

複数UAVを用いたSfM写真測量のための3D経路設計アルゴリズムの開発

東北大学工学部

学生会員 ○長澤 亮輔

東北大学災害科学国際研究所

正会員 マス エリック

東北大学災害科学国際研究所

正会員 越村 俊一

1. はじめに

近年UAVは建設業や災害対応などの様々な分野で用いられ、技術進歩も著しいが、中でも複数の画像から3Dモデルを生成するSfM写真測量技術が注目されている。UAVとの親和性が高く、安価に高精度な測量が行えるとして幅広く導入されているものの、十分な情報量を確保するための飛行計画策定が難しく、単純な飛行計画では情報量にムラがある他、UAVのバッテリー制限の問題がある (Roberts *et al.*, 2017)。

そこで本研究では、複数のUAVを用いたSfM写真測量のための経路設計アルゴリズムを提案した。従来の測量法で初期モデルを導入した後、それを元に全方向から測量する経路を設計し、各UAVの経路長が最小かつ均等になるように配分することで、より高精度な3Dモデルの構築と、UAVのリソース確保が期待できる。

2. アルゴリズムのワークフロー

本研究では、Netlogo3D (Wilensky, 1999)を用いてアルゴリズムを実装した。以下、そのワークフローについて概要をまとめる。

(1) 初期モデルの導入とWaypointの生成

撮影対象を簡易化した初期モデルを導入し、それに対して撮影点となるWaypointを生成する。本研究では、都市の区画を模した初期モデルを作成して使用した。Waypointに関しては、横2.5 m、高さ5 mの一定間隔で生成した後、以下の条件のいずれかを満たすものを削除する。

- 対象との距離が指定値を満たさない
- 対象との間に他の初期モデルが存在する
- 位置座標が初期モデルと重複している

カメラの視野角を90度、対象との距離を7.5 mとした場合、それぞれのWaypointから撮影した画像のオーバー

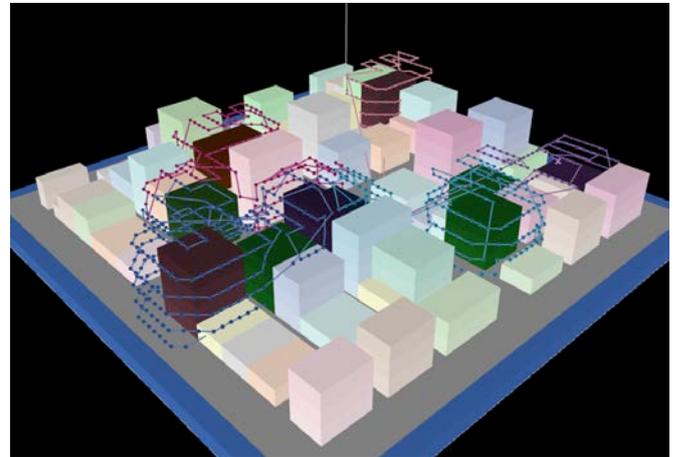


図-1 Netlogo3Dによるシミュレーション

ラップ率は約83%、サイドラップ率は約56%を満たす。

(2) Waypointの分類

生成したWaypointを複数UAVで分割するために、Waypointに対してファジィC平均法を用いて、それぞれのUAVの所属確率を帰属度として与えた後、帰属度に沿ってWaypoint进行分类する。

(3) 複数人巡回セールスマン問題

各UAVに対し、分類されたWaypointを一度ずつ巡り出発点に戻る巡回路のうち、最短距離のものを求める巡回セールスマン問題 (以下、TSP) を解く。本研究ではNearest Neighbor (以下、NN法) で得られた近似解を、2-opt法と1.5-opt法を用いて改善し、最適解に近づける方法を採用した。なお従来のTSPとして解いた場合、前述した分類結果によってはUAVの飛行距離に偏りが出るため、Waypointの帰属度を参照して、飛行距離の多いUAVから少ないUAVへWaypoint进行分类し直す改善法を導入する。以上の手順を用いて、複数人巡回セールスマン問題として、各UAVの飛行距離を平坦化かつ最適化する。

(4) 障害物回避経路の生成

得られた経路は障害物を考慮しておらず、経路が貫通しているため、A*アルゴリズムを用いて障害物を回避するための新たなWaypointを生成する。

3. 複数人巡回セールスマン問題の比較検証

(1) 手法

本研究では、SfM測量を想定した環境下での、複数人巡回セールスマン問題におけるファジィC平均法の有用性を評価する為に、Nallusamy(2010)らのK平均法を用いた手法との比較検証を、Netlogo3Dを用いて行った。

a) 初期条件

撮影対象の初期モデルとして、都市区画を模した150m四方の環境構造物群を構築した。また、構造物群のうち撮影対象となるものを無作為に10個選び、5機のUAVで探索するよう設定した(図-1)。

b) 分類法の比較検証

初期モデルに対応したWaypointを生成した後、K平均法とファジィC平均法それぞれで分類し、NN法、2-opt法、1.5-opt法で巡回セールスマン問題として解く。以上の手順で得られた解を元に比較検証を行う。なお、解の評価は式(1)、式(2)に示す、各UAVの総経路長 L とサブツア平均化係数 ρ を用いて行う(渡邊ら, 2001)。ここで、 L_i は i 番目のUAVの経路長を示す。

$$L = \sum_{i=1}^5 L_i \quad (1)$$

$$\rho = \frac{\max L_i - \min L_i}{\max L_i} \quad (2)$$

(2) 結果

(b) の操作を分類法毎に100回繰り返し、得られた解の平均値を表-1に示す。また、ファジィC平均法を用いた際の、UAV毎の経路長の推移を図-2に示す。

(3) 考察

表-1を見ると、総経路長 L はK平均法を用いた方が小さくなるが、ファジィC平均法の方はサブツア平均化係数 ρ が小さく、解の平均化の面で優れていることがわかる。また、図-2より、ファジィC平均法を用いてWaypointを分配することで、各UAVの経路長が平均経路長に近づいていく推移が確認できる。以上から、SfM測量を想定した環境下での、複数人巡回セールスマン問題において、ファジィC平均法は有用であると判断できる。

4. おわりに

本研究では、SfM測量環境下を想定した、複数UAVの経路設計アルゴリズムを提案した。その中で、UAVのバッテリー制限問題を解決するため、ファジィC平均法を用

表-1 評価関数の平均値

	$L(m)$	ρ	$\max L_i(m)$	$\min L_i(m)$
K平均法	3236	0.545	902	405
ファジィC平均法	3633	0.022	735	719

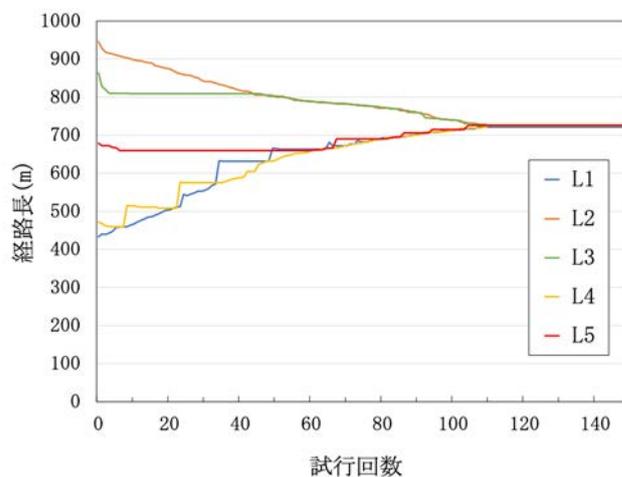


図-2 ファジィC平均法を用いた際の、UAV毎の経路長推移

いて、経路長を最小化かつ平均化した。K平均法との比較検証により、本手法は、複雑な環境下においても、各UAVの経路長を最小化かつ平均化できることを示した。

今後の課題として、前述したアルゴリズムを用いて生成した3Dモデルと、従来法で生成した3Dモデルとで精度比較を行い、このアルゴリズムが高精度な3Dモデルの構築という観点で有用であるか、検証する必要がある。

参考文献

Mike Roberts, Debadeepta Dey, Anh Truong, Sudipta Sinha, Shital Shah, Ashish Kapoor, Pat Hanrahan, Neel Joshi., Submodular Trajectory Optimization for Aerial 3D Scanning, The IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), pp. 5324-5333, 2017,
 U.Wilensky., Netlogo. Center for Connected Learning and Computer-based Modelling, Northwestern University, Evanston, IL, 1999, <http://ccl.northwestern.edu/netlogo>,
 R.Nallusamy, K.Duraiswamy, R.Dhanalaksmi, P.Parthiban., Optimization of Non-Linear Multiple Traveling Salesman Problem Using K-Means Clustering, Shrink Wrap Algorithm and Meta-Heuristics, International Journal of Nonlinear Science Vol.9, No. 2, pp.171-177., 2009.
 渡邊 浩和, 小野 勉, 松永 昭浩, 金川 明弘, 高橋 浩光., ファジィc-means法を用いた複数巡回セールスマン問題の一解法, 日本ファジィ学会誌 Vol 13, No.1, pp.119-126., 2001.