio KIMURA, A performance improvement of Mask R-CNN using region proposal expansion, 平成 30 年度芸術科学会東北支部大会, 2019.1.26, いわて県民情報交流センター (岩手県)
- ② 長嶺一志, 木村彰男, センサー情報を利用した携帯情報端末の姿勢推定とカメラキャリブレーションへの応用に関する一考察, 平成 30 年度第 3 回情報処理学会東北支部研究会, 2018.12.15, 岩手大学 (岩手県)
- ③ 汪晋, 盧忻, 木村彰男, 画像認識のための局所特徴量 POG の提案, 平成 30 年度第 3 回情報処理学会東北支部研究会, 2018.12.15, 岩手大学 (岩手県)

[その他]

学術交流会

- ① Akio KIMURA, Brief introduction on our researches, チェンマイ大学との研究交流会, 2018.1.10, チェンマイ大学 (タイ)
- ② Akio KIMURA, 3D reconstruction using single-/multi-view image(s), 岩手大学, 西北農林大学, モンゴル国立大学の 3 大学間学術研究シンポジウム, 2017.9.5, 西北農林大学 (中国)

招待講演

- ① 木村彰男, 人工知能と画像認識のはなし, 盛岡市科学談話会, 2018.7.19, 盛岡市立図書館 (岩手県)

ホームページ等

<http://www.mips.cis.iwate-u.ac.jp/>