

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11767

研究課題名（和文）災害時における自律飛行ドローンの協調動作に基づく情報収集・伝達システムの構築

研究課題名（英文）Construction of Information collection and diffusion system based on collaborative control among autonomous drones in disaster sites

研究代表者

神崎 映光 (Kanzaki, Akimitsu)

島根大学・学術研究院理工学系・教授

研究者番号：80403038

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：大規模災害による被害を最小限に抑え、救助活動および被災者支援を円滑に行うためには、発災直後における迅速な情報収集および伝達が重要である。

本研究では、さまざまな利用者が保有する自律飛行ドローンを積極的に活用し、被災地域における情報収集および伝達を効率的に行うシステムの構築を目的とする。そのために、ドローン間の直接的な無線通信を用いた情報共有により、複数のドローンを協調動作させる制御技術を設計した。また、設計した技術の一部を動作させる試作システムを実装した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、大規模災害発生時において、さまざまな利用者の保有する自律飛行ドローンを積極的に活用し、これらの協調動作によって被災地域の情報収集および伝達を効率化する点に特色がある。事前予測が難しい大規模災害の発災直後においては、個々のドローン保有者が自身の保有するドローンを非同期に稼働させることが想定される。そのため、利用可能なドローンの台数や位置等に関する情報が事前に得られない状況下において、効率の良い情報収集および伝達を行う必要がある。これらを実現するシステムを構築する本研究は、学術的にみて非常に独創的であり、また災害大国である我が国の重要な課題を解決する社会的意義の高いものである。

研究成果の概要（英文）：In a situation of a heavy disaster, rapid information collection and dissemination immediately after the disaster are important.

In this study, we aim to construct a system that efficiently collects and disseminates information in disaster areas by utilizing autonomous drones owned by various users. To achieve this, we have designed methods that enable multiple drones to cooperate using information sharing through direct wireless communication between drones. In addition, we have implemented a prototype system that performs a part of our designed methods.

研究分野：センサネットワーク

キーワード：ドローン 無線通信 協調動作 情報収集・伝達 災害時対応

1. 研究開始当初の背景

2018年の北海道胆振東部地震、2016年の熊本地震をはじめとして、我が国は大規模震災により幾度も甚大な被害を受けてきた。また、2019年の台風19号、2018年の西日本豪雨をはじめ、大規模な水害もここ数年頻繁に発生しており、これら大規模災害発生時の人命救助や復興支援のための体制整備は喫緊の課題となっている。

大規模災害における被害を最小限に抑え、救助活動および被災者支援を円滑に行うためには、発災直後における初動対応として、迅速な情報収集および伝達が重要である。そのための手段として、小型の無人飛行体であるドローンの利活用が注目を集めており、内閣府の第5期科学技術基本計画において提唱されている Society 5.0 においても、その重要性が指摘されている[]。また、2019年台風19号による被害情報把握のために、ドローンによる動画撮影が行われ、国土地理院によって公開される[]など、災害対応として実際にドローンが利活用されつつある。

上記のケース等で利用されるドローンは、遠隔制御によって被災地域内を飛行しながら写真や動画の撮影を行うことが一般的である。近年では、遠隔制御なしに自律的に飛行可能なドローンの開発も進んでおり、これら自律飛行ドローンに、センサをはじめとしたさまざまな機器を搭載することで、以下のような応用も実現可能になるものと期待される。

- **被災状況の自動収集**：大規模災害発災直後に、自治体が市庁舎等の拠点に設置しておいた自律飛行ドローンを稼働させる。ドローンは、被災地域を自律的に巡回しながら、カメラや赤外線センサ等を用いて被災状況に関するデータを取得し、拠点に持ち帰る。このデータを用いることで、拠点において被災地域の被害状況を詳細に解析し、救助活動等の作業を円滑に進めるための情報整理が可能となる。
- **被災者への情報伝達**：発災直後に稼働した自律飛行ドローンが、被災地域を巡回しながら、被災者がもつスマートフォン等、近距離無線による直接通信可能な端末に向けて、近隣の避難所や、避難所までの安全な経路に関する情報を配信する。これにより、携帯電話網等の通信インフラが利用不可能な状況においても、被災者にとって有用な情報の伝達を可能にする。

ここで、ドローンは、災害時に限らず、工場設備の点検や物流、農業をはじめとして、幅広い応用が期待されており、今後はさまざまな業種の組織がドローンを保有するものと考えられる。また、近年のドローンの小型化・低価格化により、企業や自治体といった組織だけでなく、個人までもがドローンを保有するようになりつつある。大規模災害時において、これらのさまざまな利用者が保有するドローンを有効に活用できれば、被災地域における情報収集および伝達を劇的に効率化できる。ただし、利用者の異なるドローンを有効に利活用するためには、個々のドローンが独立して動作するのではなく、互いに情報を共有しながら協調的に動作することが求められる。

2. 研究の目的

本研究では、大規模災害発災直後において、さまざまな利用者の保有する自律飛行ドローンを積極的に利活用し、被災地における情報収集および伝達を効率的に行うシステムの構築を目指す。

事前予測が難しい大規模災害の発災直後においては、個々のドローン保有者は、自身の保有するドローンを非同期に稼働させることになるものと考えられる。また、個々のドローンの性能が異なり、観測範囲や記憶容量、電力容量などが異なるドローンが混在して動作することになる。そのため、利用可能なドローンの台数や位置、性能に関する情報が事前に得られず、また利用可能なドローンが時間の経過に伴い変化する状況下において、被災地域における情報収集および伝達を効率良く行う必要がある。

このような環境下において、被災地域における効率的な情報収集および伝達を実現するためには、個々のドローンが他のドローンの存在を検知し、検知したドローンと相互に情報を共有しながら、自身の動作を自律的に制御する機能を有する必要がある。また、システムの構築にあたっては、自律飛行が可能であり、かつ上記の機能を組み込んだドローンを開発する必要がある。さらに、動作検証や実証実験を行うために、情報収集拠点として機能する基地局や、情報伝達の対象となる被災者端末を実装する必要がある。

以上を考慮して、本研究では、以下に示す2つの課題について研究を推進する。

(1) ドローンの動作制御技術の設計

大規模災害発生時は、発災後に起こる建物の倒壊などによって、被災地域内の各地点における状況が時々刻々と変化する。また、発災後の被災者の移動により、情報伝達対象となる端末の位置も時々刻々と変化する。このような環境で効率的な情報収集および伝達を実現するためには、対象となる被災地域全体に対し、ドローンが繰り返し頻繁に巡回する必要がある。

また、複数のドローンが利用可能な状況において、短期間に複数のドローンが同じ地点を巡回すると、特定の地点が頻繁に探索される一方で、別の地点が長期に渡って探索されなくなり、結

果として、状況把握や被災者への情報伝達が大きく遅れる地点が生じてしまう。このような不公平を削減するためには、互いに接近したドローン間において情報共有を行い、共有した情報に基づいて、それぞれの巡回経路を調整する必要がある。

一方、市庁舎をはじめとした拠点にデータを収集する場合、互いに接近したドローン間において、過去の巡回において取得したデータを共有することで、より多くのデータが収集できる。さらに、性能の異なるドローンが混在する環境において、互いに接近したドローン間において性能に関する情報も共有することで、残電力の多いドローンが広範囲の巡回を担当するなど、個々のドローンの性能に応じた動作制御が可能になる。

以上を考慮して、個々のドローンの移動経路制御、ドローン間の情報共有、および共有した情報に基づく移動経路の再設定方法について考案する。

(2) 試作システムの構築

上記で考案した手法に基づき動作するドローンによる情報収集および伝達を行うシステムを試作する。

ここでは、自律的に移動経路を設定し、かつ他のドローンとの無線通信が可能なドローンを実装する必要がある。本研究では、ドローンの制御部分を自作可能なフライトコントローラを導入し、上記の動作制御機能を備えたドローンを実装する。フライトコントローラとしては、オープンソースプロジェクトである PX4/APM (ArduPilot Mega) によりプログラムが記述できる Pixhawk 等を用いる。これらのコントローラは、自律飛行のための移動経路制御が可能であり、また外部デバイスと接続可能なインタフェースを備えているため、これらを用いることで、自律的な移動制御を行いつつ、他ドローンとの情報共有が可能なドローンを実装できる。また、ドローン間の情報共有や被災者端末への情報配信を行うための無線通信には、Wi-Fi をはじめとして、被災者端末として想定されるスマートフォンやタブレット端末等においても利用可能な通信規格を用いる。

3. 研究の方法

本研究では、2章で述べた2つの課題それぞれに対し、段階的に研究を推進する。まず「課題(1)：ドローンの動作制御技術の設計」として、ドローン間の無線通信を用いて、各ドローンが取得したデータ、および各ドローンの性能に関する情報を共有し、これに基づき個々のドローンが自身の移動経路を自律的に制御する手法を考案し、シミュレーション実験によってその性能を評価する。その後、課題1で考案した手法の性能改善について検討しながら、「課題2：試作システムの構築」として、考案した手法に基づき動作するドローンを試作し、実環境上での動作確認および有用性検証を行う。

4. 研究成果

(1) 課題1：ドローンの動作制御技術の設計

各ドローンにおいて、被災地域内の各地点がどの程度頻繁に探索されているかを示す情報を管理し、互いに接近したセンサ端末間においてこの情報を共有することで、複数のセンサ端末によって被災地域全体を効率よく巡回する手法を考案した。

探索頻度を示す指標

提案手法では、図1に示すように、端末に搭載されたセンサの観測範囲をもとに被災地域を複数のセルに分割し、セルごとに探索頻度を示す指標を管理する。この指標として、探索された時点で最大値である1.0となり、探索されていない間は時間経過に伴って減衰していくカバレッジという値を用いる。各ドローンは、図2に示すように、各セルのカバレッジに関する情報を、カバレッジマップという情報として管理する。なお、各ドローンは、自身が動作を開始した時点では自身以外のドローンが動作しているかどうか不明であるため、自身が位置しているセルのカバレッジを1.0、その他のすべてのセルのカバレッジを0.0として、自身のカバレッジマップを初期化する。

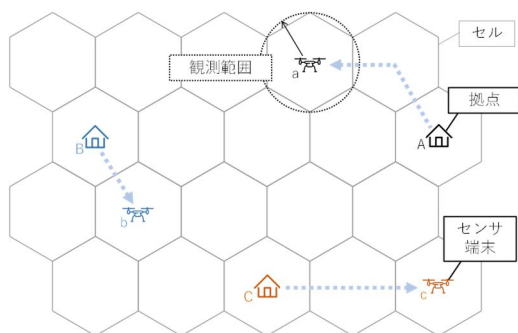


図1：セルによる被災地域の分割

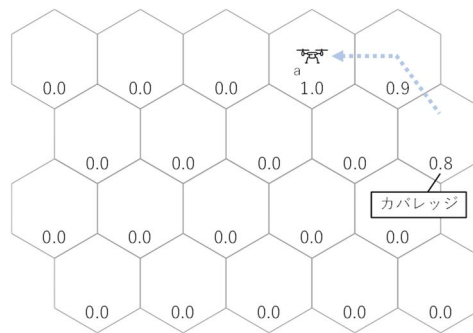


図2：カバレッジマップ

ドローンの移動戦略

各ドローンは、自身の管理するカバレッジマップを参照し、カバレッジの小さい、すなわち長期間に渡って探索されていないと認識しているセルを優先的に探索するよう、自身の移動先を決定する。

また、データの持ち帰りや自身の充電のために、自身を稼働させた拠点に適切なタイミングで帰還できるよう、以下の動作制御も導入する。

データの持ち帰りを考慮した制御：予め定められた周期に基づいて定期的に拠点に帰還できるよう、データ持ち帰り時刻までの残り時間と、現在地から拠点までの移動に要する時間との差が小さくなった場合、拠点に近づく方向にのみ移動するよう、移動戦略を変更する。

自身の充電を考慮した制御：自身の残余電力と、現在地から拠点までの移動に要する電力との差が小さくなった場合、拠点に近づく方向にのみ移動するよう、移動戦略を変更する。

無線通信による情報共有

複数のドローンが互いに無線通信可能となった場合、ドローン間において互いのもつカバレッジマップを共有する。このとき、各セルにおいて、両者の把握しているカバレッジのうち高い方の値を当該セルのカバレッジに更新することで、両ドローンは、相手のドローンが最近探索したセルを認識できる。そのため、情報共有を終えた後に上記の戦略によって移動先を決定することで、他のドローンが最近探索したセルに冗長に移動することを防ぐことができる。

加えて、各ドローンが保有しているデータについても互いに共有する。このとき、各セルにおいて、取得してからの経過時間が短い、すなわちより新鮮なデータを提供し合うことで、両ドローンは、他のドローンが最近取得したデータを自身の記憶領域に格納できる。また、各ドローンは、自身または他ドローンの拠点と無線通信可能となった場合に、自身が保持しているデータを拠点にも提供する。これにより、各拠点は、稼働中のドローンが取得した最新のデータを収集できる。

さらに、各ドローンは、自身が充電を行う拠点に関する情報も、無線通信を用いて互いに共有する。その後、各拠点の位置に基づき、各ドローンが探索を担当する領域の分割を行う。具体的には、図3に示すように、各セルの担当を、そのセルから最も近い距離にある拠点において稼働したドローンとする。これにより、各ドローンが自身の拠点から離れた領域に移動することを避け、充電による探索効率の低下を最小限に抑制できる。



図3：探索領域の分割

これらの制御により、複数のドローンが利用可能な状況において、ドローンが協調動作しながら自律的に被災地域内を巡回することで、被災地域全体の情報を満遍なくかつ頻繁に探索し、地域全体の新鮮なデータを拠点に収集可能となる。

これらの手法について、シミュレーション実験を通して動作確認および性能評価をおこなった。その結果、カバレッジを用いた移動制御、無線通信による情報共有、および共有した情報に基づく領域分割により、被災地域全体の探索、および拠点へのデータ収集が効率化できることを確認した。

さらに、複数のドローンによって群を形成し、群単位での移動制御を行うことで、被災地域全体の探索および情報伝達をさらに効率化する手法を考案した。この手法では、図4に示すように、伝達すべきデータを分割し、郡を構成する各ドローンに分配する。各ドローンは、一定の間隔を空けて同一の経路を移動し、データを必要とする被災者を想定したクライアントと無線通信可能な期間中に、自身の保持するデータを送信する。これにより、容量の大きいデータについても、移動を継続しながらクライアントに送信できる。

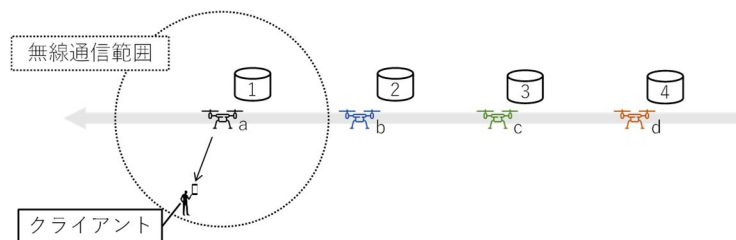


図4：郡を用いた情報伝達

この手法については、郡を構成するドローン数や通信帯域、クライアントとの距離等に応じて、ドローンの移動速度やドローン間の距離が通信効率に与える影響を解析し、シミュレーション

実験を通してその妥当性を検証した。

(2) 課題 2：試作システムの構築

課題 1 で考案した手法のうち、カバレッジマップ等の情報を管理する機能、および互いの無線通信範囲に侵入したドローン間で情報共有を行う機能を、Pixhawk4 および Espressif Systems 社製の無線通信モジュールである ESP-WROOM-32 を用いて実装した。試作したシステムの概観を図 5 に示す。

プロトタイプシステムでは、Pixhawk4 上で動作する FX4、および ESP-WROOM-32 上で動作する ESP-IDF 上で動作するプログラムを実装した。無線通信機能については、Wi-Fi アクセスポイントとして動作するモードと、Wi-Fi クライアントとして動作するモードを周期的に切り替えることで、偶発的に無線通信可能となったドローン間で無線接続確立が行えるようにした。



図 5：試作システム

試作したシステムの簡易的な動作検証として、2 台の無線通信モジュールを動作させ、モードの切り替え導入によって、任意の時間に無線通信可能となるモジュール間で無線接続確立が行えることを確認した。また、FX4 上で実装したプログラムによって、カバレッジマップ等の管理が行えることを確認した。

なお、当初の計画では、管理および共有する情報を用いてドローンの移動制御機能を実装し、ドローン上に搭載しての動作検証を行う予定であったが、研究期間内にすべての機能を実装することはできなかった。ただし、上記試作システムの動作検証を通して、無線通信を介した情報共有によって協調的に動作する自律飛行ドローンを用いた情報収集・伝達システムの実現可能性について検証できた。

< 引用文献 >

Society 5.0 新たな価値の事例（防災） - 科学技術政策 - 内閣府,
https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/bosai.html.
令和元年(2019年)台風 19 号に関する情報 | 国土地理院,
<https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R1.taihuu19gou.html>.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 伊藤太清、神崎映光	4. 巻 63
2. 論文標題 自律移動型UAVの協調動作を用いた効率的な探索データ収集手法	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 539 ~ 548
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20729/00216262	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 神崎映光、坂本大河	4. 巻 63
2. 論文標題 UAV協調型センシングにおける残余電力を考慮した動作制御手法	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 713 ~ 723
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20729/00216284	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 小倉洸太、神崎映光
2. 発表標題 移動基地局を用いた連続メディアデータ放送モデルの実環境における通信特性を考慮した検証
3. 学会等名 2022年度（第73回）電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoki Yoshihisa, Yusuke Gotoh, Akimitsu Kanzaki
2. 発表標題 A Continuous Media Data Broadcasting Model for Orbiting Base Stations
3. 学会等名 International Workshop on Advances in Data Engineering and Mobile Computing (DEMoC 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 神崎映光, 坂本大河
2. 発表標題 UAV協調型センシングにおける巡回担当領域の分割を用いた移動制御について
3. 学会等名 情報処理学会第184回マルチメディア通信と分散処理研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤太清, 神崎映光
2. 発表標題 UAV協調型センシングにおけるグループ化を用いた探索手法
3. 学会等名 情報処理学会第185回マルチメディア通信と分散処理研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 粉川博明, 寺井元基, 神崎映光
2. 発表標題 モバイルセンサネットワークにおける端末密度情報の収集について
3. 学会等名 情報処理学会第186回マルチメディア通信と分散処理研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akimitsu Kanzaki, Taisei Ito
2. 発表標題 An Efficient Data Gathering Method in UAV-Collaborative Sensing
3. 学会等名 International Conference on Consumer Electronics (ICCE 2024) (国際学会)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------