

# 効率的な画像結合のための空撮画像取得アルゴリズムの提案と検証

## Proposal and Verification of Aerial Image Acquisition Algorithm for Efficient Image Combining

田桑 基晴<sup>†</sup>      増田 祐至<sup>†</sup>      小枝 正直<sup>†</sup>  
 Motoharu Taguwa    Yuji Masuda    Masanao Koeda

### 1. はじめに

日本は地理的要因や気象的要因から、台風、地震、津波、火山噴火などの自然災害が発生しやすい国土である。文献 [1] によると 2018 年度は、風水害 5 件、地震・津波 4 件、火山に関する災害 3 件、雪害 3 件とある。このような背景から近年、日本ではドローンは災害情報を把握するために用いられている。文献 [2] によると、平成 28 年熊本地震、平成 29 年 7 月九州北部豪雨等における捜索救助活動においてドローンが運用され、今後も消防防災関係機関における無人航空機の需要の今後の増大が見込まれるとある。ドローンを用いて災害情報把握を把握するメリットは、自然災害において一刻を争う救助が必要な区域や有人大型ヘリコプタが墜落の危険で進入できない区域などでの災害情報の把握が可能であることや、一回の飛行に必要なコストが比較的安価で、継続的な観測が可能であること、騒音が小さく地上での救助活動を妨げないこと、などが挙げられる。

そこで、本研究の最終目標は、ドローンによる効率的かつ高精度な被災地情報の提供である。そこで我々は現在、ドローンによって撮影した複数枚の空撮画像を迅速かつ正確に結合し、被災地の大域的な画像生成に取り組んでいる。

ここで、いくつかの先行研究を列挙する。文献 [3] では、Toshiba 社が販売する FlashAir という無線 LAN 搭載された SD カードとプログラムによって画像を随時送信し、リアルタイムで結合する処理を作成した。文献 [4] では、結合される 2 画像の重なった領域に存在する特徴点を囲む矩形を作成し、その矩形の 4 頂点にそれぞれに最も近い特徴点を算出した結果、歪みの少ない射影変換行列生成され、結果歪み顕著に現れている部分が抑制された。文献 [5] では、結合する 2 画像の面積からラップ率を算出し、それを用いて画像選別アルゴリズムを作成した。

先行研究では、結合部分での処理を改良を行っていた。しかし、撮影を行う際にはなんの基準もなく経路を決定していたので、無駄な素材画像を取得していた。なので今回は、撮影する基準を決定し、それによる迅速性の強化を狙っている。今回は、文献 [5] のアルゴリズムを一部変更し、それをシミュレータ上で検証する。

### 2. 空撮画像取得アルゴリズム

本研究における空撮画像取得アルゴリズムは、一定のラップ率を保ちながら撮影を行うことにより、無駄のない効率的な画像結合のための空撮画像が取得できると考えた。ラップ率とは、2 画像の重なり率の事と定義する。本章ではラップ率の算出方法について記述する。

#### 2.1 前提条件

- ワールド座標系は地表に xz 軸、鉛直上向きに y 軸とする。
- ドローンが水平状態の場合、ドローンの原点から伸びる下方向単位ベクトル  $\mathbf{n}$  は式 1 の通りである。

$$\mathbf{n} = \begin{pmatrix} 0 \\ -1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

- 式には回転行列  $\mathbf{R}_x$ ,  $\mathbf{R}_y$ ,  $\mathbf{R}_z$  を用いており、それぞれ式 2, 3, 4 の通りである。

$$\mathbf{R}_x(\alpha) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\mathbf{R}_y(\beta) = \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\mathbf{R}_z(\gamma) = \begin{pmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

- ドローンの位置は式 5 の通りである。

$$\mathbf{p}_d = \begin{pmatrix} x_d \\ y_d \\ z_d \end{pmatrix} \quad (5)$$

- 地表面を  $y=0$  の水平かつ滑らかな平面と仮定する。

#### 2.2 ドローン視野ベクトル算出

視錐台の頂点から伸びる 4 辺の単位ベクトルを  $\mathbf{t}_i$ ,  $i = 1, 2, 3, 4$  とすると、搭載カメラの横・縦画角  $\theta_x, \theta_z$

<sup>†</sup> 大阪電気通信大学 総合情報学研究科

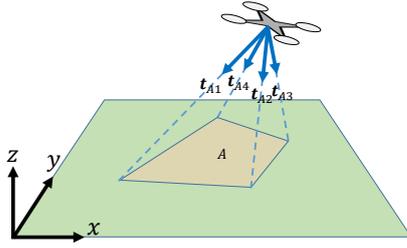


図 1: ドローン視野ベクトル

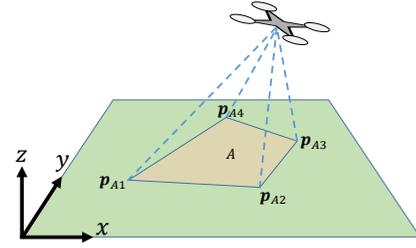


図 3: 空撮画像の地表投影面の 4 頂点座標

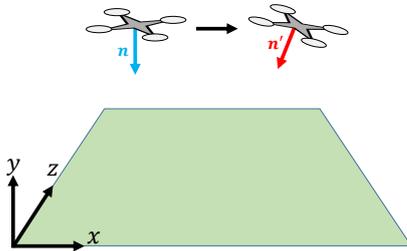


図 2: ドローン下方向ベクトル

, および下方向単位ベクトル  $\mathbf{bmn}$ , 回転行列  $\mathbf{bmR}$  を用いて, 式 6 で求めることができる. この式を図 1 に示す.

$$\begin{aligned} \mathbf{t}_1 &= -\mathbf{R}_z(\theta_z) \cdot \mathbf{R}_x(\theta_x) \cdot \mathbf{n} \\ \mathbf{t}_2 &= \mathbf{R}_z(\theta_z) \cdot \mathbf{R}_x(\theta_x) \cdot \mathbf{n} \\ \mathbf{t}_3 &= \mathbf{R}_z(\theta_z) \cdot -\mathbf{R}_x(\theta_x) \cdot \mathbf{n} \\ \mathbf{t}_4 &= -\mathbf{R}_z(\theta_z) \cdot -\mathbf{R}_x(\theta_x) \cdot \mathbf{n} \end{aligned} \quad (6)$$

### 2.3 ドローン下方向ベクトル算出

ドローンの本体角度が  $\alpha, \beta, \gamma$  となったときの下方ベクトルを  $\mathbf{n}'$  とすると,  $\mathbf{n}$  を用いて式 7 で求めることができる. この式を図 2 に示す. さらに, ドローンの姿勢  $\mathbf{n}'$  を  $\mathbf{t}_i, i = 1, 2, 3, 4$  に適用したベクトルを  $\mathbf{down}_i, i = 1, 2, 3, 4$  とすると, 式 8 で求めることができる.

$$\mathbf{n}' = \mathbf{R}_z(\gamma) \cdot \mathbf{R}_y(\beta) \cdot \mathbf{R}_x(\alpha) \cdot \mathbf{n} \quad (7)$$

$$\mathbf{down}_i = \mathbf{R}_z(\gamma) \cdot \mathbf{R}_y(\beta) \cdot \mathbf{R}_x(\alpha) \cdot \mathbf{t}_i, i = 1, 2, 3, 4 \quad (8)$$

### 2.4 空撮画像の地表投影面の 4 頂点座標算出

空撮画像の地表投影面の 4 頂点の座標を  $\mathbf{p}_i, i = 1, 2, 3, 4$  とすると,  $\mathbf{down}_i, i = 1, 2, 3, 4$

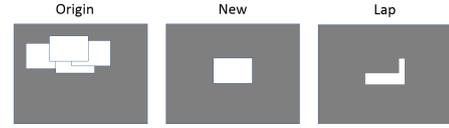


図 4: 画像のラップ処理例

を用いて式 9 で求めることができる. この式を図 3 に示す.

$$\mathbf{p}_i = \begin{pmatrix} x_d - \frac{\mathbf{down}_{xi} \cdot y_d}{\mathbf{down}_{yi}} \\ y_d - \frac{\mathbf{down}_{yi} \cdot y_d}{\mathbf{down}_{yi}} \\ z_d - \frac{\mathbf{down}_{zi} \cdot y_d}{\mathbf{down}_{yi}} \end{pmatrix}, i = 1, 2, 3, 4 \quad (9)$$

### 2.5 空撮画像の面積算出

式 9 で求めた 4 点を角に持つ矩形の面積を求める.

### 2.6 2 画像のラップ率算出

撮影を行い, 結合をした画像の面積を描画している画像を *Origin*, 新しく撮影された画像を *New*, ラップ部分を *Lap* とする. 例として図 4 に示す.

*Origin* の一部に一定以上のラップ率があれば結合はうまくいくので, *New* の面積を基準として, ラップ率を算出する. *Lap* の面積を  $S_{Lap}$ , *New* の面積を  $S_{New}$  としたとき, 式 10 で求めることができる.

$$Lap = \frac{S_{Lap}}{S_{New}} \quad (10)$$

### 2.7 結合処理

ラップ率が閾値以下になると, 空撮画像撮影, 結合処理を行い, *New* を *Origin* に追加描画する.

ここまでの処理を繰り返すことにより, 無駄のない効率的な画像結合のための空撮画像が取得できる.

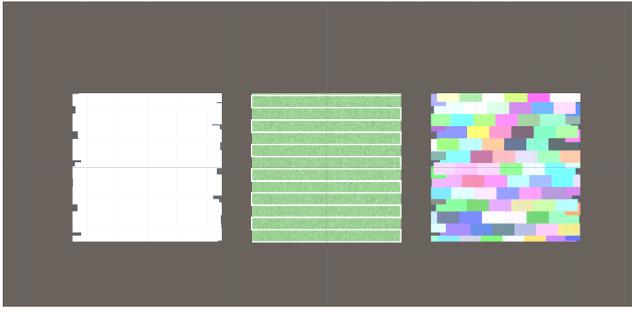


図 5: ラップ率の閾値が 30%の場合

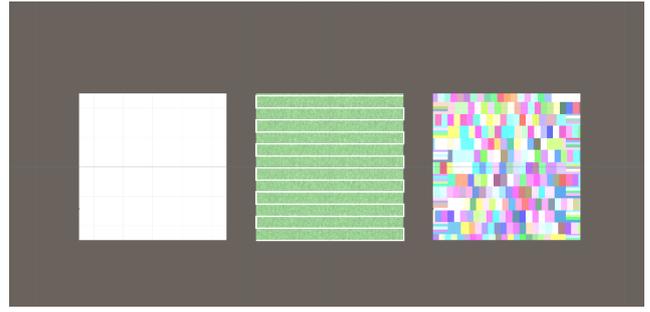


図 7: ラップ率の閾値が 80%の場合

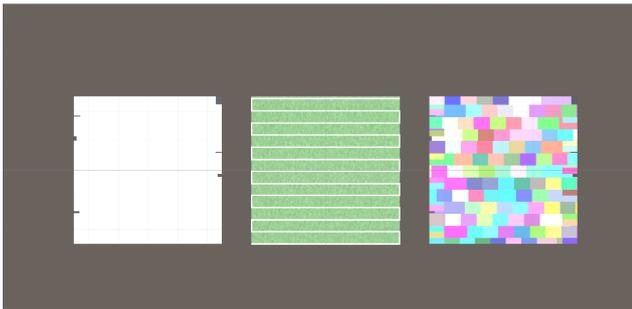


図 6: ラップ率の閾値が 50%の場合

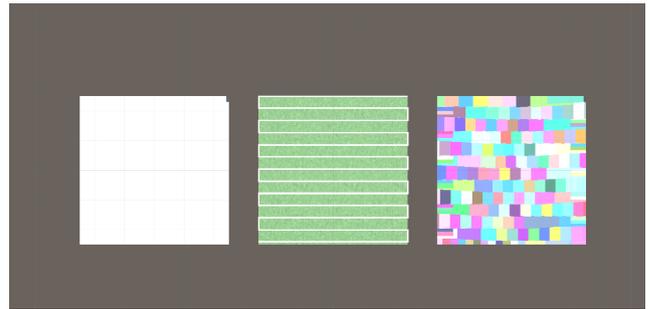


図 8: 進行方向と逆向きに 30 度傾けた場合（ラップ率 80%）

### 3. 空撮画像取得アルゴリズムの検証

この章では、第 2. 章で述べたアルゴリズムの検証を行う。実機での検証は困難なため、シミュレータ上で検証を行う。本シミュレータは、Intel Core i7-2600, 8GB メモリ, NVIDIA GeForce GTX 1080, Windows7 を搭載した PC で Unity バージョン 2019.1.4f1 を用いて開発し、また画像処理には OpenCV for Unity2.3.5 を用いた。

#### 3.1 検証

検証では、3 パターンのラップ率（30, 50, 80%）の閾値と、実機の飛行中の動きに近づけるために進行方向と逆向きに 30 度傾けた場合（ラップ率 80%）の 4 パターンを試行した。また、それぞれの網羅率を算出する。検証では、フィールドの大きさを 500m\*500m とする。ドローンの高度を 150m とし、500m 横移動の後、500m を 12 等分した数値分縦移動を行う。縦移動で 500m に達するまで繰り返すジグザグな経路で飛行させた。

#### 3.2 検証結果

網羅率は、ラップ率の閾値が 30%の場合 97.64%、ラップ率の閾値が 50%の場合 99.38%、ラップ率の閾値が 80%の場合 100%、進行方向と逆向きに 30 度傾けた場合 99.94%であった。?? ラップ率の閾値が 30, 50, 80%に設定した場合の結果をそれぞれ図 5, 6, 7 に示す。また進行方向と逆向きに 30 度傾けた場合の結果画像を図 8 に示す。

#### 3.3 考察

3 パターンのラップ率の網羅率と図 5, 6, 7 の左図から、ラップ率の閾値を上げて行くと、撮影できていない領域が減少し、80%では、全領域が隙間なく撮影できていることがわかる。また、進行方向と逆向きに 30 度傾けた場合の網羅率と図 8 より、ドローンの角度を変えた場合の実験でも撮影できていない領域が少ないことがわかる。

以上より、フィールド全体を隙間なく効率的に撮影するためには、適切なラップ率の閾値の設定と、ドローンの姿勢制御が必要であることが分かる。

### 4. 終わりに

本研究では、効率的な画像結合のための空撮画像取得アルゴリズムの提案と検証を行った。ドローンによる空撮を模擬したシミュレータを Unity 上で開発し、これを用いてラップ率の閾値を変更した際の結合画像の網羅率を検証した。今後は、撮影状況に応じて動的にラップ率の閾値を変更することで、さらに効率的な結合画像の生成を目指す。また複数のドローンを用いて同時に撮影する際の効率的な経路の計画についても調査する予定である。

## 参考文献

- [1] 内閣府防災情報（最終閲覧日：2019年7月23日）  
<http://www.bousai.go.jp/updates/#h30>
- [2] 消防消第13号平成30年1月30日消防防災分野における無人航空機の活用に関する資料について（最終閲覧日：2019年7月23日）  
[https://www.fdma.go.jp/laws/tutatsu/assets/300130\\_sy013.pdf](https://www.fdma.go.jp/laws/tutatsu/assets/300130_sy013.pdf)
- [3] 増田 祐至, 小枝 正直, “空撮画像のリアルタイム結合システムの開発”, 第80回全国大会講演論文集,2018(1),571-572 (2018-03-13)
- [4] 増田 祐至, 田桑 基晴, 小枝 正直, “空撮画像結合のための対応特徴点を選定する手法の提案”, 第81回全国大会講演論文集,2019(1),627-628 (2019-02-28)
- [5] 田桑 基晴, 増田 祐至, 小枝 正直, “空撮画像のリアルタイム結合と効率的な画像結合のための画像選別アルゴリズムの提案”, 2018年度情報処理学会関西支部支部大会 講演論文集,2018, (2018-09-21) 1884-197X