

# GPS を利用しない自己位置検知技術の開発

## Development of Self-location Detection Technology without GPS

山根 知之

Tomoyuki Yamane

電子・有機素材研究所 電子システム担当

屋外における車両や飛行物等、移動体の自律航法において、事前に空撮した画像により周辺の建造物や、障害物の位置を把握したうえで、この画像に対する自己の相対位置（現在位置）を検知することで、位置が既知の障害物の接触による障害物に対する損壊や、移動体の損傷を防止する技術の検討を行った。相対位置検出には 360 度カメラ 2 台によるステレオマッチング技術を用いるとともに、屋外における特徴量として建造物、塀、フェンス等の縦方向のエッジ検出を組み合わせることで、自己位置と事前の障害物位置情報との相対位置取得の可能性を確認できた。

### 1. はじめに

近年の人手不足や労働環境の変化から、農業用車両や除雪車両等の運行、インフラの保守メンテでのドローン等の飛行において、自動運転・自律航法およびこれらに必要なとされる障害物検知技術等に関する研究開発が進み、実用化されつつある。一方で、異常気象による冬季の積雪量増加により、個人所有や自治体が貸し出す小型除雪機の稼働機会が増える中、縁石などへの衝突による損壊や、怪我・死亡事故等の人的被害が発生するなど、従来必要とされなかった個人所有や小型の車両においても自動運転や障害物検知の必要性が高まっている。

車両等の移動体と障害物の位置を把握するには、移動体の位置と障害物との相対位置関係を検知するため、自己位置推定を数十 cm 以内程度の誤差で行う必要がある。自己位置推定手法として、事前に撮影した映像および位置情報データベースと、リアルタイムに取得した画像をテンプレートマッチングにより比較する手法<sup>1)</sup>や、複数台カメラを用いたステレオカメラによる 3 次元計測を利用する手法<sup>2)</sup>が提案されているが、事前に撮影した時点に対して、利用時の環境変化が大きな場合、例えば撮影前後で積

雪があった場合等は、対象となる障害物が雪で覆われており、検知が困難である。また、屋外であれば Global Positioning System or Satellite (GPS)の利用が可能であるが、cm 級の精度を求める場合は地上基準局による高精度測位技術である Real Time Kinematic(RTK)や、みちびきの補強信号の利用が必要であり、これには初期化時間やコスト面（専用装置やアンテナ、基準点の準備）、信号の安定面で課題がある<sup>3)</sup>。

これら手法に対し、本手法では屋外における周辺環境の縦方向の直線（建造物、塀、フェンス等）に着目し、特徴量とするとともに、360 度カメラを用いることで特徴量を効率よく取得でき、自己位置推定することが可能なシステムについて検討を行った。縦方向の直線を用いる利点として、降雪時でも雪で覆われにくいことや、屋内の場合はコーナーや柱など高い位置から情報を取得できるため、人や遮蔽物の影響を受けにくい等が挙げられる。

本報告では、駐車場・道路等を事前に撮影して周囲の環境（建造物、塀、フェンス等）と障害物位置情報を取得し、移動体に取り付けた 360 度カメラの画像から得られる特徴点と、事前に取得した周囲の

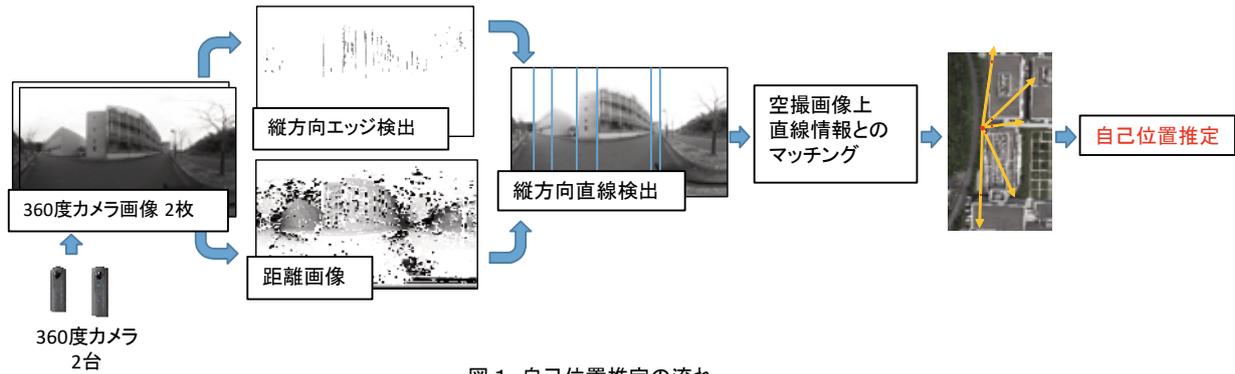


図1 自己位置推定の流れ

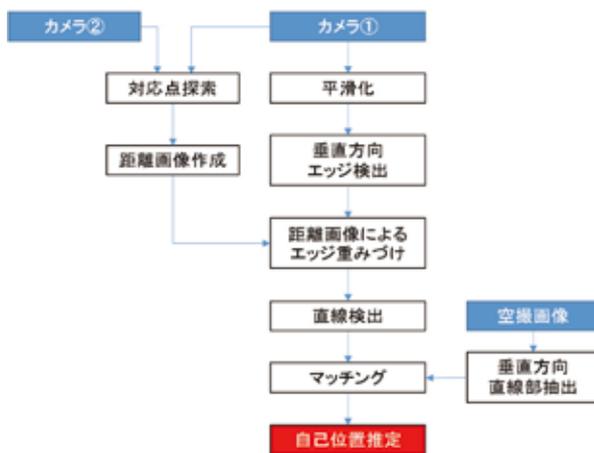


図2 位置姿勢推定システムのアルゴリズム

環境データとのマッチングを行い、移動体の現在位置を取得し、現在位置と事前の障害物位置情報との相対位置を算出する手法について述べる。

## 2. 実験方法

### 2.1 概要

本手法の流れを図1に、アルゴリズムを図2に示す。

360度カメラから得られる縦の直線を特徴量とし、周辺環境における既知の建造物に存在する垂直方向の直線情報に対して探索を行い、マッチング尤度の高い場所を、自己位置として検知する手法である。本手法での直線検出は全天球カメラ画像におけるハフ変換<sup>4)</sup>を用いるが、エッジ検出のみでは検出精度に課題があるため、距離画像を用いた補正により検出精度を向上させる手法を用いた。

なお、本手法での位置姿勢推定の精度目標は、50m 遠方の特徴量に対して誤差が生じた場合に想定され

る最大誤差量である 50cm とした。また、本手法における姿勢とは、地上に対する水平方向の向きを表す。

### 2.2 ステレオマッチングによる距離測定

ステレオマッチングでは、画像上の特定箇所におけるカメラからの距離を求める際、異なる視点から取得した2つの画像間の対応点を求める必要がある。これには、局所特徴量を利用して2つの画像上で対応点を得る方法や、エピポラ拘束を利用して対応点を探索する方法が知られている。当初は前者手法であるAKAZEアルゴリズム<sup>5)</sup>による特徴点抽出を検討した。2台並べたカメラ間の局所特徴量を抽出する手法であるが、局所特徴量を利用するにあたり、

- ・エッジと特徴点がピンポイントで一致する必要がある
- ・カメラ間の特徴点が大きくずれる可能性がある

など復元される点群が少ないゆえに、検出されたエッジが、撮影場所からどれ程離れているかという指標として用いるには問題があった。

そこで本手法ではエピポラ拘束を利用して、多くの点群を復元する手法を用いた。360度カメラにおいても、通常のステレオカメラと同様にある条件下において、エピポラ拘束を利用可能であることが知られている<sup>6)</sup>。特にカメラを垂直方向(Z軸線上)に配置し、高さの異なる位置で撮影された画像を正距円筒図法で変換した場合は、各画像の垂直線上でエピポラ拘束を成立させることが可能である。本手法ではこれを利用することで通常のステレオカメラと同様に対応点探索が可能となった。



図3 360度カメラ撮影場所(空撮画像)



図4 距離画像と垂直方向エッジの合成画像

### 2.3 距離画像を用いた直線検出精度の向上

本手法においては、周辺環境の縦方向の直線検出の精度が重要となるが、エッジ検出手法のみでの適用ではハフ変換による直線検出精度に課題がある。具体的には、カメラ画像から垂直方向のエッジ検出を行って得られた画像では、カメラから距離が遠いエッジほど画素数が少なくなるため、遠距離ほど直線が検出されない。

この課題を改善するため、前項の距離測定手法により得られたカメラからの距離に比例し、検出されたエッジに対して距離に応じた重みづけを行うことでこれを補正し、遠距離においても垂直方向の直線が検出可能とする手法を用いた。

## 3. 実験

### 3.1 実験設定

360度カメラは、RICOH社製のTHETA Vを使用した。実験は屋外で行い、図3の空撮画像で示す実験棟1および2に挟まれた屋外通路で、360度カメラ2台を縦方向に並べた状態で行った。カメラ間距離は50cmとした。

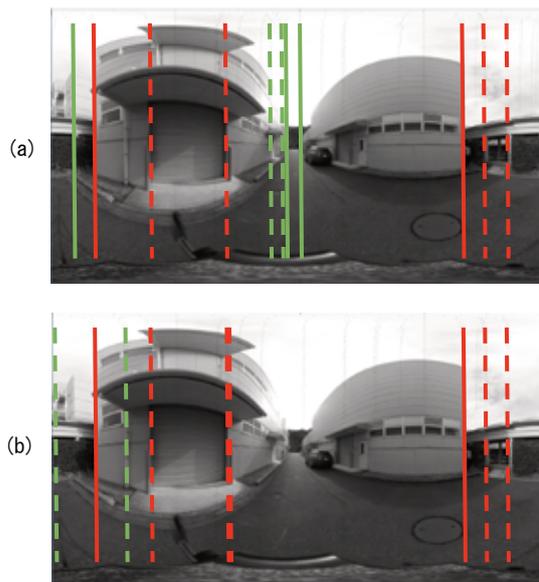


図5 距離画像利用有無による直線検出結果の比較

ドローンはDJI PHANTOM 3を使用した。カメラは無限遠での撮影ではなく、天井と地上間でずれが生じるため、建造物の外形として地上との接点を利用した。

### 3.2 距離画像を用いた直線検出

上記環境において、カメラ2台の撮影画像から得られた距離画像と、垂直方向エッジ検出画像を合成した結果を図4に示す。エッジ検出については、近い側の実験棟の角が、長い直線として検出されており、逆に遠方では短い直線でしか検出されていないのが分かる。距離画像については、明るいほど距離が遠いことを示しており、実験棟2がより明るく表示されていることから、実験棟1に近い側で撮影したことがわかる。また実験棟1と2の間が明るくなっており、奥に行くほど遠くなっていることも画像から読み取れる。なお本実験において距離画像は直線検出精度向上を補正する目的で使用しており、高精度である必要がなく、距離精度については検証していない。

エッジ検出に距離画像による重みづけを行い、直線を検出したと結果を図5(a)に、エッジ検出のみで距離情報を用いない場合の結果を図5(b)に示す。なお、実線は実験棟角のエッジを正しく抽出したもので、破線は誤検出したものである。

(a)で緑色で示す直線は(a)と(b)の検出結果の差分

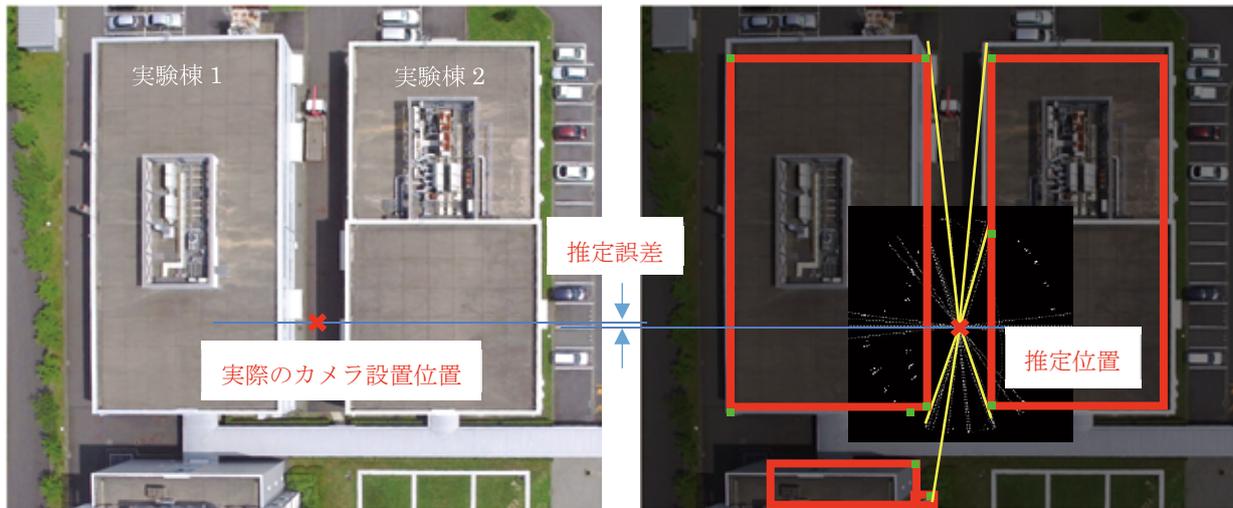


図6 直線検出結果から空撮画像中で推測されたカメラ位置と誤差

である。(a)では実験棟 1,2 ともに、エッジが短くなる遠方の角を直線として新たに検出できており、距離画像を用いることで検出能力が改善することが確認できた。ただし、距離画像を用いたことにより実験棟 1 の扉を新たに誤検出しており、過検出が生じている。

### 3.3 空撮画像からの自己位置推定

空撮画像中における実際のカメラ位置を図 6 の左側にバツ印で示す。また自己位置姿勢推定のため、実験棟付近の建造物の外形をかたどった図形および、360 度カメラを中心とした直線検出画像を並べたものを図 6 右側に示す。図 6 右側において赤いバツ印で示された場所がカメラ位置推定の結果である。

図からカメラを中心として、真上方向から見た場合の直線検出された方向が黄色線である。それぞれの線が、実験棟の角と一致していることがわかり、直線検出結果からカメラ位置および姿勢を推定できていることがわかる。

## 4. 結果と考察

図 6 の結果をもとに、自己位置および姿勢推定の誤差を検証した。なお、カメラ位置については直線検出結果から、その尤度により自動で推定されるべきだが、開発できていないため手動による位置推定を行った。

位置推定の誤差は、実際のカメラ位置と推定され

たカメラ位置から引いた青線の誤差に相当する 70cm、姿勢の誤差は 0.5 度であった。姿勢については、カメラが東西南北のどの方向を向いているかを推定するもので、今回目標としている障害物への接近検知に関しては影響はない。位置推定の誤差要因として、処理速度を上げるために解像度を 1/4 まで下げたために、カメラ画像の遠方での誤差量が大きくなったことが考えられる。また、空撮画像の歪や建造物の外形抽出の精度なども影響していると考えられる。

位置推定精度改善方法として、高解像度画像が扱えるよう処理速度向上が有効であり、GPU や FPGA などのハードウェアを用いた処理の並列化により達成可能である。空撮画像においては、対象物の位置精度向上のため、事前にキャリブレーションを行うことが有効と考えられる。今回の検証では目標とする位置推定誤差 50cm は達成できていないが、特徴点となるエッジが少なく、またその一部が遠方であったことや、画像解像度が低いなど、条件が最適ではない場合においても 1m 以下の精度で検出が可能であり、本手法の有効性が確認できた。

## 5. おわりに

本報告では、360 度カメラから得られる特徴点を用い、空撮画像中での自己位置推定を行う手法について評価を行った。ステレオカメラによる距離画像

を用いた特徴点抽出を行うことで、直線情報の検出精度が向上し、自己位置推定において有効であることが分かった。静止面だけでなく、カメラの移動による複数画像から得られる特徴点を利用した精度向上が今後の課題である。

今回は屋外での利用を想定したが、今後はロボットへの応用を想定し、工場内での搬送ロボットやミズスマシロボットの移動などへの応用を行う予定である。

## 文 献

- 1) 杉浦藤虎, 佐藤竜平, 関雅人, 室谷英彰, 安藤浩哉, 塚本武彦; 自律移動型ロボットの自己位置推定に関する研究, 豊田工業高等専門学校研究紀要 第 44 号, p.23- 32(2011).
- 2) J. Engel, J. Stucker and D. Cremers; Large-Scale-Direct SLAM with Stereo Cameras, Proceeding of the 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2015), p. 1935-1942( 2015).
- 3) GPS の仕組み(原理・誤差原因、入門編、「みちびき」精度), トレッキングでのハンディーGPSについて, [http://www.ne.jp/asahi/nature/kuro/HGPS/principle\\_gps.htm](http://www.ne.jp/asahi/nature/kuro/HGPS/principle_gps.htm), (参照 2019-06-20).
- 4) 佐藤 翼, 池 勇勳, 藤井 浩光, 山下 淳, 浅間 一; 人工物環境における全天球カメラの位置姿勢推定のための直線特徴に基づく 3D-2D マッチング, 精密工学会誌, 83 巻, 12 号, p. 1209-1215 (2017).
- 5) P. F. Alcantarilla, J. Nuevo and A. Bartoli; FastExplicit Diffusion for Accelerated Features in Non-linear Scale Spaces, Proceeding of the British Machine Vision Conference (BMVC2013), p. 1-11(2013).
- 6) 野田 純平, Sarthak Pathak, 藤井 浩光, 山下 淳, 浅間 一; 計測点の信頼度を考慮した全天球ステレオカメラの運動推定, 精密工学会誌, 85 巻, 6 号, p. 568-576 (2019).