

複数小型 UAV による協調的空間探索

Cooperative Space Searching Method by Multiple Small UAVs

伊藤 麻里
Mari Ito

堀 浩一
Koichi Horii

東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻
Department of Aeronautics and Astronautics, Graduate School of Engineering, University of Tokyo

If a disaster occurs, it is necessary to grasp the situation as soon as possible. However inconvenient foothold and the size of the stricken area often make it difficult for human to perform such operation quickly and efficiently. A searching method that can deal with such property is needed. We propose a highly efficient space searching method that is flexible to environment and independent of data-handling capacity. With onboard camera and image processing technique, UAV can locate its position. Our method is applicable to multiple UAVs and by deploying them, we can cover larger area of environment and reduce the time required for search.

1. 研究背景

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、その規模の大きさ故に救助隊員の不足や情報収集の遅れが見られた。また、震災直後の原発では、安全性が確保されていないにも関わらず、作業員が施設内に足を踏み入れ、内部の状況を確認しなくてはならなかった。

災害時の特徴として、人命救助のために時間制約が厳しいこと、被害が広範囲に分布していること、足場が不安定であることが挙げられる。小型 UAV の協調的行動により、これらの制約条件の元でも、効率的な探索を行うことが可能であると考えた。複数の小型 UAV を用いて探索を行うことにより、探索時間を減少させることが可能となる。また、複数機での分業により、広範囲への対応も可能となる。さらに、UAV は陸上機と異なり、足場の不安定さに左右されない行動が可能である。

小型 UAV の協調的探索には、上に述べた利点がある一方課題もある。小型 UAV で詳細な探索をする際に必要な自己位置推定精度は GPS 誤差円内であり、GPS を利用することが出来ない。また、屋内空間ではそもそも GPS を利用出来ないという問題もある。これらの問題は、カメラ画像を用いた自己位置推定で解決することが出来る。また、複数機で探索を行うにあたり、効率的な探索プランニング手法も必要となる。

環境に対する汎用性を持ち、かつ、高効率な探索が可能となる探索手法が必要であると考えた。

2. 研究目的

本研究の目的は、複数の観測点が与えられた際に、探索時間をより短くする探索手法を与えることである。観測は複数機で行うものとする。目標点までの距離を基準とする評価関数を用いた行動プランニングを提案し、検証する。この探索手法により、ミッション規模に依らない柔軟な対応を目指す。また、探索ロボットとして小型 UAV を選択することで、探索環境に対する汎用性を持たせる。

3. 協調的探索手法の提案

探索ロボットとして小型 UAV を用い、自己位置推定は画像処理によって行う。

本研究は、複数機への拡張を前提としている。そのため、拡張が容易で計算負荷の小さい協調的探索手法を提案する。計算負荷を減らすため、目標点までの距離を基準とした評価関数を用いて行動決定を行う。また、中心となる 1 機の行動を他機が補完する方針を取る。提案手法のその他の特徴は、機数の変化のみで大小様々な規模のミッションに対応できることと、機体の個々の処理性能に依存しないことである。

4. 画像処理による自己位置推定

UAV に搭載したカメラから画像を取得し、その画像から 3 次元再構成を行うことにより、UAV の自己位置推定を行う。

4.1 画像処理

特徴点の抽出方法として、SIFT, SURF, FAST, ORB の 4 種類について実験した。図 1 は、ORB による特徴点抽出を行い、matching した結果である。

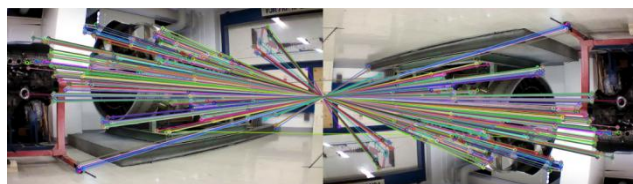


図 1 : matching 結果 (ORB の場合)

4.2 3次元再構成

Longuet-Higgins による 3 次元再構成の手法を用いた。

ただし、 $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2$ を camera 座標系 C_1, C_2 における特徴点 P の位置ベクトル、 \mathbf{R} を回転行列、 \mathbf{t} を並進ベクトルとしたとき、 $-(\mathbf{x}_2 \times \mathbf{E}\mathbf{x}_1)$ と \mathbf{t} のなす角 θ が $-\pi/2 < \theta < \pi/2$ を満たすものとした(図 2)。ここで、 \mathbf{E} は Essential Matrix である。

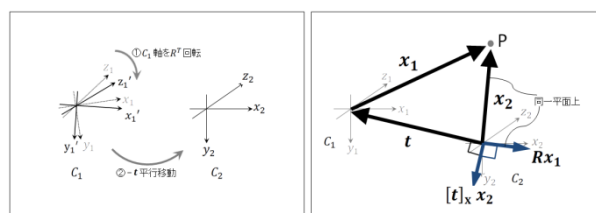


図 2 : 回転・平行移動 (左) と $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \mathbf{t}, \mathbf{R}$ の関係 (右)

連絡先: 伊藤麻里. 東京大学工学部航空宇宙工学専攻.
m.ito@aialab.t.u-tokyo.ac.jp

5. 2機のUAVによる協調的探索手法

2機のUAVは、目標点と観測方向のリストを与えられている(図3)。

第1機(以下、これをagent 1とする)と第2機(以下、これをagent 2とする)は、現在地から全探索方向までの予測到達時間を計算する。agent 1は予測到達時間が最小になる探索方向に向かって移動する。agent 2は、agent 1の予測探索時間のリストを共有し、agent 1の予測到達時間とagent 2の予測到達時間に重み付けを行うことで、探索方向を決定する。

観測済みの観測方向はリストから削除し、残りの全観測方向について予測到達時間の再計算を行う。各目標点に対する全観測方向の観測を終えるまでこれを繰り返し、全ての観測を終了すると、そこで探索を打ち切る。探索のフローチャートは図4の通りである。

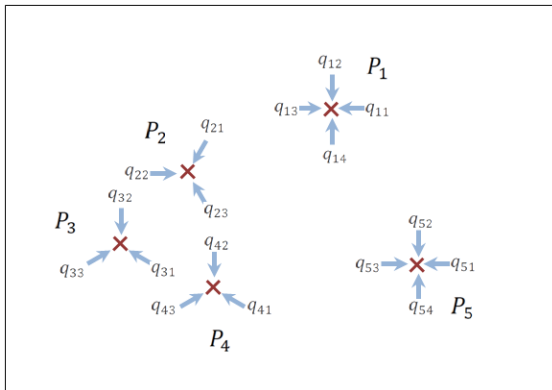


図3: 目標点と観測方向の例

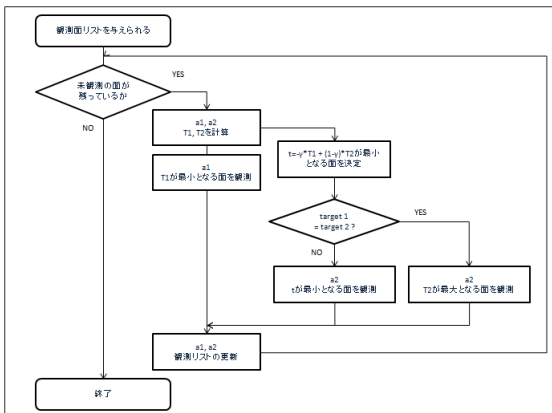


図4: 探索フローチャート

6. シミュレーション

5に述べた提案手法の有用性を検討するため、以下のシミュレーションを行った。

6.1 シミュレーション設定

シミュレーションを行うにあたり、目標点を1辺1mの立方体の箱、観測方向を各箱の側面(すなわち、1つの箱につき90degずつ4方向)とした。また、探索したい空間内に人間が立ち入れないことを前提としているため、各エージェントは、どの箱の側面も視野に入らない位置からスタートするものとする。屋内空間を想定し、空間は100m²~400m²程度の床面積としてシミュレーションを行った。

2機のUAVが同等の飛行性能を持つものとし、agent 1はagent 2に比べて処理能力の劣る機体であるとする。

箱の個数を、9個(3×3)、16個(4×4)、25個(5×5)と変化させて検証した。また、各UAVの初期位置は図5に示す2通りである。

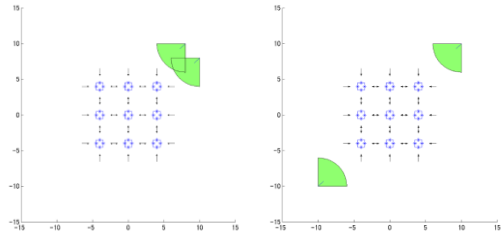


図5: position 1(左)とposition 2(右)

agent 2の行動決定におけるagent 1からの予測到達時間の考慮比率を γ (0~1)と定義する。 $\gamma = 0$ は、agent 2はagent 1からの予測到達時間を全く考慮しない、すなわち、2機が協調せずに独立に行動する場合であり、 $\gamma = 1$ は、agent 2がagent 1からの予測到達時間のみを考慮して行動する場合である。 γ を0~1まで0.1刻みに変化させてシミュレーションを行った。

6.2 シミュレーション結果

(1) 1機による全探索

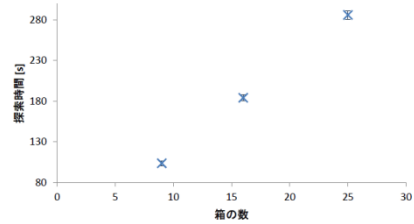


図6: 箱の数を変化させた時の探索時間の変化

(2) 2機による全探索(箱の数が9個の場合)

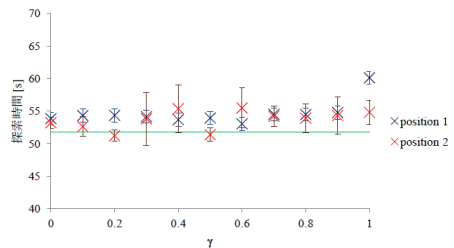


図7: 各 γ における探索時間(箱9個)

(3) 2機による全探索(箱の数が16個の場合)

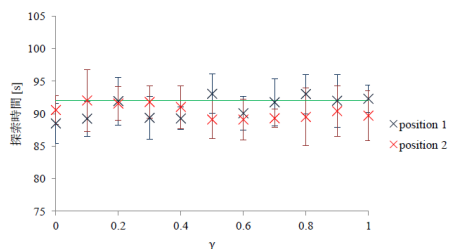


図8: 各 γ における探索時間(箱16個)

(4) 2機による全探索(箱の数が25個の場合)

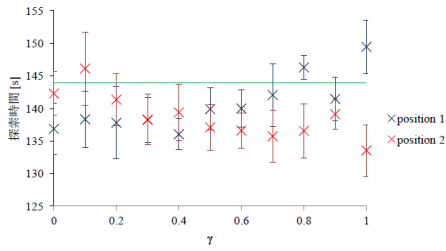


図9: 各 γ における探索時間 (箱 25 個)

6.3 評価

まず、エージェントの初期位置が position 1 の場合について考える。

目標点の数が少ない(箱 9 個)のとき、 $\gamma = 1$ で最も探索時間が長くなった。一方、目標点の数が多き場合、 γ が小さいほど探索時間が長くなる傾向にあった。目標点の数が少ない場合、2 機のエージェントのスタート位置が離れているために、agent 1 の移動によって agent 1 からの予測到達時間最大の面が大きく変化することはない。しかし、目標点の数が少ない場合、agent 1 が若干移動することにより、agent 1 からの予測到達時間最大となる面が大きく変化する。そのため、agent 2 が長距離の移動を繰り返すことになり、このような結果になったと考えられる。 $\gamma = 1$ における移動経路は図 10 の通りである。水色の実線は agent 1 の移動経路であり、紫色の実線は agent 2 の移動経路である。目標点の数が少ない場合、長距離の移動を何度も行なっていることが分かる。一方、目標点の数が多き場合、目標点の数が少ない場合に比べて長距離の移動は少ない。しかし、長距離移動が全くないわけではなく、これが探索時間最小にならない原因と考えられる。

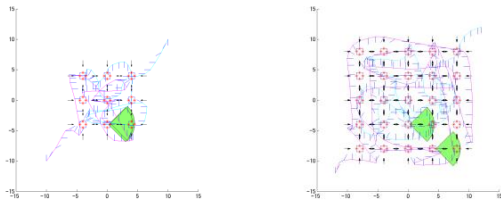


図 10: $\gamma = 1$ における移動経路 (左: 箱 9 個, 右: 箱 25 個)

また、目標点の数によらず、 $\gamma = 0$ または $\gamma = 1$ といった極端な場合には、探索時間が最小となることはなかった。 $\gamma = 1$ の場合に探索時間最小とならない理由は、agent 2 の急激な方向転換や長距離の移動が多くなり、agent 2 の探索効率が極端に下がるためだと考えられる。また、 $\gamma = 0$ の場合に探索時間最小とならない理由は、探索終了が近くなった際に、孤立点が残る場合があるためだと考えられる。

次に、エージェントの初期位置が position 2 の場合について考える。

position 2 の場合も $\gamma = 0$ または $\gamma = 1$ といった極端な場合は、探索時間が最小となることはなかった。position 1 の場合と同じ理由でこのような結果になったと考えられる。

agent 2 の行動決定において、 $0 < \gamma < 1$ の場合は、 $\gamma = 0$ や $\gamma = 1$ の場合に比べて、agent 2 が滑らかな動きになるため、全体として探索効率が上がると考えられる。また、 $\gamma = 0$ のとき、探索終了間際に孤立点を残してしまうことがあり、この時どちらのエージェントも移動距離が大きくなる。一方、 $0 < \gamma < 1$ のときは、agent 2 の行動によって agent 1 の行動範囲が制限され、探索

時間が減少したと考えられる。また、このとき、agent 1 が内部の探索を行い、agent 2 が周囲の探索を行うというように、探索領域の分担がなされていることが分かる(図 11)。

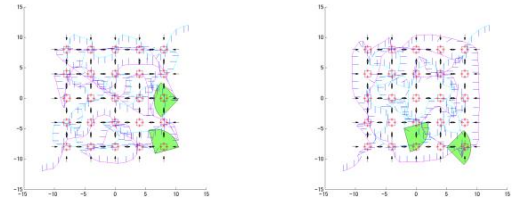


図 11: $\gamma = 0$ (左) と $\gamma = 0.4$ (右) における移動経路

また、箱 25 個の場合、position 1 では γ が大きいほど探索時間が長く、position 2 では γ が小さいほど探索時間が長い傾向にあった。position 2 において探索時間が長くなる理由は、初め 2 機の探索面が近いため、agent 2 (agent 1) にとって予測探索時間が小さい面を観測することは、agent 1 (agent 2) にとって予測到達時間が小さい面を観測することとなり、その次の移動が大きくなるためであると考えられる。position 1 において探索時間が長くなる理由は、上で述べた通りである。

3 通りの箱の配置全てで、探索時間がエージェント 1 機の場合の半分以下になるの値が存在し、探索時間の削減が可能となった。特に目標点の数が多き場合、探索時間が 1 機の場合に比べて大きく減少している。提案手法により 2 機の UAV による高効率な探索が可能となり、本研究の目的は達成された。

7. 結論

本研究で提案した探索手法により、探索時間が 1 機の場合の半分以下になった。また、目標点までの距離に基づいた評価関数を用いた計算のみで、自動的に 2 機の UAV の役割分担が行われた。提案手法では、環境の影響と、各機体の性能に左右されることなく、より短い時間で探索が可能になり、2. で述べた研究目的が達成されたとと言える。

参考文献

[Rosten 2006] E. Rosten and T. Drummond: Machine Learning for High Speed Corner Detection, *Proc. of the 9th ECCV*, 2006.
 [Lowe 2004] D. Lowe: Distinctive image features from scale invariant keypoints, *Int. J. Computer Vision*, 2004.
 [Bay 2008] H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars, and L. V. Gool: SURF: Speeded Up Robust Features, *CVIU, Vol.110, No.3*, 2008.
 [Rublee 2011] E. Rublee, V. Rabaud, K. Konolige and G. Bradski: ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF, *Proc. of ICCV*, 2011.
 [Longuet-Higgins 1981] H. C. Longuet-Higgins: A computer algorithm for reconstruction a scene from two projections, *Nature Vol. 293*, 1981.
 [山田 2009] 山田健人, 金澤靖, 金谷健一, 菅谷保之: 2画像からの3次元復元の最新アルゴリズム, 情報処理学会研究報告, 2009.
 [Hartley 2003] Richard Hartley, Andrew Zisserman: Multiple View Geometry in computer vision, 2nd ed., *CUP*, 2003.