

複数台の自律飛行 UAV から得られる 情報の最大化の検討

渡辺 大貴^{†1} 高橋 淳二^{†2} 戸辺 義人^{†2}

概要: 近年, 災害や事故の現場などで上空から情報センシングする手段として UAV が使用されている. しかし UAV の操縦は人が行う場面が多く, 広範囲にわたって観測を行う場合, 複数台の UAV の利用が想定される. その場合膨大なコストがかかってしまう. そこで本研究では対象物を観測し, 視点評価を行い, 移動方向を決定させ, 適切に配置することで, 観測できる情報の量を最大化する複数台協調観測アルゴリズムを構築し, 検討を行う.

Investigation of an Algorithm Maximizing the Information Obtained by Multiple Autonomous UAVs

TAIKI WATANABE^{†1} JUNJI TAKAHASHI^{†2} YOSHITO TOBE^{†2}

1. はじめに

近年, 災害や事故の現場などで空から情報収集を行う手段として UAV(Unmanned Aerial Vehicle)が使用されている. 現状, UAV の操縦は人が行う場面が多い. しかし, 操縦には墜落での事故の危険性が伴い, 専門の知識や技能が求められる. したがって人材の育成などでコストを要することが想定される.

現状においては, UAV はマニュアル操作されることが多い. また, 災害が起こった地域では広範囲にわたって観測を行う必要があるので複数台の UAV を飛行させることが想定される. その場合, UAV の数が増えるほどかかるコストは増加してしまう. コストの増加を避けるためには UAV は人が操縦するのではなく, 自律移動させて情報収集を行うことが望まれる. しかし複数台の UAV をランダムに配置して観測しては, 観測している視点が重複してしまう可能性があり好ましくない. そこで自律移動する UAV が複数台あった場合に観測箇所を分担し, 協調観測が求められる.

そこで対象物を観測しながら自律移動を行うには自律的に視点を評価して, 移動方向を決定させるアルゴリズムが必要であり, さらに UAV が複数台ある場合には, 観測箇所を分担して, 協調して観測する必要がある.

したがって本研究では, UAV から取得した画像から視点の評価を行い, 対象を観測すべき視点を決定し, 自律移動させる. さらにそのような UAV が複数台あった場合に適切に配置することで得られる情報の総和を最大化するアルゴリズムを構築, 実装し, 複数台の UAV から得られる情報の量を検討する.

本論文の構成について説明する. 第2章では, 自律移動ロボット, 協調観測の関連研究について述べる. 第3章では, 本論で扱う複数台観測問題と複数台協調観測アルゴリズムの設計について述べる. 第4章では複数台協調観測アルゴリズムを用いての実験について述べる. 第5章では, 実験の評価について述べる. 第6章では, 本論文の結論について述べる.

2. 関連研究

自律移動撮影ロボットの研究としてパーティー会場などの人が混み合っている場所で人を良いレイアウトで撮る研究がある[1]. Luke と呼ばれる自律移動撮影ロボットは衝突を避けながら自律移動し, 4 つのルールに基づいて, 視点評価を行い, カメラで人を良いレイアウトで映るように撮影を行っている. この研究では, 視点評価の対象が人である. 本研究では環境に対して視点評価を行い, 適切な位置へと自律移動することを目指としている点が異なる.

また UAV の協調観測に関する研究として複数の観測点が与えられた際に探索時間を短くする手法を与える研究がある[2]. この研究では複数の観測点が与えられた時に探索時間をより短くする探索手法を考案するものである. 探索手法の方針として, 1 機の行動を中心として他機はその行動を補助する方針をとっている. 本研究では観測にかかる時間よりも得られる情報の量を優先しており, その場所から見えている情報の量によって移動方向を決定し観測を行っている.

^{†1} 青山学院大学大学院理工学研究科理工学専攻知能情報コース

^{†2} 青山学院大学理工学部情報テクノロジー学科

3. 複数ドローン協調観測問題

3.1 利用想定場面

本論で扱う複数台観測問題について説明する．本研究では UAV が対象物の周囲の決められた軌道を飛行し，最も情報の量の多い視点を自律獲得させることを想定している．図 3.1 において UAV の飛行軌道， r と ϕ は一定であり， θ だけを変化させるものとする．UAV が複数ある場合は複数台で得られる情報が最大になるように自律的に移動を行う．

実験では 2 台の UAV が観測しているとし，UAV から獲得した動画を解析し，移動方向を決定し情報をより多く獲得できる位置を算出する．Drone1 と Drone2 は交互に動作し，1 機が移動しているときに他機は動作しないものとする．

効率よく観測を行うために，自己の観測した値だけを利用して動作する Strategy1 と，他機との協調を考えて単方向に視点情報を送る Strategy2，他機との協調を考え，双方向に視点情報を送り，図 3.2 のように動作する Strategy3 の 3 種類のアルゴリズムを構築する．

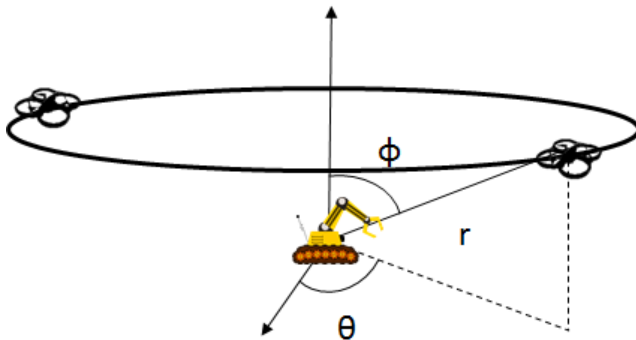


図 3.1 利用想定場面

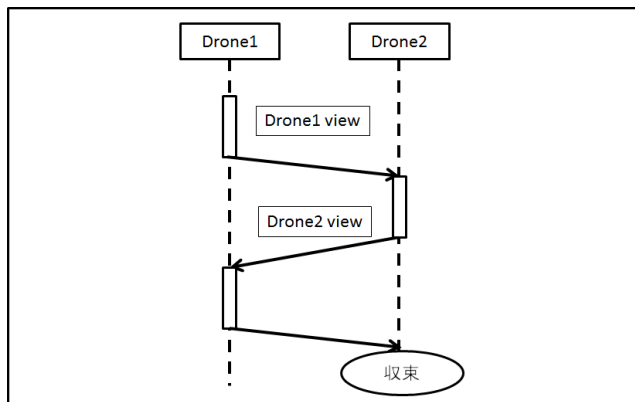


図 3.2 Strategy3 シーケンス図

3.2 情報の量の定義

本研究での情報の量とは UAV 取得画像から AKAZE アルゴリズムを用いて検出された特徴点数と定義する．

AKAZE 特徴は画像処理の分野で広く用いられている局所特徴の一つであり，画像に写されている物体が何であるかを推定する画像認識などに利用される[3]．AKAZE 特徴

が多く検出できるほど画像認識の成功率は高くなる傾向にあるため，今回は AKAZE 特徴点数を情報の量と定義した．

なお，複数台で観測した際に情報の量を多くすることが本研究の目標である．

3.3 UAV 獲得情報の要素

1 台目の UAV を Drone1，2 台目の UAV を Drone2 と呼び，その要素を以下に定義する．

- P_{d1} : Drone1 が観測した映像に含む AKAZE 特徴点の集合
- P_{d2} : Drone2 が観測した映像に含む AKAZE 特徴点の集合
- $n(P_{d1})$: 集合 P_{d1} に含まれる要素の個数
- $n(P_{d2})$: 集合 P_{d2} に含まれる要素の個数
- $n(P_{d1} \cup P_{d2})$: 集合 P_{d1} と 集合 P_{d2} の和集合の数
- $n(P_{d1} \cap P_{d2})$: 集合 P_{d1} と 集合 P_{d2} の積集合の数
- $n(P)_{mv10}$: $n(P)$ の過去 10 観測における移動平均
- $n(P)_{mv30}$: $n(P)$ の過去 30 観測における移動平均

3.4 実稼働を考慮した移動方法決定アルゴリズム

UAV が常に完全に特徴点を取得できれば n の値を正確に取得することができるが，実際には，光の当たり方を含めて画像取得に揺らぎが生じているため， n の値だけを用いて山登り法を適用すると，小さな揺らぎの極値に収束してしまう． n の値には誤差が含まれていると考えられるため，移動平均比較の勾配推定に基づいた山登り法を行う．

本研究では UAV が観測した画像フレームから取得した情報の量を $n(P)_{mv10}$ ， $n(P)_{mv30}$ の時間幅で保存しておき，2 つの異なる移動平均の比較を行ってその大小で左右の移動方向を決定する．

この方法によってグラフの小さな揺らぎに対して収束するのを防ぎ，極大値にたどり着けるようにしている．を図 3.3 に移動平均を用いたグラフの例を示す．図 3.4 に移動平均比較による移動方向決定の擬似コードを示す．グラフから $n(P)_{mv10}$ が $n(P)_{mv30}$ より大きいとき，グラフは右上がり勾配になり， $n(P)_{mv10}$ が $n(P)_{mv30}$ より小さいとき，グラフは右下がり勾配になっていることが分かる．

したがって数の少ない移動平均が大きければ右に移動，小さければ左に移動する．

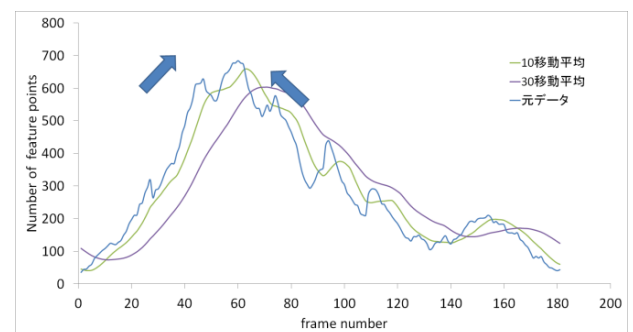


図 3.3 異なる移動平均を用いたグラフ

```

set : i=0, K1=10, K2=30, n[]=0, α=10; //threshold
p=rand() (0~300); //current position
for(30){
    get n[i];
    i←i+1;
}
While(1){
    get n[i];

    Avg_K1=Σj=0K1-1 1/K1 n[i-j];

    Avg_K2=Σj=0K2-1 1/K2 n[i-j];

    if(|Avg_K1 - Avg_K2| < α){
        break;
    }
    if(Avg_K1 > Avg_K2){
        p←p+1;
    } else
        p←p-1;
    }
}

```

図 3.4 移動平均による移動方向決定の擬似コード

3.5 Strategy1

自己の観測した値だけを利用して動作する Strategy1 について説明する。Drone1 は $n(P_{d1})$ が最大になるように山登り法を用いて移動方向決定する。Drone2 は $n(P_{d2})$ が最大になるように山登り法を用いて移動方向決定する。Drone1 と Drone2 は通信をするが、移動方向の決定に $n(P_{d1} \cup P_{d2})$, $n(P_{d1} \cap P_{d2})$ は考慮しない。

3.6 Strategy2

他機との協調を考えて単方向に視点情報を送る Strategy2 について説明する。Drone1 は $n(P_{d1})$ が最大になるように山登り法を用いて移動方向決定する。Drone2 は Drone1 が停止したあと、停止位置の画像を Drone1 から取得し、取得画像のマッチングにより $n(P_{d1} \cup P_{d2})$ を算出する。その後、 $n(P_{d1} \cup P_{d2})$ が最大になるように山登り法を用いて移動方向決定する。Drone1 と Drone2 は通信を行う。

3.7 Strategy3

他機との協調を考え、双方向に視点情報を送り、動作する Strategy3 について説明する。Drone1 は $n(P_{d1})$ が最大になるように山登り法を用いて移動方向決定する。Drone2 は Drone1 が停止後、停止位置の画像を Drone1 から取得し、取得画像のマッチングにより $n(P_{d1} \cup P_{d2})$ を算出する。その後、 $n(P_{d1} \cup P_{d2})$ が最大になるように山登り法を用いて移

動方向決定する。Drone2 が停止後、再度、Drone1 が動作し、停止位置の画像を Drone2 から取得し、取得画像のマッチングにより $n(P_{d2} \cup P_{d1})$ を算出し、山登り法を用いて移動方向決定する。Drone1 が停止したらアルゴリズム終了である。情報の量は Drone1, Drone2, Drone1 と交互に収束する。

4. 実験

4.1 実験内容

提案したアルゴリズムを評価するにあたってドローンのカメラで撮影した、実測映像データを元にシミュレーションを行う。実測データは UAV のカメラを用いて、手動で対象物を反時計回りに 1 週して得る。終了フレームの後に開始フレームとつなぎ、ループ映像を作成する。この疑似観測データにおいて、UAV が対象物に対して反時計回りに動作するときは動画を再生し、対象物に対して時計回りに移動するときは逆再生を行う。



図 4.1 UAV 取得画像の一例

ループ映像を再生する初期位置は任意に設定し、それぞれのアルゴリズムに対して初期位置の変更を 5 回行い、決定された情報の値の平均と、観測データで実際の最大情報の値との比を評価する。評価結果 I を次のように定義する。

$$I = n(P_{u1} \cup P_{u2}) / \max n(P_{u1} \cup P_{u2}) \quad (1)$$

4.2 実験結果

Strategy1, Strategy2, Strategy3 の結果の一例を図 4.2, 4.3, 4.4 に示す。

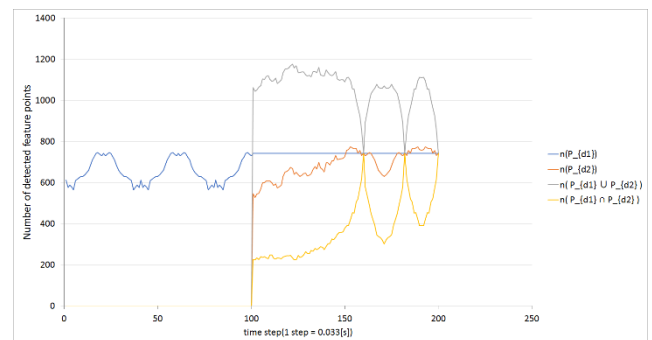


図 4.2 Strategy1 のシミュレーション結果

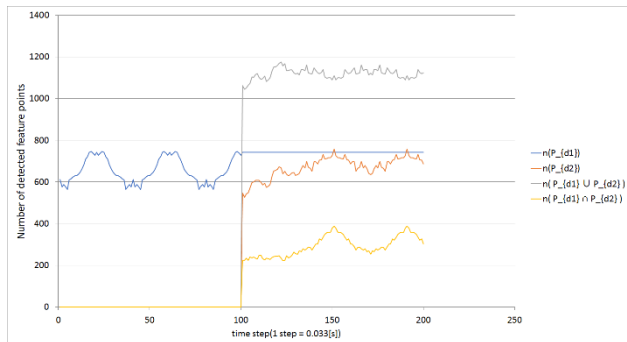


図 4.3 Strategy2 のシミュレーション結果

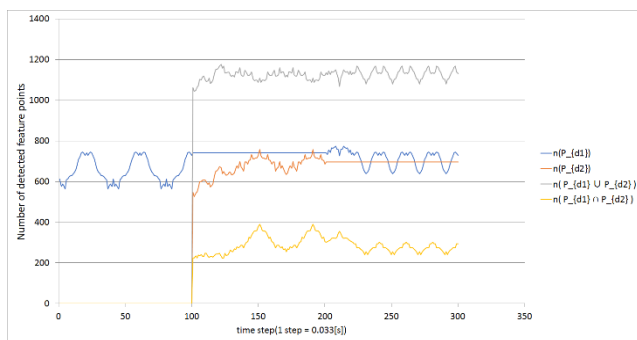


図 4.4 Strategy3 のシミュレーション結果

シミュレーションを行って得られた評価結果 I のまとめを表 1 に示す。

表 4.1 シミュレーションによる I の平均値

評価結果 I	Strategy1	Strategy2	Strategy3
初期位置 1	0.88	0.85	0.86
初期位置 2	0.62	0.92	0.94
初期位置 3	0.62	0.59	0.57
初期位置 4	0.86	0.86	0.84
初期位置 5	0.62	0.87	0.94
平均	0.72	0.81	0.83

5. 評価

図 4.2 から Strategy1 は自己の観測した値だけを利用しているため、 $n(P_{d1} \cap P_{d2})$ が大きくなり、 $n(P_{d1} \cup P_{d2})$ が減少していることがわかった。したがって UAV 同士で、観測している視点が重複している現象が起こってしまうのでよいとは言えない。それに比べて、他機との協調を考えて視点情報を送っている Strategy2, Strategy3 は図 4.3, 図 4.4 から $n(P_{d1} \cap P_{d2})$ が極端に増加している部分がなく、 $n(P_{d1} \cup P_{d2})$ が減少していないことにより、視点が重複している部分が少なく、情報の量が多い観測ができていることが分かる。

表 4.1 から、評価結果 I の平均を見ると 他機との協調を

考え、双方向に視点情報を送っている Strategy3 が最も取得した $n(P_{d1} \cup P_{d2})$ が多いことが分かる。次に他機との協調を考えて単方向に視点情報を送る Strategy2 が多く、自己の観測した値だけを利用する Strategy1 が取得した $n(P_{d1} \cup P_{d2})$ が最も少なかった。本点では Strategy3 が最も良いアルゴリズムであるといえる。しかし初期位置によっては Strategy1 の方が情報の量が多い場合がある。これは 2 台の観測地点が離れており、重複することがなかったため $n(P_{d1} \cup P_{d2})$ が多くなったのだと想定できる。したがって UAV の初期位置も重要な要素であることがわかった。

6. むすび

本研究では、視点の評価に基づいて自律移動を行い、対象を観測すべき視点を決定し、さらにそのような UAV が複数台あった場合に協調させることで得られる情報の総和を最大化する協調アルゴリズムの検証を行った。

その結果、他機との協調を考え、双方向に視点情報を送り、動作する Strategy3 が良いアルゴリズムであると言えた。

また、初期位置の設定によっても取得できる情報の量は変化するので、観測を開始する UAV の初期位置も重要である。今後の課題として、実験では実験擬似観測データを用いたシミュレーションを行ったが、実際に 2 台の UAV を飛行させてアルゴリズムの有用性を評価することと、今回のアルゴリズムから、UAV 間の通信品質が常にいい場合であれば、協調して双方向に視点情報を送りあう場合に良い結果が得られることがわかった。しかし実際の現場では UAV 間の通信が不安定になる場合がある。この時、相手の観測状況がわからないので協調して観測を行うことができない場合がある。その場合は UAV 間の通信が安定するまで自分の情報だけで観測を行う必要があるため、それに応じて対応を行うアルゴリズムを考えたい。

7. 参考文献

- [1] Zabarauskas, M. and Stephen, C. "Luke: An Autonomous Robot Photographer", Robotics and Automation (ICRA), 2014 IEEE International Conference, pp 1089-1815, 2014
- [2] Ito, M. and Hori, K. "Cooperative Space Searching Method by Multiple Small UAVs", The 27th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2013
- [3] Pablo, F., Alcantarilla, A., Bartoli, A., J. Davison, "KAZE features", Proceedings of the 12th European Conference on Computer Vision—Volume Part VI, pp 214-227, 2012