

A*アルゴリズムを用いた無人機協調システムによる被災地探査の効率化

Efficient Exploration in Disaster-Stricken Areas Using Cooperative Unmanned Vehicles with A* Algorithm

○伯川貴哉¹, 内山賢治², 増田開²*Takaya Hakukawa¹, Kenji Uchiyama², Kai Masuda²

This paper aims to accomplish efficient exploration in a disaster-stricken area by using a cooperative system that consists of an unmanned aerial vehicle (UAV) and an unmanned ground vehicle (UGV). These unmanned vehicles have been used in different situations because of potential applications of autonomous vehicles. Cooperative unmanned vehicles have the possibility to obtain the accurate position of obstacles rapidly in a disaster-stricken area, i.e., unmanned vehicles can explore in the area with avoidance of obstacles efficiently and achieve a mission with minimum time. A* algorithm, which is one of the methods to find a path between multiple points, is used for the efficient exploration by using the cooperative system. The validity of the proposed system is verified through numerical simulations.

1. 諸元

無人航空機 (UAV: Unmanned Aerial Vehicle) や無人地上車輻 (UGV: Unmanned Ground Vehicle) は、災害時の利用増加等により、様々な研究開発が行われており、それと同時に、ポテンシャル関数誘導法^[1]や A*アルゴリズム^[2]など、多くの誘導手法も提案されてきた。ポテンシャル関数誘導法は、事前の経路設計なしで未知環境下でも柔軟に対応できるが、局所解に陥る場合や最適経路ではない可能性がある。一方、A*アルゴリズムは解が存在する場合、経由するノードの個数が最小となる軌道を必ず生成できる利点がある。しかし、未知環境下では障害物情報が不完全であるため実際に最短距離で目的地に到達させることは難しい。また、これらの UAV や UGV 等の無人機には、ペイロードの制限や探査の効率化などが問題となっている。これに対し、2 種の無人機を協調させ探査を行うことで、障害物の検出範囲を広げ問題の解決を図る研究も行われているが^[1, 2]、いずれも UAV の性能を活かし切れていない。

そこで本稿では、A*アルゴリズムを用いることで、UAV を積極的に利用する無人機の協調システムを提案し、被災地探査の効率化を図る。最後に、数値シミュレーションにより提案手法の有効性を検証する。

2. 無人機の誘導制御系

2.1 無人機の運動方程式及び制御系

本研究では、空気抗力を考慮した Quadrotor のモデル及び走行抵抗を考慮したクローラー式の UGV のモデルを使用し、それぞれの運動方程式に対して Dynamic inversion(DI)法により線形化を行い、最適レギュレータを適用する。

2.2 Super Twisting Sliding Mode Observer (STSMO)^[3]

無人機では、オブザーバにより状態量等を推定することで、ペイロードの軽減を図っている。また、被災地探査において、UAV は風外乱、UGV は走行抵抗の変化などの外乱が考えられる。これらの外乱は推定誤差を誘発し、制御性能の劣化を引き起こすため、外乱下でも良好な推定を行えるオブザーバを用いる必要がある。ここでは、風外乱や走行抵抗等の外乱にロバスト性を持つ STSMO を適用し、機体の位置情報から速度を推定する。

外乱下の UAV や UGV の運動方程式は、外乱を含む 2 次の式として以下の一般式で表される。

$$\dot{x}_1 = x_2 \quad (1)$$

$$\dot{x}_2 = f(x_1, x_2, u) + \xi(x_1, x_2, u) \quad (2)$$

$$u = U(x_1, x_2)$$

ここで、 x_1 , x_2 は状態量であり、 ξ は外乱や不確かさを表す。これに対し STSMO は次式で定義される。

$$\hat{\dot{x}}_1 = \hat{x}_2 + c_1 \sqrt{|x_1 - \hat{x}_1|} \operatorname{sgn}(x_1 - \hat{x}_1) \quad (3)$$

$$\hat{\dot{x}}_2 = f(x_1, \hat{x}_2, u) + c_2 \operatorname{sgn}(x_1 - \hat{x}_1) \quad (4)$$

c_1 , c_2 は設計パラメータを、 $\hat{\cdot}$ は推定値を示す。 $\tilde{x}_1 = x_1 - \hat{x}_1$, $\tilde{x}_2 = x_2 - \hat{x}_2$ とおくと次の誤差方程式を得る。

$$\dot{\tilde{x}}_1 = \tilde{x}_2 - c_1 \sqrt{|\tilde{x}_1|} \operatorname{sgn}(\tilde{x}_1) \quad (5)$$

$$\dot{\tilde{x}}_2 = F(x_1, \hat{x}_2, u) - c_2 \operatorname{sgn}(\tilde{x}_1) \quad (6)$$

$$F(x_1, x_2, \hat{x}_2) = f(x_1, x_2, u) - f(x_1, \hat{x}_2, u) + \xi(x_1, x_2, u) \quad (7)$$

状態量の制約を考慮すると、 f^+ を用いた次の不等式が成り立つ。

$$|F(x_1, \hat{x}_2, u)| < f^+ \quad (8)$$

ここで、設計パラメータ c_1 , c_2 は、上式及び定数 α_1 , α_2 を用いて $c_1 = \alpha_1 \sqrt{f^+}$, $c_2 = \alpha_2 f^+$ として設定する。

1 : 日大理工・院 (前)・航宇 2 : 日大理工・教員・航宇

以上の式を用いて設計された STSMO を各無人機の各軸方向の運動方程式に対して実装することで、位置情報から速度の推定が可能となる。

2.3 A*アルゴリズム^[2]

本稿では UAV 及び UGV の軌道生成手法として、A* アルゴリズムを適用する。このアルゴリズムは、式(9)の評価関数を用いて、初期位置から目的地までの最適な経路を求めるグラフ検索アルゴリズムで、対象空間における所与のノードを基準として経路を生成する手法の一つである。この手法では、経路上の障害物等の情報が既知であれば、解が存在する場合、経路するノードの個数を最小にする軌道すなわち最短距離を必ず生成できる。また、ポテンシャル関数誘導法では探査が難しい障害物の配置の場合も局所解に陥ることなく、目的地まで確実に誘導できる利点がある。

評価関数は次式で表される。

$$f(n) = g(n) + h(n) \quad (9)$$

ここで、 $g(n)$ は初期位置からノード n までの実際のコストであり、 $h(n)$ はノード n から目標位置までの推定コストである。推定コストとして本研究では、ユークリッド距離を用いる。また、各ノードに障害物が存在する場合はそのノードは計算から除外される。

2.4 協調システム

A*アルゴリズムを用いて、最適な軌道を得るには、できる限り多くの障害物情報が既知である必要がある。したがって、探査速度や機動力に優れた UAV が UGV の軌道上空を先行して飛行し、障害物情報を得ることが望ましい。そこで、本研究では下図に示す協調システムを設計し探査を行う。

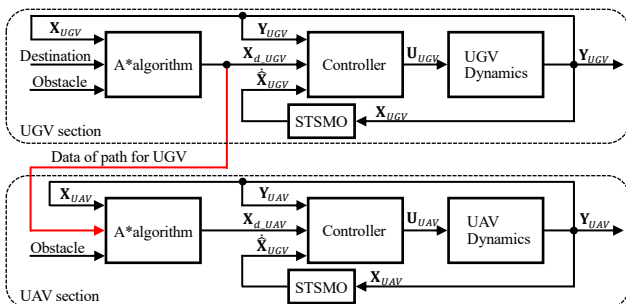


Figure 1. Block diagram of proposed cooperative system

ここで、UAV の各ノードのコストは、一度探査した際に 1 上昇させる。また、各無人機の経路の更新は障害物情報の更新時に行う。この際、UAV は UGV の新たな軌道を取得し、UGV の軌道を両端から自身のノ

ードのコストデータと照合し、コストが 2 未満の未探査エリアのノードを始点と終点として、UAV の現在地から始点と終点を經由させる誘導を行う。

3. 数値シミュレーション

本研究では、協調システム及び UGV 単機による探査のシミュレーションを行った。ここで、各無人機の障害物の検出範囲を X-Y 平面上で 2[m]とし、UGV には位置に依存する走行抵抗、UAV には風外乱を加えた。また、各入力に 0.233[s]の一次遅れの動特性を考慮した。

Figure 2 において、協調システムにおける UGV は約 1777 秒間に 88.7[m]の走行で探査を終えているが、UGV 単機では 3633 秒間で 181[m]要している。これにより、無人機協調システムにより探査時間及び距離が約 51% 短縮され、探査の効率化が確認できた。

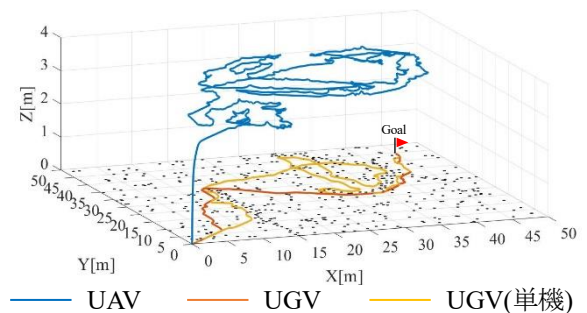


Figure 2. Trajectories of UAV and UGV

4. 結言

本研究では、UAV と UGV 対して A*アルゴリズムを用いた協調システムを提案し、被災地等における探査の効率化を図った。また、数値シミュレーションにより提案するシステムの有効性を確認した。

5. 参考文献

[1] 小湊 翔太, 内山賢治:「ポテンシャル場を用いた UAV と UGV の協調制御」, 第 25 回交通・物流部門大会講演論文集, pp.1109, 2016.

[2] Abderrahmane Lakas, Boumediene Belkhouche, Omar Benkraouda, Amin Shuaib, Hussain Jaffar Alasmawi “A Framework for a Cooperative UAV-UGV System for Path Discovery and Planning”, 13th International Conference on Innovations in Information Technology, pp.42-46, 2018.

[3] Junaid Anwar, Fahad Mumtaz Malik, Muhammad Abdullah, Asad Abbas, High Gain and Super-twisting Sliding Mode Observers for the Adaptive Control of Quadrotor UAV, 13th International Bhurban Conference on Applied Sciences & Technology, pp.145-153, 2016.