

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：34412

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330213

研究課題名(和文) 模型ヘリコプターからの計画的撮影による死角のない高解像度3次元画像生成

研究課題名(英文) Acquisition of a 3D Map Reduced Blind Spots in Multi View Stereo by Re-planning Autonomous Flight of a Drone

研究代表者

越後 富夫 (Echigo, Tomio)

大阪電気通信大学・情報通信工学部・教授

研究者番号：80434801

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：災害現場の早急な情報獲得にドローンの活用が有望視されている。しかし、ドローンで撮影した映像には障害物等でカメラから死角になる領域があり、要救助者を見逃す可能性があるため、死角のない位置への再飛行が必要となる。本研究では、ドローンの撮影映像から3次元復元を行い、復元結果から撮影映像が不足している領域を観測不十分領域として推定する。次に、観測不十分領域が最も多く観測できる位置・方向を求め、ドローンの現在位置から探索結果の位置までの最短経路を探索する。最後に、その経路に沿った自律飛行を実現し、情報欠落による見落としを補完する。

研究成果の概要(英文)：This paper describes a method to acquire a 3D map reduced blind spots in multi view stereo from a drone. It is convinced that a drone becomes a significant tool for emergency investigation of disaster conditions. However, blind spots are happened in a image sequence captured from a flight along a prior planning route, because unexpected obstacles hide some regions from a drone, where a rescuer may exist.

The proposed approach employs a multi view stereo for 3D reconstruction. The moving spaces of a drone are discriminated as vacancies, obstacles, and regions occluded by obstacles. Insufficient observation regions are defined as observable ones from a few viewpoints and sightless ones from other lots of viewpoints. The new viewpoint is determined for observing the largest insufficient observation regions. Next, the route of the minimal distance between the current and the new viewpoint is investigated. Finally, autonomous flight of the drone can complement a 3D map.

研究分野：コンピュータビジョン

キーワード：structure from motion multi view stereo occupancy voxel SLAM blind spot 観測不十分領域  
自律飛行

### 1. 研究開始当初の背景

カメラを搭載したドローンを用い、映像を獲得しながら、重要な視点に誘導し、映像から情報を得ることは、災害時の情報獲得として非常に重要となる。さらに、動きながら映像を撮影すると、映像だけでなく3次元情報の復元が可能であることが知られている。そこで、ドローンを利用して映像を撮影し、実時間で画像処理を行い、死角となって3次元復元できない領域を割り出す。その領域の映像を取得できる位置にドローンを移動することで、限無く映像を取得する自律飛行が期待されている。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、ドローンの自律飛行を実現するため、ドローンの初期飛行で撮影した映像から3次元情報を復元し、3次元領域の解釈を行う。そこで判定する解釈は、ドローンが飛行可能な空領域、飛行不可能な障害物領域、障害物によって視線を遮る隠れ領域、となる。最終的には、死角のほとんどない3次元情報を獲得するように、ドローンが自律飛行を行うことを目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究では、ドローンの撮影映像から VisualSFM と CPMVS を用いて3次元復元を行う。VisualSFM は撮影映像からカメラ外部パラメータを求め、CPMVS は得られたパラメータから multi view stereo による3次元位置を求め、3次元点を繋ぐ物体の表面を3次元サーフェスとして抽出する。

カメラは3次元空間を移動して撮影を行うので、撮影時の多くの位置から視線を投影すると、何度も視線が通過する領域は空領域である確率が高くなる。そこで、3次元空間を voxel に分割し、撮影した位置のカメラから投影した視線が通過する全ての voxel に通過ラベル、障害物が存在する voxel に障害物ラベル、それ以降の voxel に不通過ラベルを与える。撮影した全ての位置にあるカメラから、同様の視線投影によるラベルを加えると、均一のラベル、混在したラベルの voxel が存在する。ここで問題になるのは、図1のように通過/不通過ラベルが混在し、かつ通過ラベルが少数になる voxel である。この領域は、一部のカメラからは撮影できたが、多くのカメラからは見えない領域となる。本研究では、この領域を観測不十分領域と定義する。次に

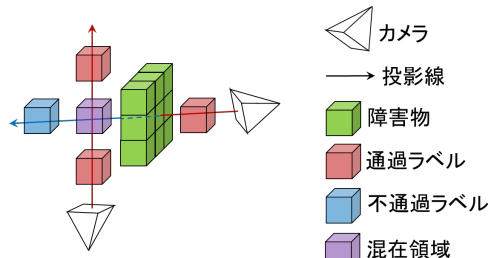


図1 通過/不通過ラベルが混在する voxel

観測不十分領域がもっともよく見える位置を推定する。前述と逆に、観測不十分領域から逆投影線を全方位に対し逆投影する。逆投影線が障害物に到達するまでに通過した voxel に候補ラベルを加え、すべての観測不十分領域から逆投影による候補ラベルの通過を計数する。障害物に阻害されることなく観測不十分領域を観測する最適な位置を決定するには、カメラの画角および撮影距離を考慮して、視錐台を設定し、内包判定の結果、内包数が最大でかつドローンの最終撮影位置から最も近い位置を再撮影位置に定める。

ドローンの最終撮影位置から再撮影位置までの最短経路を求め、その経路に沿ってドローンを移動し、再撮影位置近傍で再度映像を取得することで3次元情報を再取得する。初期移動によって得られた3次元情報と再撮影による3次元情報を重ね合わせ、3次元地図を更新する。

### 4. 研究成果

ドローンとして BebopDrone を用いて撮影した36枚の撮影画像から3次元復元を行った結果を図2に示す。

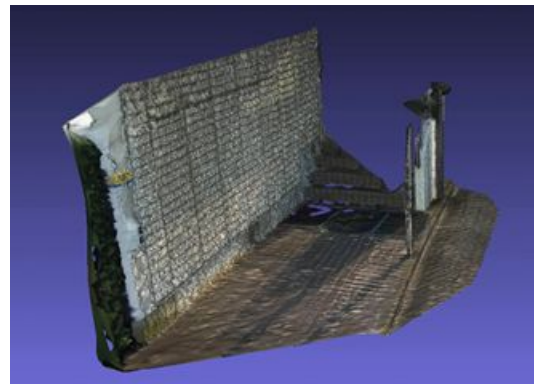
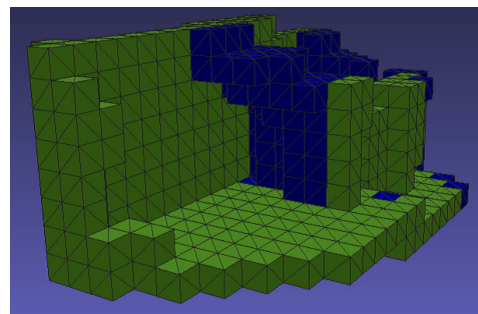
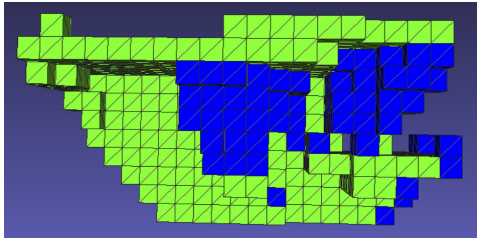


図2 3次元復元結果

再取得位置推定のために3次元領域を20x10x10のVoxel領域に分割し、3次元復元によって生成されたポリゴンメッシュから障害物ラベルを設定した結果を図3に示す。図3の緑色の領域が障害物、青色の領域が観測不十分領域である。



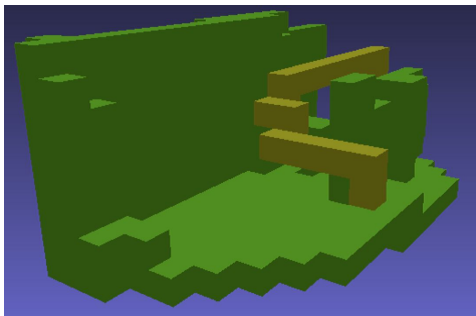
(a) 左視点



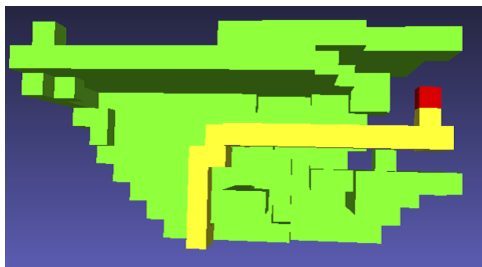
(b) 上視点

図3 観測不十分領域の推定結果

観測不十分領域を中心に偏角  $\theta$ ,  $\phi$  を  $\pi/1800$ (rad) ずつ変化させながら逆投影線を分散し, 追加した逆投影ラベル数の最小値を 0, 最大値を 1 に正規化する. 逆投影ラベル数が少ない領域から観測できる観測不十分領域は少ないため, 分布で 0.9 以上の領域のみで視錐台の内包判定を行った. ここで, カメラから視錐台の前方クリップ面までの距離を全領域の  $1/10$ , カメラから視錐台の後方クリップ面までの距離を全領域の  $1/2$  と設定した. 0.9 以上の各領域で視錐台を水平回転し, 最も多くの観測不十分領域が内包する位置, 方向を求めた結果を再取得位置として決定した. ドローン飛行時の衝突を避けるため, 障害物 voxel とその周辺 voxel を障害物と設定し, ドローンの現在位置と再取得位置までの経路を A\* アルゴリズムで探索した結果を図 4 に示す.



(a) 左視点



(b) 上視点

図4 再取得位置までの経路探索結果

探索した経路からドローンの自律飛行を行った. 再取得位置に到達し, 視錐台の方向への回転を行った後, 左右上下に移動し, 多視点映像の再取得を行った. 再取得映像を用いて 3 次元復元を行った結果を図 5 に示す.

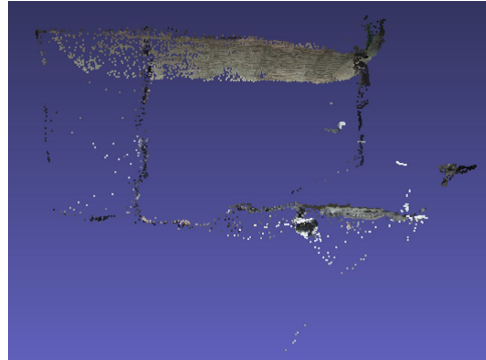


図5 再取得後上方視点からの点群

元の復元結果と再取得結果を Iterative Closest Point (ICP) アルゴリズムによって合成した結果を図 6 に示す. 元の観測不十分領域推定結果では全ボクセル中の 0.1% が観測不十分領域であったが, 再撮影により観測不十分領域は無くなり, 獲得した 3 次元領域が広がった.

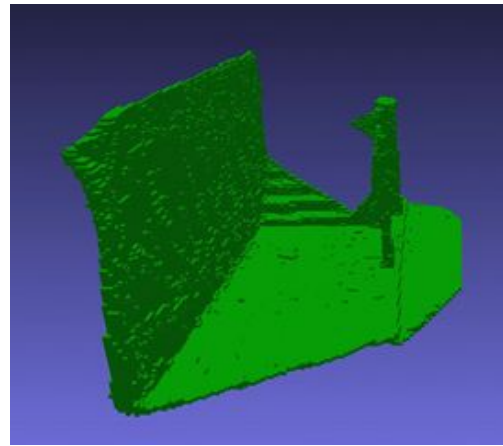


図6 再撮影後に合成した障害物領域

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 7 件)

松村健右, 越後富夫: 多視点移動ステレオを用いた三次元復元に基づく映像の再取得計画, 電子情報通信学会総合大会, D-12-75, 2016年3月15日, 九州大学(福岡県福岡市).

西谷昂, 越後富夫: 模型飛行体の多視点移動ステレオに基づく Occupancy Voxel を用いた観測不十分領域の検出, 電子情報通

信学会総合大会 情報・システムサイエ  
ティ特別企画 学生ポスターセッション,  
ISS-P-116, 2015年3月11日,立命館大学  
(滋賀県草津市).

西谷昂,越後富夫: 動画投稿サイトの空撮  
映像を用いた仮想視点依存の3次元シー  
ン復元, 平成 26 年電気関連学会関西連  
合大会, ポスターシンポジウム, P-16,  
2014年11月23日,奈良先端科学技術  
大学院大学(奈良県生駒市).

森田康介,越後富夫: クアッドコプタの  
自律飛行における自動マーカ追跡, 電  
子情報通信学会総合大会, D-12-67,  
2014年3月20日,新潟大学(新潟  
県新潟市).

西谷昂,越後富夫: 模型飛行体の多視  
点移動ステレオにおけるテクスチャ復  
元, 平成 25 年電気関連学会関西連  
合大会, 2013年11月17日,大阪電  
気通信大学(大阪府寝屋川市).

西谷昂,越後富夫: 模型飛行体の多視  
点移動ステレオに基づくシーン復元,  
画像の認識・理解シンポジウム  
(MIRU2013), SS6-26, 2013年  
8月1日,国立情報学研究所(東京  
都千代田区).

西谷昂,越後富夫: 多視点ステレオに  
基づく最適テクスチャ選択による 3D  
シーン抽出, 情報処理学会研究報告  
CVIM, 2013-CVIM-187(14), 2013  
年5月30日,東京農工大学(東京  
都府中市).

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

越後富夫 (ECHIGO TOMIO)

大阪電気通信大学・情報通信工学部・教授

研究者番号: 80434801