

災害時の複数種 UAV と携帯端末を用いた避難誘導システム

伊吹宏三郎[†] 上山 憲昭[†]

[†] 立命館大学 情報理工学部 情報理工学科
〒 525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

E-mail: †is0495ph@ed.ritsumei.ac.jp, ††kamiaki@fc.ritsumei.ac.jp

あらまし 世界各地で地震、津波、噴火などさまざまな自然災害が発生している。2011 年の東日本大震災では大地震による津波が甚大な被害をもたらした。そのため、地震や津波による被害を軽減するための対策が必要である。これらの災害への対策として、UAV (Unmanned Aerial Vehicle) を用いた災害支援が注目されている。UAV とスマートフォンや IoT デバイスを連携させて避難者に被害状況や避難情報を伝える方法が提案されている。しかし、これらの方式の多くは地上に設置されたセンサーデバイスから周囲の災害情報を収集している。災害時に携帯回線の基地局などの通信インフラや地上に設置されたセンサーデバイスが損傷している場合、UAV を制御するための情報が不足し、適切な災害支援を実施できない。また、用いられている UAV の多くは市販の小型 UAV であり、長時間かつ広範囲における連続した避難者探索には適さない。そこで本稿では大型 UAV と小型 UAV の複数種の UAV とスマートフォンなどの携帯端末を組み合わせた新たな避難誘導システムを提案する。提案方式では大型 UAV が小型 UAV を運搬しながら避難者の探索を実施し、避難者を発見すると撮影した空撮画像から道路が通行可能か判定し、通行可能な道路のみから避難者と避難所を結ぶ最短経路を導出する。その後、避難者が持つ携帯端末と通信可能であるならば大型 UAV から避難経路を送信する。通信不可能であれば、小型 UAV を大型 UAV から分離し、小型 UAV は避難者を避難所へと誘導する。本稿では、提案方式における UAV の動作をシミュレータ上で再現し避難完了時間を提案方式と既存方式とで比較する。そして提案方式は障害箇所がセンサー等で既知である場合とほぼ同等の避難時間を達成し、大型 UAV で避難者探索と障害箇所の探索を同時並行に行うことの有効性を確認する。また、被災地域の避難者の位置を把握してから避難者の誘導をする場合よりも避難者発見の度に避難誘導を実施する場合の方がすべての避難者の避難完了時間が短くなることを確認する。

キーワード UAV, 避難誘導

Evacuation Guidance System Using UAVs of Multiple Types at Disaster

Kozaburo IBUKI[†] and Noriaki KAMIYAMA[†]

[†] College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University
1-1-1 Noji-higashi, Kusatsu, Shiga 525-8577 JAPAN

E-mail: †is0495ph@ed.ritsumei.ac.jp, ††kamiaki@fc.ritsumei.ac.jp

Abstract Various natural calamities, including earthquakes, tsunamis, and volcanic eruptions, are being observed throughout the world. In particular, the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami resulted in extensive destruction, making the need for mitigating strategies to reduce the damage from earthquakes and tsunamis imperative. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) have gained traction as a possible remedial solution for these disasters, with proposals to utilize UAVs in conjunction with smartphones and IoT devices to transmit information concerning damage assessment and evacuation to those in need of relocation. However, many existing methods rely on obtaining disaster information from sensor devices situated on the ground, which can lead to information inadequacy and ineffectual disaster relief in case of destruction to communication infrastructure such as cell phone base stations and ground-based sensors during a calamity. Additionally, most UAVs in use are commercially available small UAVs, which are insufficient for conducting exhaustive and prolonged searches for evacuees. This paper presents a new evacuation guidance system that blends different categories of UAVs, namely, large and small UAVs, with mobile devices such as smartphones. The large UAV, carrying the small UAV, conducts evacuation searches, determining the accessibility of roads based on aerial images taken, and calculating the quickest route between evacuees and refuge sites via only accessible roads. If the mobile device of the evacuee can communicate with the UAV, the large UAV sends the evacuation route, but if communication is unavailable, the small UAV separates from the large UAV and guides the evacuee to safety. The efficacy of the proposed evacuation guidance system is tested and validated through simulations, demonstrating that it results in safe and efficient evacuation.

Key words UAV, evacuation guidance

1. はじめに

世界各地で様々な自然災害が発生している。日本においては地形、地質、気象などの自然的条件から、地震、津波の世界全体に占める災害発生割合が非常に高い [1]。2011 年の東日本大震災では、大地震による津波は甚大な被害をもたらした。そのため、地震や津波による被害を軽減するための対策が必要で

ある。これらの災害に対する対策として、UAV (Unmanned Aerial Vehicle) を用いた災害支援が注目されている [2]。近年、UAV はその性能が急速に進化し、価格も安く広く市販されるようになったため災害救助分野においてもその利用が注目されている。特に情報収集、偵察分野では、大規模災害時における広域的な被害分布、被害状況の確認や、より詳細な観察などを目的に人が簡単に立ち入ることのできない場所や、危険な場所

の情報を収集することが UAV を用いることで容易となる。大規模災害時の情報収集であれば、有人飛行機の方がはるかに飛行距離、飛行時間が長い。有人飛行機はその機体数、配備、離着陸場所などに制限がある。有人飛行機が探索しきれない箇所で UAV による情報収集を行うことで、より安全かつ効率的に災害救助活動を行うことが期待できる。

そのため UAV を用いた災害支援に関する研究は数多く行われている。[3] では、被災地域に設置された IoT デバイスから収集した災害情報をもとに UAV の動作を制御することで災害状況に合わせた効率的な救助支援を行うことが提案されている。しかし大規模災害時に基地局の損傷などにより通信インフラが遮断される場合や、火事や建造物の倒壊によって IoT デバイスが損傷している場合は正確な災害情報を収集することが困難である。既存研究の多くが地上に設置された IoT デバイスから取得した情報をもとに UAV の動作を制御することを前提としているため、大規模災害時には効率的な災害支援の実施は困難である。また、市販されているバッテリー式 UAV の飛行時可能時間は 30 分程度であり長時間の運用に適さないことも問題である。UAV を用いた災害支援分野において、大規模災害時、地上に設置された IoT デバイスの損傷にも対応可能であり、UAV のバッテリー容量による飛行時間の制約を抑えた避難誘導を長時間にわたり実施可能な避難誘導システムが必要とされている。

そこで本稿ではガソリンエンジンを搭載した大型 UAV が小型 UAV を運搬しながら避難者を探索し、避難者発見後に大型 UAV から分離された小型 UAV が避難誘導を実施するか避難者の持つ携帯端末へ避難経路を送信することで、地上に設置された IoT デバイスとの連携を必要とせず、長時間かつ広範囲に適用できる新たな避難誘導システムを提案する。また既存方式と提案方式における UAV の動作をシミュレータ上で再現し、避難完了時間、避難完了人数を測定し、比較する。そして提案方式の有効性を確認する。以後 2 節では関連研究について述べ、3 節で提案方式の詳細を述べる。そして 4 節で数値評価結果を示し、5 節で全体をまとめる。

2. 関連研究

2.1 UAV を用いた災害支援

近年、UAV を用いた災害支援に関する研究が多く行なわれている。これまでに災害時に基地局が機能しなくなった場合の UAV を利用した緊急ネットワークの確立、建造物や道路の損壊状況の調査、避難者の誘導など様々な用途で UAV が用いられている。

2.2 大型 UAV の開発

一般的に物流や測量などで使用されるバッテリー式 UAV の多くは、飛行時間が 30 分程度と短く、現場で長時間使用するには大量の交換用バッテリーを必要とする。これらの課題を解決するためにエンジンジェネレーターとバッテリーを搭載したハイブリッド型 UAV の開発が行なわれている [4] [5]。エンジンジェネレーターで発電した電力によりモーターを稼働させるため、長時間の運用を可能としている。また、用途に合わせてカメラやセンサーの搭載物を変更することも可能である。従来の小型 UAV よりもペイロード重量が多いことも特徴である。

2.3 空撮画像から地上の人物の検出

[6] では、UAV によって撮影された画像や映像からリアルタイムに人間を検出するシステムを開発し、その結果を GIS プラットフォーム上で可視化している。また、画像から算出される人物の位置推定の精度を評価し、様々な高度から撮影した画像に対する人物検出アルゴリズムの性能を評価している。収集した画像を用いて、Haar-like 特徴に基づくカスタムバイナリ分類器を訓練し、人間かそうでないかの分類を行うことで計算時間の短縮を実現している。また、高度 40m で撮影された画像からは数秒以内に人物の検出が可能である。

2.4 UAV による道路状況の判定と避難経路作成

[7] では、UAV のマルチスペクトルカメラでリアルタイムに撮影した映像、または衛星から事前にダウンロードしたマルチスペクトル画像から道路抽出と道路状況の検出を行う技術を提案している。画像から抽出した道路を用いて避難経路を作成することが可能である。また、歩行者の歩行速度を、路面の構成材料と気象情報を組み合わせて推定し、避難経路の重み付けを行なうことで人間に最適な避難経路を作成している。

2.5 大型 UAV と小型 UAV の活用

[8] では、効率的な探索タスクを完了するために、大型固定翼 UAV と小型回転翼 UAV を組み合わせた新しいタイプの探索タスク指向型 UAV システムを提案している。小型 UAV を搭載した大型 UAV は事前に計画した軌道に基づき、探索領域をもれなく探索し、探索対象発見後、大型 UAV は小型 UAV を放出する。放出された小型 UAV が低高度で探索を行うことで詳細な情報を得ることができる。シミュレーションの結果より、提案されたシステムは、探索ミッションにおいて大きな応用の可能性を持つことが示されている。

[9] では市販されている小型 UAV を用いて連結された 2 機の UAV の空中分離を可能にするシステムの開発が行なわれている。サーボモーターで構成されるウィンチシステムを取り付けることで、母機 UAV は任意の放出高度まで子機 UAV を降下させることが可能である。子機は母機の下に発生する乱気流の影響を受けない距離まで離れることで容易に空中分離が可能であることが示されている。

2.6 小型 UAV による避難者の誘導

[3] [10] [11] では UAV、センサ、携帯端末などの IoT 機器が状況に応じて協調・連携し、迅速な避難誘導を支援するエージェント型避難行動支援システムの開発を行っている。UAV を含めたセンサーや携帯端末などの IoT 機器とそれらを制御、管理するソフトウェアエージェントによって UAV と IoT 機器を自律的に連携させることで、災害状況に応じた避難誘導を可能にしている。UAV エージェントが危険箇所や二次災害を回避する経路を探索し、避難計画を作成する。避難所までの飛行経路に経由地を設定し、災害状況に基づいて避難経路を決定する。火災などの二次災害までの距離、津波の高さ、時間などに応じて避難経路を作成する。避難経路を決定すると、避難誘導標識を備えた UAV が自律飛行して避難誘導を実行する。

2.7 携帯端末への災害情報提供

[12] では自然災害による移動体通信インフラの不測の障害時に機能する災害時避難誘導について考察している。携帯電話間の DTN 通信を利用し、エビデミックルーティングにより災害情報を共有することで、通行不能な道路のリアルタイム情報を基に迅速に避難経路を提案できるという意味で、災害に強い誘導が期待される。道路地図グラフを用いた数値シミュレーションによる性能評価により、DTN 通信を用いることで、平均避難時間が大幅に短縮されることを示している。

2.8 UAV と地上の携帯端末間の通信

[13] ではリアルタイムの情報通信システムとして、災害情報を保持した UAV から被災者に災害情報を一斉送信するメッセージフェリーを用いた災害情報通信システムを提案している。このシステムでは、メッセージフェリーの高度が 20, 30, 40m、送信データサイズが 0.5, 1, 3M バイトの場合の地上端末へのノード配信率をシミュレーションで評価した。その結果、すべての地上端末が静止している場合、どの飛行高度とデータサイズの組み合わせでもデータは正常に配信され、信頼性の高い情報配信が可能であることが確認された。

3. 提案方式

3.1 災害時の UAV 利用に関する課題

災害時に UAV と携帯端末を利用した避難誘導支援システムについては様々な研究が行われているがいくつかの課題が存在する。[14] では、UAV を利用した避難誘導を行っている。AR マーカーを避難者に身につけさせることで避難者の位置情報を正確に把握することができる。しかし、避難誘導支援に AR マーカーの利用を前提としているため、AR マーカーを身につけていない避難者を誘導することは不可能である。また、利用が想定されている AR マーカーの普及率が低いことも問題である。

[3][10][11] では、街中に設置された IoT 機器から収集した災害情報をもとに UAV と IoT 機器が互いに自律的に連携することで火災や家屋の倒壊による通行止めなどの二次災害を考慮した避難誘導を可能にするシステムが開発されている。しかし、災害情報の収集を地上に設置された IoT 機器に依存しているため、災害時に機器の損傷が発生する場合はシステムの運用が困難になる。また、両者において利用が想定されている市販のバッテリー式小型 UAV のバッテリー容量は小さいため、最大飛行可能時間は 30 分程度である。避難者の搜索や UAV 間での情報共有のために電力を消費するため実際の飛行可能時間はさらに短くなる。小型 UAV が避難者の搜索や被災地域の情報収集など複数の役割を担う場合、長時間かつ広範囲における連続的な運用は困難である。UAV を用いた災害支援分野では、大規模災害時に地上に設置されたセンサー機器が損傷している場合でも運用可能であり、かつ、UAV のバッテリー容量による飛行時間の制約の影響を抑えた避難誘導システムが必要とされている。

3.2 大型 UAV と小型 UAV と携帯端末を用いた避難誘導システム

上記の課題を解決するために大型回転翼 UAV と小型回転翼 UAV の 2 種類の UAV と避難者の持つスマートフォンなどの携帯端末を組み合わせる被災地域内の避難者の搜索と避難誘導を行うシステムを提案する。提案方式では大型 UAV が小型 UAV を搭載した状態で被災地の上空をあらかじめ設定された探索飛行経路に沿って飛行し、避難者の搜索を行う。飛行中に撮影した地表の画像をもとに地上の災害状況を把握することで火災や建造物の倒壊などで通行できない箇所を考慮した安全な避難経路を作成する。避難者発見時に大型 UAV と避難者の持つスマートフォンなどの携帯端末と通信可能であればその端末に作成した避難経路を送信する。端末と通信できない場合は大型 UAV から小型 UAV を放出し、小型 UAV による避難者の誘導を行う。ガソリンエンジンを搭載した大型 UAV [4][5] を用いることで小型 UAV よりも飛行時間の増大が見込まれるため、より広範囲における連続した避難者の搜索が可能である。また、地表の情報の取得を UAV で撮影した画像から行うため地上に設置されていたセンサー機器が損傷している場合においても適切な避難誘導が可能である。

3.3 前提条件

提案方式を実現するうえで技術的条件がいくつか存在する

- (1) 大型 UAV は小型 UAV を搭載した状態で自律飛行
- (2) 大型 UAV と小型 UAV は空中で分離
- (3) 飛行中に撮影した画像から人物の検出
- (4) 飛行中に撮影した画像から路面の災害状況の取得
- (5) 取得した災害状況をもとに避難経路の導出
- (6) 小型 UAV による避難者の誘導
- (7) UAV と携帯端末間での通信

これらの技術的条件は既存の研究結果から解決可能であることが示されている [6][7][8][9][3][10][11]。提案方式はこれらの技術的条件が解決可能であるという前提の下で動作するものと

する。

3.4 提案方式の動作

以下に提案方式の各動作のステップを示す。

- (1) 被災地全域を漏れなく探索する大型 UAV の探索飛行経路を作成
 - (2) 大型 UAV は小型 UAV を搭載し、救援拠点 (BS: base station) から離陸
 - (3) 大型 UAV は事前に作成した探索飛行経路に沿って被災地上空を飛行
 - (4) 大型 UAV は飛行中に撮影した画像から道路を抽出し、火災や家屋の倒壊によって通行不可能な場所を認識して記録
 - (5) 大型 UAV は避難者発見時、通行可能な道路のみから避難者の位置と避難所を結ぶ最短経路を導出するが、避難所までの安全な避難経路が導出できない場合は避難経路が導出できるまで探索飛行経路に沿って飛行を継続
 - (6) 大型 UAV は一定周期で避難経路の導出を試み、避難経路の導出が可能であれば避難者上空へ移動
 - (7) 大型 UAV は避難者上空へ移動後、避難者の持つ携帯端末と通信可能であればその端末に避難経路を送信し、通信不可能であれば大型 UAV から小型 UAV を分離
 - (8) 避難者自身による避難、もしくは小型 UAV による避難誘導を開始
 - (9) 大型 UAV が小型 UAV を搭載したままの場合は探索飛行経路に戻り、次の避難者の搜索に向かうが、小型 UAV を分離した場合は BS へ帰還し、燃料補充と小型 UAV を再搭載し、探索再開地点へ移動し避難者の搜索を再開
- 以上の動作をすべての避難者が避難所へ避難完了するまで繰り返す。なお、飛行途中で大型 UAV の燃料が一定量を下回った場合は BS へ帰還し、燃料の補充を行い、避難者の搜索を行う。

4. 性能評価

4.1 評価条件

提案方式を計算機シミュレーションにより評価する。本研究では大型 UAV と小型 UAV の動作を計算機シミュレーションで再現し、提案方式の有効性を確認する。現実的な避難誘導を想定して OpenStreetMap (以下、OSM) が提供するオープン地図データを利用する。OSM データは XML フォーマットによって表現され、ノード、ウェイ、リレーションの 3 つの基本要素から構成される。ノードは緯度と経度により、地上にある特定の地点を定義し、一部のノードは交差点を意味する。ウェイは、ノードの順序ある集合で、連続した線分を定義する。一部のウェイは主要道路と細街路などを区別する道路種別のタグを含む。ウェイの一部が単路として扱われ、ノードの一部が交差点として扱われる。リレーションは、進行方向制限などの要素間の論理的・地理的な関係を定義する。BS と避難所として滋賀県草津市の野村公園 YMIT アリーナを想定し、避難所を中心とした 2km 四方の正方領域を被災地域とする。上記の地域の地図データを OSM から取得し、交差点を表すノード、道路を表すウェイから構成される道路ネットワークグラフ G を作成する。このグラフ G からランダムに複数個のノードを削除し、被災後道路ネットワーク G' を作成する。

図 1 (a) に想定被災地域、図 1(b) に道路ネットワーク G を示す。また図 2(a) に被災後道路ネットワーク G' を示す。任意のノードとそれらに接続されているウェイを削除することで火災や家屋の倒壊によって通行不可能な道路を設定する。避難所の周囲の赤色の 9 個のノードを避難所ノードと定義する。避難者は任意のノードから避難所ノードのいずれかに到達可能であるならば避難可能であるものとする。避難者配置の例を図 2 (b) に示す。図中の黄色のノードが避難者の初期位置である。避難者の初期位置を被災後道路ネットワーク G' のノードから無作為に選択する。被災地域を 4 つの等面積の領域に分割し、

各領域内の避難者数が等しくなるように選択する。ただし、本稿では提案方式の有効性を確認するため避難者が避難所へ避難できない場合を排除する。ノードの削除によって孤立したノード群は避難者と避難所を結ぶ避難経路が構築できないため、避難者の初期配置候補から除外する。

大型 UAV は離陸後、あらかじめ設定された探索飛行経路に沿って飛行し、避難者の探索を行うが、探索飛行経路は被災地域全域の地表を漏れなく撮影可能な飛行経路とする。大型 UAV の光学カメラの視野角を 90 度とすると、上空からの地表の撮影可能面積は高度の 2 倍の横幅距離と縦幅距離の積となる。大型 UAV の飛行高度が 50m の場合、横と縦の幅距離は 100m となる。図 3(a) に大型 UAV の視野角、図 3(b) に大型 UAV の地表の認識有効範囲を示す。シミュレーションでは計算処理の簡略化のために大型 UAV を中心とした半径 50m を撮影可能範囲とし、半径 40m を認識有効範囲とする。

図 4 に 4 台の大型 UAV の探索飛行経路、図 5 に拡大図を示す。各 UAV は被災地域を分割した 1000m 四方の担当領域を受け持ち、BS を中心に探索範囲が外側へ拡大していく探索飛行経路にしたがって飛行する。被災地域を漏れなく探索するために探索飛行経路の間隔を 50 m に設定する。

飛行中に認識有効範囲内にノードを捉えた場合、そのノードを発見済みノードとする。避難者が存在するノードを 3 秒間連続で認識した場合、避難者を発見したと判定し、避難者上空へ移動する。その後、避難者の携帯端末との通信可能状態に応じて避難経路の送信、もしくは小型 UAV による避難誘導を行う。避難者は大型 UAV に発見されるまで初期配置されたノードから移動しないものとし、避難をする際は、道路ネットワークの各ノードを結ぶウェイ上のみを移動する。大型 UAV の探索経路飛行時の飛行速度は時速 20km、小型 UAV 再搭載のために BS へ帰還する際の飛行速度は時速 60km とする。小型 UAV と避難者の避難時の移動速度は時速 4km とする。実際の避難では避難者が小型 UAV を追いかけるかたちで移動するが、シミュレーションでは処理の簡略化のため小型 UAV と避難者は位置情報を共有し同時に移動するものとする。

配置する避難者の数を E 、道路ネットワークから削除するノードの個数を D 、通信可能な携帯端末を所持する避難者の割合を P とする。避難者数を $E = 32$ とし、ノード削除数 D が 70, 100, 130 の各々の場合における削除パターンを 10 通り、避難者の配置パターンを 10 通り作成し、それぞれのパターンの組み合わせ、計 100 通りの配置パターンにおいて避難者の避難完了時間を測定する。ただし、避難者の初期位置は 10 通りのノード削除パターンにおいて各被災後道路ネットワークに共通するノードから選択する。

提案方式の性能評価を行うために UAV の動作方式を 3 つ定義する。災害時に地上のセンサー機器が損傷している場合において避難者の探索と並行して地上の道路の損傷状況を撮影した画像から判断し、避難者を発見するたびに避難者の誘導を実施する方式 X(提案方式)に加え、地上のセンサー機器の損傷が無く、地上の道路の損傷状況が避難者の探索開始前に把握可能であり、避難者を発見するたびに避難者の誘導を実施する方式 Y と、地上のセンサー機器が損傷している場合において、被災地域域のすべての領域を漏れなく探索し、避難者の位置と通行不可箇所を特定した後、順に避難誘導を実施する方式 Z との性能を比較する。

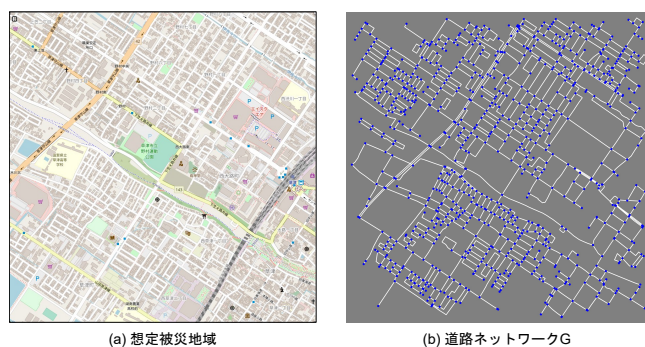


図 1 想定被災地域と道路ネットワーク

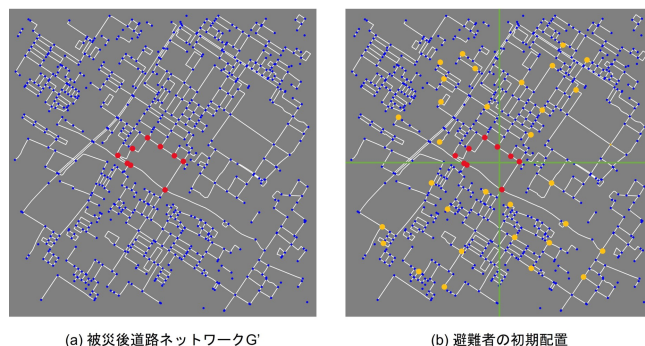


図 2 被災後ネットワークと避難者配置

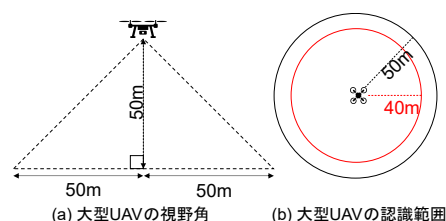


図 3 大型 UAV の視野角と認識範囲

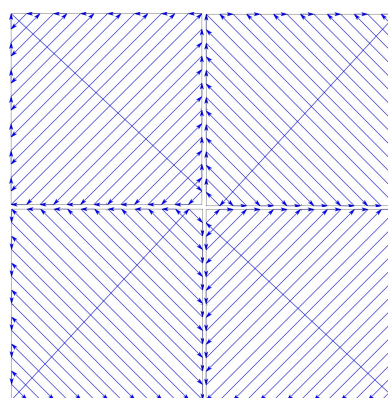


図 4 大型 UAV の探索飛行経路

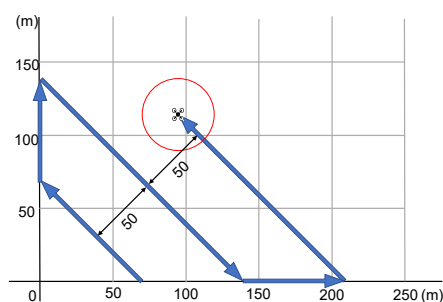


図 5 大型 UAV の探索飛行経路 (拡大図)

4.2 避難完了時間の累積分布

図6 図8に、 $D = 70$ における $P = 0$, $P = 50$, $P = 100$ での避難完了時間の累積分布を示す。いずれの場合も避難完了時間は、方式Y、方式X、方式Zの順で短くなる。方式Yでは避難者発見時にすべてのノードが発見済みであるため方式Xと比較して避難者発見時に避難経路が導出できない場合が少ないため避難完了時間が短くなる。方式Zは被災地域の全域の探索を完了した後、避難誘導を開始するため、避難完了時間が5,000秒以降に分布する。 P が増加するとグラフは左側へずれ、避難完了時間が短くなる。これは、避難者発見時に避難者の持つ携帯端末と通信する確率が増加し、分離した小型 UAV 再搭載のためにBSへ帰還する回数が減少したためである。

図9 図11に、 $D = 100$ における避難完了時間の累積分布を同様に示す。 $D = 70$ の場合と同様、いずれの場合も避難完了時間は、方式Y、方式X、方式Zの順で短くなる。 P が増加するとグラフは左側へずれ、避難完了時間が短くなる。

図12 図14に、 $D = 130$ における避難完了時間の累積分布を同様に示す。この場合も $D = 70$, $D = 100$ の場合と同様に、避難完了時間は、方式Y、方式X、方式Zの順で短くなる。 P が増加するとグラフは左側へずれ、避難完了時間が短くなる。

D が増加するほど避難完了時間の分布範囲が小さくなっているが、これは D が増加するにつれ避難所から遠いノードに避難者が配置される確率が減少するためであり、 D の増加は避難完了時間の短縮には影響しない。いずれの D においても方式Y、方式X、方式Zの順で避難完了時間が短くなり、通信可能な携帯端末を持つ避難者の割合が増加すると全体の避難完了時間は短くなることが確認できる。またいずれの D においても、提案方式は障害箇所がセンサー等で既知である場合(方式Y)と、ほぼ同等の避難時間を達成しており、提案方式において、大型UAVで避難者探索と障害箇所の探索を同時並行に行うことの有効性が確認できる。

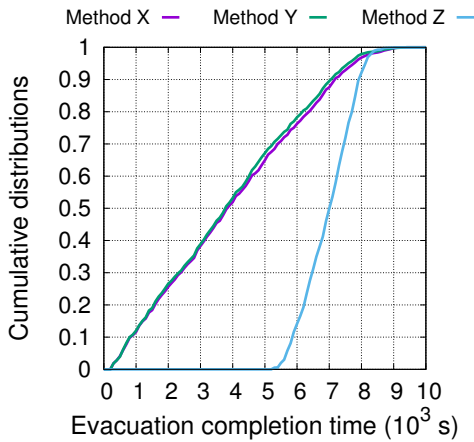


図6 $D = 70$ における避難完了時間の累積分布 $P = 0$

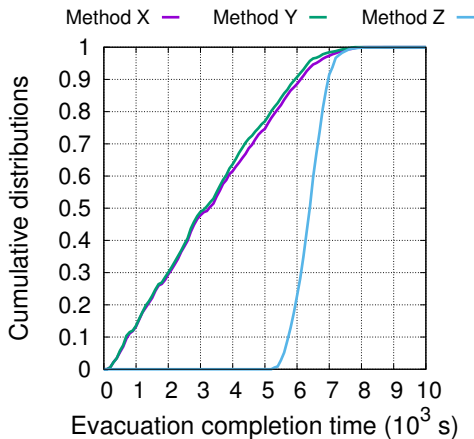


図7 $D = 70$ における避難完了時間の累積分布 $P = 50$

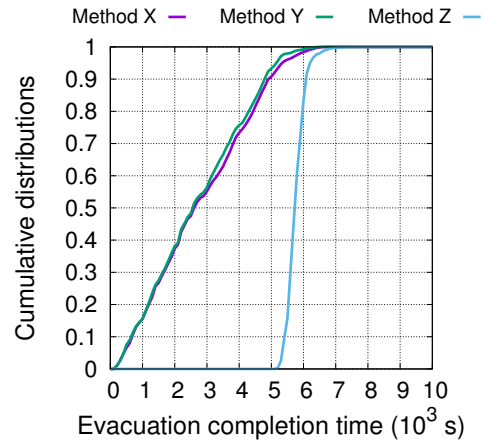


図8 $D = 70$ における避難完了時間の累積分布 $P = 100$

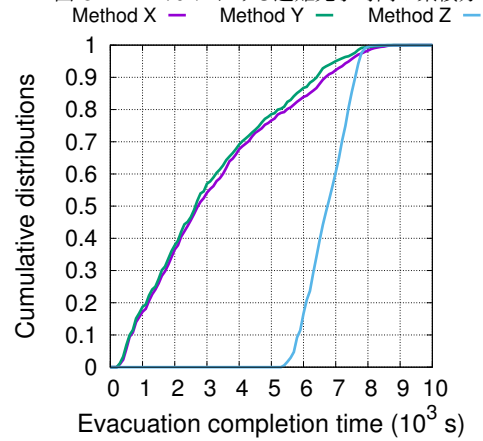


図9 $D = 100$ における避難完了時間の累積分布 $P = 0$

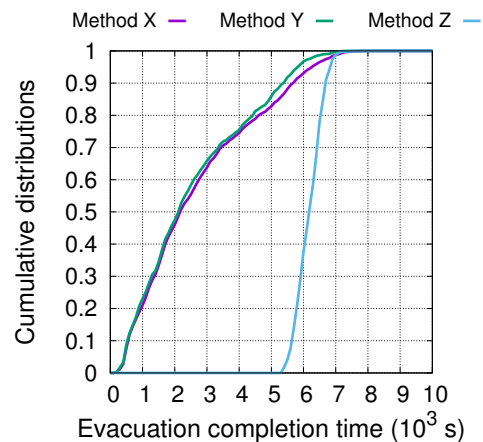


図10 $D = 100$ における避難完了時間の累積分布 $P = 50$

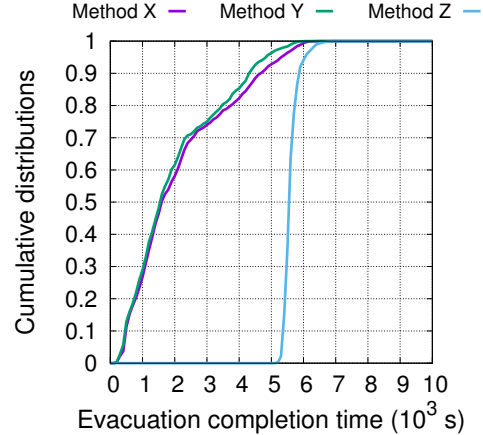


図11 $D = 100$ における避難完了時間の累積分布 $P = 100$

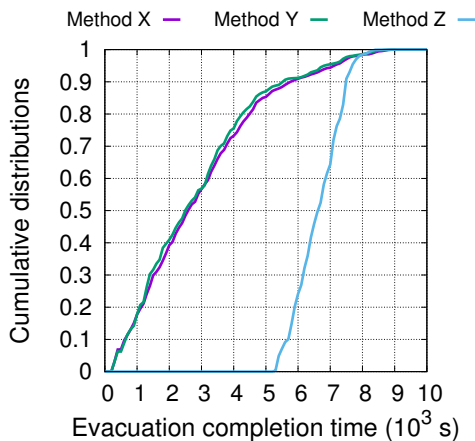


図 12 $D = 130$ における避難完了時間の累積分布 $P = 0$

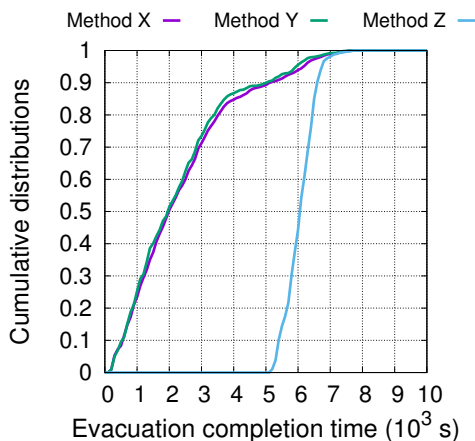


図 13 $D = 130$ における避難完了時間の累積分布 $P = 50$

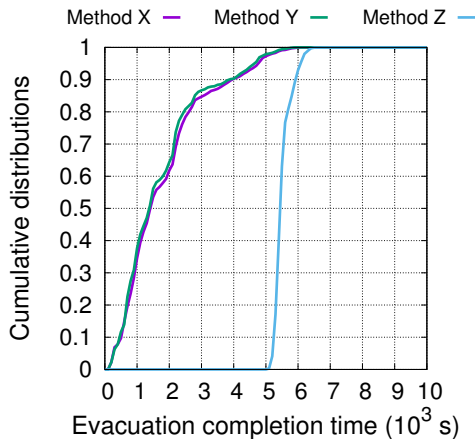


図 14 $D = 130$ における避難完了時間の累積分布 $P = 100$

5. ま と め

大規模災害時における広域的な被害分布、被害状況の把握、臨時の移動無線基地局としてワイヤレスネットワークの構築、避難者の避難所への誘導などを目的に UAV の活用が注目されている。しかし、市販されているバッテリー式 UAV の多くはバッテリー容量が小さいため長時間の運用は困難である。また災害時の情報収集を地上にあらかじめ設置したセンサー機器に依存している場合、センサー機器の損傷が発生すると適切な災害支援を行うことが困難になる。そこで本稿では、大型 UAV と小型 UAV の複数種の UAV と避難者の持つスマートフォンなどの携帯端末を組み合わせた避難誘導方式を提案した。提案

方式のメリットを以下にまとめる。

- ガソリンエンジンを搭載した大型 UAV を用いることで従来の UAV を用いた方式では不可能であった長時間かつ広範囲における避難誘導を実施可能である。
- 既存研究で提案されている方式では地上の災害情報をあらかじめ設置されているセンサー機器から収集する場合が多く、一方、提案方式は地上の道路の損傷状況を撮影した画像、映像から判断するため地上のセンサー機器が損傷している場合でも運用可能である。地上のセンサー機器から情報が得られない場合でもセンサー機器が使用可能な場合と同程度の時間ですべての避難者の避難誘導を完了させることが可能である。
- 提案方式では、避難者を発見するたびに避難経路の送信もしくは小型 UAV による避難誘導を実施する。被災地域の探索を完了し、避難者の位置と通行不可箇所を把握したうえで避難誘導を開始する場合と比較すると、避難者発見の度に避難誘導を実施する提案方式の方が、すべての避難者の避難完了時間は短くなる。

今後は BS と避難所の数、位置を変更した場合における提案方式の性能評価を行う予定である。

謝辞 本研究成果は、JSPS 科研費 21H03436 の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表す。

文 献

- [1] 内閣府 防災情報, <https://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/h18/bousai2006/html/honmon/hm01010101.htm>
- [2] M. Erdelj and E. Natalizio, "UAV-assisted disaster management: Applications and open issues," International Conference on Computing, Networking and Communications., 2016.
- [3] K. Katayama, H. Takahashi, N. Yokota, K. Sugiyasu, G. Kitagata and T. Kinoshita, "An Effective Multi-UAVs-Based Evacuation Guidance Support for Disaster Risk Reduction," IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing 2019.
- [4] Aero Range Quad, <https://g-lab.com/products/aerorangequad/>
- [5] 曾澤高圧コンクリート AZ-1000 スペックカタログ, <https://www.aaa-llc.jp/az-1000-catalog>
- [6] N. Bhattarai, T. Nakamura and C. Mozumder, "Real Time Human Detection and Localization Using Consumer Grade Camera and Commercial UAV," Preprints, 2018.
- [7] C. Liu and T. Szirányi, "Road Condition Detection and Emergency Rescue Recognition Using On-Board UAV in the Wilderness," Remote Sensing, Vol. 14, No. 17, Sep. 2022.
- [8] W. Cai, Z. Ye, J. Zeng, "Research on the Design and Path Planning of Child-mother UAV System for Search Task," Journal of Physics, Vol. 1820. No. 1, IOP Publishing, 2021.
- [9] N. Nauwynck, H. Balta, G. D. Cubber and H. Sahli, "In-flight launch of unmanned aerial vehicles," International Symposium on Measurement and Control in Robotics 2018.
- [10] K. Katayama, H. Takahashi, N. Yokota and K. Sugiyasu, "Evacuation Guide Supporting System using UAV for Coastal Area," IEEE 3rd Global Conference on Life Sciences and Technologies., 2021
- [11] K. Katayama, H. Takahashi, N. Yokota, K. Sugiyasu, and T. Kinoshita, "Cooperation Scheme of Multi-UAVs for Evacuation Guidance Support," IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics 2018
- [12] A. Fujihara and Hiroyoshi Miwa, "Real-time Disaster Evacuation Guidance Using Opportunistic Communications", IEEE/IPSJ 12th International Symposium on Applications and the Internet 2012.
- [13] R. Sato, O. Oyakhire and K. Gyoda, "Performance evaluation of Disaster Information System using Message Ferry", ITC-CSCC 2019.
- [14] M. Suzuki, K. Hama and T. Nakamura, "Evacuation Support System Used by Cooperation Drone", Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers, vol. 56, no. 1, pp. 24-30, Feb. 2020.