

令和 2 年 6 月 5 日現在

機関番号：15201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K12673

研究課題名(和文)大規模災害時における情報収集・伝達のための自律移動型センサ端末の動作制御

研究課題名(英文)Control of Autonomous Mobile Sensor Nodes for Gathering/Transferring Information in a Large-scale Disaster

研究代表者

神崎 映光(Kanzaki, Akimitsu)

島根大学・学術研究院理工学系・准教授

研究者番号：80403038

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000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ドローンを自律移動型センサ端末として積極的に利用し、迅速な情報収集および伝達を実現する技術の確立を目的とする。そのために、無線通信によるセンサ端末間の情報共有を用いて、複数のセンサ端末を協調動作させ、被災地域全体の効率的な巡回を実現する制御手法を提案した。

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センサ端末を積極的に利活用し、これらの協調動作によって被災地域の巡回を効率化することを目的としている点に特色がある。また、センサ端末の拠点への帰還も考慮した制御を目指しており、より具体的な応用を想定した独創性の高い研究である。大規模災害発生直後における情報収集および伝達は、被災者の早期救助や被災地の状況把握のために非常に重要な課題であり、本研究の成果により、災害救助や復興支援といった活動の飛躍的な効率化が見込まれ、その社会的意義は非常に大きい。

研究成果の概要(英文)：In a situation of a heavy disaster, it is important to realize the rapid information collection and diffusion in the site immediately after the disaster in order to efficiently support victims and rescue workers.

In this study, we aim to realize the rapid information collection and diffusion utilizing drones owned by various users as autonomous movable sensor nodes. In order to do that, we have proposed methods that realize an efficient monitoring of the entire of a certain disaster site using multiple movable sensor nodes. In the proposed methods, multiple sensor nodes cooperatively operates using the information sharing via local direct wireless communication between sensor nodes.

研究分野：センサネットワーク

キーワード：自律移動型センサ端末 ドローン 無線通信 協調動作 移動制御 災害時対応

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2011年の東日本大震災、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甚大な被害を受けてきた。また、2015年の関東・東北豪雨をはじめ、大型台風や爆弾低気圧による大規模水害もここ数年で増加しつつあり、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。そのための手段として、近年急速に普及しつつあるドローン(小型の無人飛行体)の利活用が注目を集めており、内閣府による「防災4.0」未来構想プロジェクト[]においても、その重要性が指摘されている。また、災害発生時の情報収集等にドローンを導入する自治体も現れる[]など、利活用に向けた動きも活発化している。

ここで利用されるドローンは、カメラをはじめとした各種センサおよび無線通信機能を搭載しており、遠隔制御によって移動および観測を行うことが一般的である。また近年では、遠隔制御なしに自律的に移動可能なドローンの開発も進んでおり、自律移動しながら観測を行う自律移動型センサ端末としてこれらを活用することで、以下のような応用の実現が期待される。

- **ケース1 被害状況の収集**：ある自治体において、市庁舎等の拠点に設置された自律移動型センサ端末が、発災直後に稼働、被災地域を巡回しながらカメラや赤外線センサ等を用いて各種センサデータを取得し、拠点に持ち帰る。拠点では、センサ端末から得たデータをもとに、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を行う。
- **ケース2 避難情報の伝達**：同様に、発災直後に稼働したセンサ端末が、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が可能な端末を探索する。端末を発見した場合、無線通信により、最寄りの避難所や、避難所までの安全な経路を知らせる。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、被災地域内の被災者に対する情報伝達を可能にする。

ここで、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、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。このような環境で上記のような応用を実現するためには、情報収集および伝達の対象となる地域全体に対し、センサ端末を繰り返し、かつ頻繁に巡回させる必要がある。

このとき、たとえば単一の自治体が保有する自律移動型センサ端末だけでなく、周辺の自治体、大学等の研究教育機関、あるいは被災地域内の個人が保有するドローンもセンサ端末として利用できれば、対象地域全体に対する情報収集および伝達を効率化できる。そのためには、個々のセンサ端末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、複数の自律移動型センサ端末を用いて、対象となる被災地域全体を高頻度で巡回できるよう、各センサ端末の動作を制御する技術の確立を目指す。ここで、センサ端末の巡回に求められる要件は、先に述べた二つの応用例のように、大きく二種類に分類されるものと考えられる。本研究では、このそれぞれを想定し、以下に示す二つの課題について研究を推進する。

(1) 課題1：継続的巡回のための協調的な移動制御

ケース2のように、拠点へのデータの持ち帰りが要求されず、情報伝達のために各センサ端末が継続して巡回のみを行う場合を想定する。ここで、複数のセンサ端末が利用可能な状況では、個々のセンサ端末が独立して移動経路を設定するのではなく、それぞれが担当領域を分担するなどの協調動作をとることで、被災地域全体をより効率的に巡回できる。これを実現するため、互いに接近し、近距離無線による直接通信が可能となったセンサ端末間の通信によって互いの存在や性能に関する情報を共有し、共有した情報に基づき、各センサ端末の移動経路を調整する方法について検討する。

(2) 課題2：拠点への帰還を考慮した移動制御

ケース1のように、拠点へのデータの持ち帰りが要求される場合など、各センサ端末が拠点へ帰還する必要がある場合を想定する。まず、データの持ち帰りが要求される場合、巡回中に接近したセンサ端末間において、互いのもつセンサデータを無線通信によって共有できれば、各センサ端末がより多くのデータを拠点に持ち帰ることができる。一方で、あるセンサ端末が帰還している時点では、そのセンサ端末が担当していた領域を、他のセンサ端末が一時的に担当するなど、各センサ端末の移動経路を状況に応じて動的に制御する必要がある。これらの要因を考慮して、各センサ端末の移動経路を適切に設定する方法について検討する。

3. 研究の方法

本研究は、研究目的で述べた二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：継続的巡回のための協調的な移動制御」として、センサ端末の協調動作によって移動経路を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：拠点への帰還を考慮した移動制御」として、種々の条件によってセンサ端末が拠点に帰還する状況を想定し、課題1の考案手法を拡張、シミュレーション実験によってその性能を評価する。また、各課題で考案した手法について、小型のドローンを用いた試作システムを構築し、実環境における動作検証を行う。

4. 研究成果

本研究では、3章で述べた方法により、各課題について効率的な手法を考案した。以下、各課題における提案手法について概説する。

(1) 課題1：継続的巡回のための協調的な移動制御

各センサ端末において、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。各センサ端末は、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、各センサ端末は、自身が動作を開始した時点では自身以外のセンサ端末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。

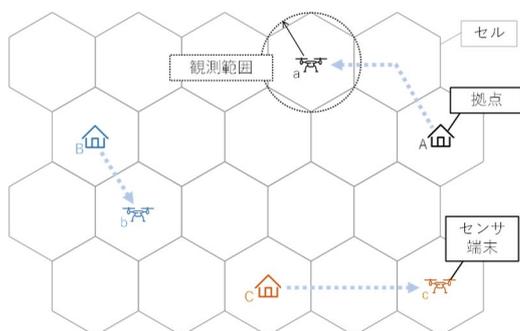


図1：セルによる被災地域の分割

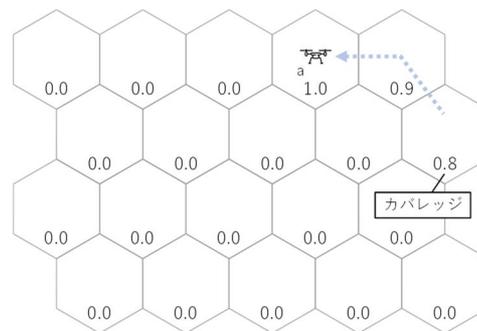


図2：カバレッジマップ

センサ端末の移動戦略

各センサ端末は、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。

無線通信による情報共有

複数のセンサ端末が互いに無線通信可能となった場合、センサ端末間において互いの持つカバレッジマップを共有する。このとき、図3に示すように、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、両センサ端末は、相手のセンサ端末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、他のセンサ端末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。

上記の制御により、複数のセンサ端末が利用可能な状況において、センサ端末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、被災地域全体を満遍なく、かつ頻繁に探索可能となる。

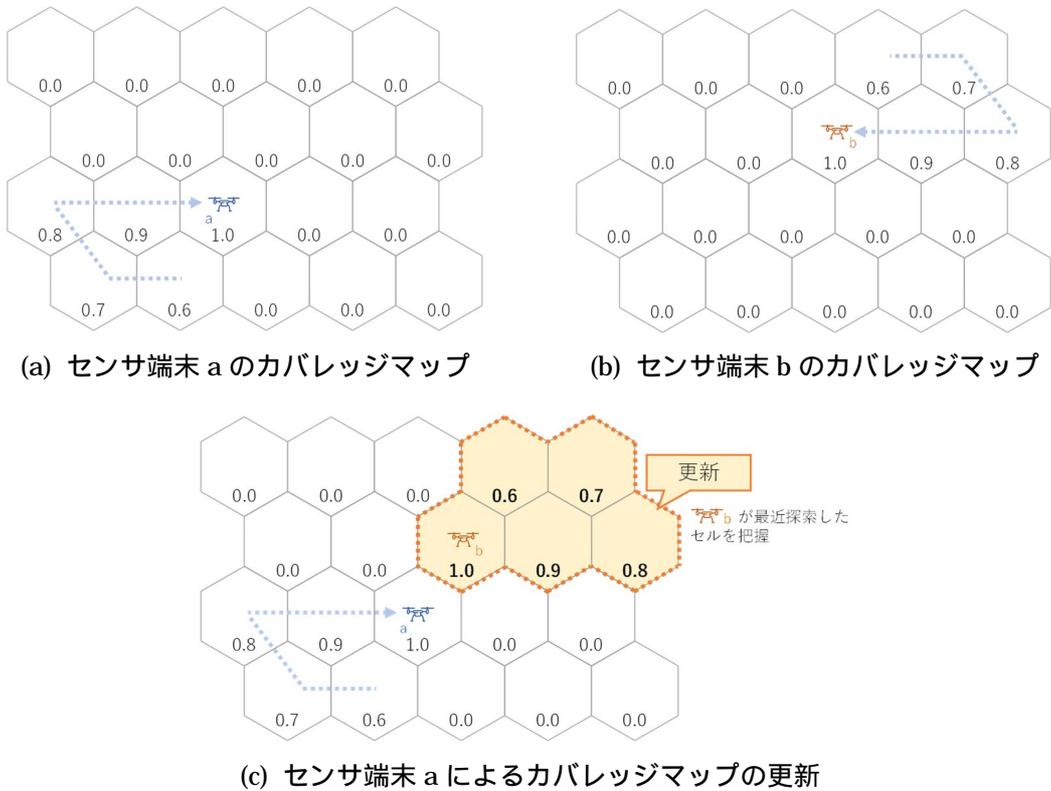


図 3：無線通信による情報共有

なお、上記の方法では、カバレッジの値が 0.0 まで減衰した後は、当該セルが探索されていない期間に関わらずカバレッジが 0.0 のまま変わらないため、長期間探索されないセルが多数生じる状況では、各セルの探索頻度に偏りが生じてしまう場合があった。そのため、カバレッジに代わり、当該セルが最近探索されてから経過した時間であるブランクタイムを指標とする改良を加えることで、探索効率のさらなる向上を図った。

(2) 課題 2：拠点への帰還を考慮した移動制御

課題 1 で考案した手法を基礎として、各センサ端末が取得したセンサデータを拠点に持ち帰る場合を想定し、被災地域全体の効率的な巡回を維持しつつ、各センサ端末を稼働させた拠点へのデータ収集を効率化する手法を考案した。

移動戦略の変更

提案手法では、各センサ端末が、予め定められた周期に基づいて定期的に拠点にデータを持ち帰る。これを実現するため、図 4 に示すように、課題 1 で考案した手法に基づく移動を行いながら、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センサ端末が、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。このときも、カバレッジやブランクタイムに関する情報を参照し、最近探索されていないセルをできるだけ多く経由して拠点に帰還できる移動経路をとることによって、データの持ち帰りをしながら、被災地域全体の高い探索効率を維持する。

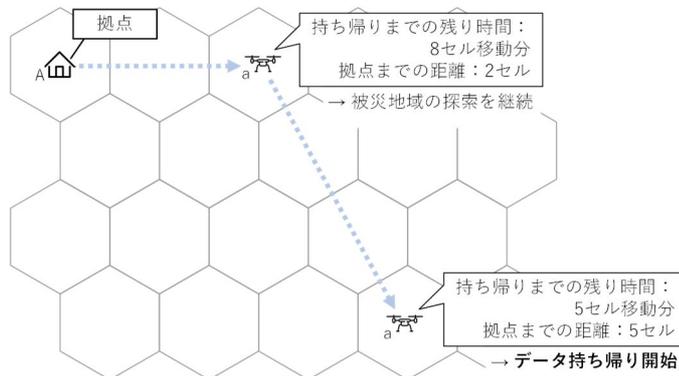


図 4：移動戦略の変更

センサデータの共有

複数のセンサ端末が高いに無線通信可能となった場合、課題 1 で考案した手法に基づくカバレッジやブランクタイムに関する情報だけでなく、両センサ端末が各セルを観測することで得たセンサデータも共有する。このとき、各セルにおいて、両者のもつセンサデータのうち、より現在に近い時刻に取得したもののみを相互に送受信することで、両センサ端末は、各セルにおけるより新しいデータをもつことができる。これにより、上記 の戦略によって拠点に帰還した際、より新しいデータを拠点に提供できる。

さらに、各センサ端末は、自身を稼働させた（データを持ち帰る）拠点以外の拠点と無線通信可能となった場合も、上記の手順によるデータの共有を拠点との間で行う。これにより、各拠点は、上記 の戦略によって持ち帰られるデータだけでなく、自身の把握していないセンサ端末からもセンサデータを手に入れ、より広範囲にわたる最新の情報を把握できるようになる。

上述した課題 1 および課題 2 で考案した手法については、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行った。その結果、カバレッジやブランクタイムを用いた移動制御や、無線通信による情報共有の導入により、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。

また、考案した手法の実環境での動作検証を行うための試作システムとして、センサ端末として用いることが想定されるドローンを制御可能な基盤であるフライトコントローラー上で、移動制御のために用いるカバレッジマップを管理する機能を実装し、簡易的な動作検証を行った。試作システムとしての動作検証には、管理する情報を用いた移動制御、および無線通信による他のドローンとの情報共有機能を実装する必要があるが、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。しかし、フライトコントローラーを用いたシステムの実装可能性については検証できた。

< 引用文献 >

「防災 4.0」未来構想プロジェクト- 内閣府,
<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/kenkyu/mirai-kousou/>.
神戸新聞 NEXT | 社会 | 災害情報収集にドローン活用姫路市消防局,
<https://www.kobe-np.co.jp/news/shakai/201608/0009439245.shtml>.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kazuya Matsuo, Keisuke Goto, Akimitsu Kanzaki, Takahiro Hara	4. 巻 49
2. 論文標題 Efficient Periodical Boundary Detection Through Boundary Crossing Record and Sensor Data Overhearing in Dense MWSNs	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Pervasive and Mobile Computing	6. 最初と最後の頁 45-61
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2018.06.008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件／うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Akimitsu Kanzaki, Katsumi Kuwabara
2. 発表標題 A P2P-based Data Storing Method for Participatory Sensing
3. 学会等名 International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems (CISIS 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akimitsu Kanzaki, Hideyuki Akagi
2. 発表標題 A UAV-Collaborative Sensing Method for Efficient Monitoring of Disaster Sites
3. 学会等名 International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長井 博樹, 神崎 映光
2. 発表標題 広範囲の効率的な観測のための自律移動型UAVの協調動作に関する一考察
3. 学会等名 情報処理学会第80回全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 桑原 克美, 神崎 映光
2. 発表標題 モバイルセンサデータを蓄積するユビキタスセンサ環境におけるデータ蓄積先センサの変動抑制手法
3. 学会等名 第19回IEEE広島支部学生シンポジウム (HISS)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 河田 智治, 神崎 映光
2. 発表標題 無線センサネットワークにおけるモバイルシンクの移動経路制御を用いたデータ収集について
3. 学会等名 第19回IEEE広島支部学生シンポジウム (HISS)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomoki Yoshihisa, Yusuke Goto, Akimitsu Kanzaki
2. 発表標題 A Continuous Media Data Broadcasting Model for Base Stations Moving Straight
3. 学会等名 International Workshop on Advances in Data Engineering and Mobile Computing (DEMoC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019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探索効率の向上について
3. 学会等名 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO 2019)
4. 発表年 2019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効率的なデータ収集に関する一考察
3. 学会等名 第21回IEEE広島支部学生シンポジウム (HISS)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

学会発表について、国際会議CISISにおいてBest Paper Award、国内会議HISSにおいて最優秀研究賞を受賞した。

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