

小型無人航空機による災害直後の迅速な通信インフラ復旧支援

Communication Infrastructure Reconstruction based on Unmanned Aerial Vehicle and its application to Disaster Management

2151027



研究代表者 筑波大学 システム情報系 准教授 延原 肇

[研究の目的]

震災をはじめとする災害において、発生直後に行わなければならない最重要タスクの一つが、被災地域における通信手段の確保である。通信手段の断絶は震災だけではなく、台風や土砂崩れ等によっても発生し、孤立可能性のある集落は全国で約1万7千箇所（人口換算で約260万人）、土砂災害が発生するおそれのある危険箇所は、約52万箇所も存在する。本研究では、この通信手段の断絶問題に対する効果的なソリューションとして、災害発生後、小型無人航空機（UAV）と短距離無線デバイス（ZigBee）を用いて数十分から数時間程度のオーダーで、当該被災地域の数キロメートル四方をカバーする通信手段を確保する枠組みを提案する。

[研究の内容, 成果]

1. はじめに

本研究の申請当初の目標は2点あり、1つめの目標は、ZigBee規格のデバイスを、地理情報に基づき最適な配置計画を行うアルゴリズムを提案することである。2つめの目標はZigBeeデバイスを内蔵した頑健な制御を行うことのできるUAV機体を独自に設計し、数万円という安価な価格で製作し、これらを有人航空機で災

害現場付近まで運び、投下する枠組みを構築することであった。しかしながら、2つめの目標の機体開発については、2015年12月に改正された小型無人航空機の改正により、これらの運用形態を大幅に修正せざるをえなくなった。

具体的な修正目標としては、災害箇所に近い場所に、ZigBeeデバイスを搭載したUAVを運搬し、それらの機体からの情報をテレメトリし、お互いの自己位置を確認しながら、通信インフラを復旧するという運用形態に切り替えることとした。申請当初に比べて大幅な変更になるが、結果的に、より高度な技術的挑戦となり、また汎用性も広がった。本研究で、最終的に構築を目指すシステム概観を図1に示す。

2. 目標1に関する研究内容・成果

目標1「ZigBee規格のデバイスを、地理情報に基づき最適な配置計画を行うアルゴリズムの提案」に関する具体的な研究内容および成果を報告する。

2.1 利用デバイスおよび通信可能範囲の導出

本手法では無線通信デバイスとしてXBeeデバイスを用いる（図2）。

これはXBeeデバイスにメッシュネットワークが容易に構築できる利便性、省電力性、通信可能距離（最長1.5km程度）、低コスト、組み込み系や他のデバイスからの利用のしやすさに

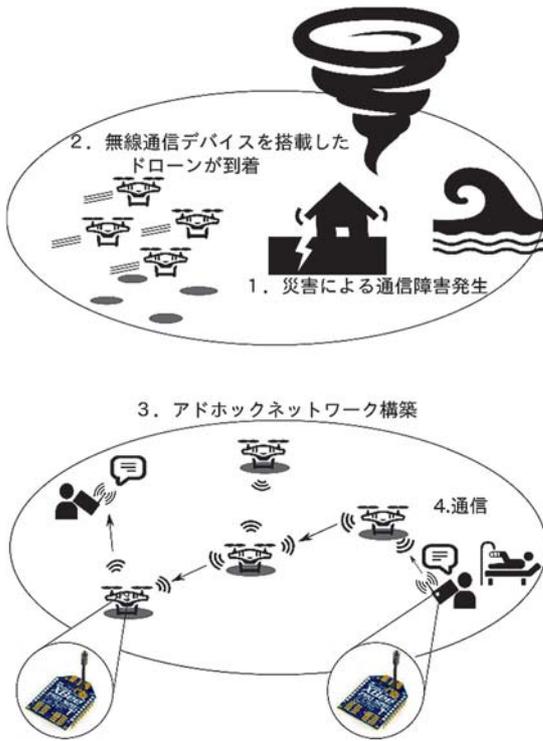


図1 本研究で構築するシステムの概観

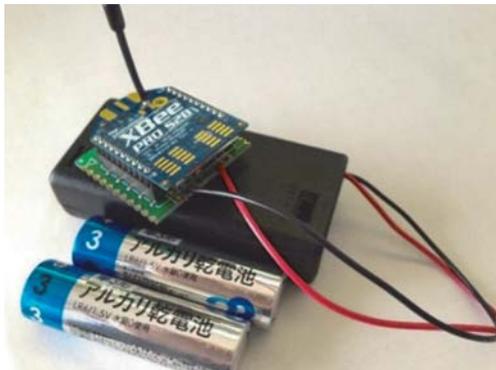


図2 本研究で利用するデバイス

よる汎用性等のメリットが存在するためである。類似の無線通信規格である Wi-Fi, Bluetooth との比較を表1に示す。

XBee デバイス間で通信を行った際、正しくデータを受信するためには受信した電波の通信強度が -80 dbm 以上である必要がある。ここで、通信強度を表す指標には受信信号インジゲータ (RSSI: Received Signal Strength Indication) を用いる。また、本研究によって設置するアドホックネットワークは、その目的からメッシュ構造を持つ全体で一つのネットワーク

表1 無線通信規格の比較

Name	Wi-Fi	Bluetooth	ZigBee
Communication distance	100 m	10 m	10~3000 m
Communication speed	11 Mbps	1 Mbps	250 Kbps
Network capacity	32 nodes	7 nodes	65,536 nodes
Life	Several hours	Several days	Several months
Application	Wireless LAN	Wireless Tools	Instrumentation control



図3 通信可能範囲を導出する対象地域

である必要がある。よって、XBee デバイスの配置は1. 最低でも他の XBee デバイス一つと相互に通信が可能である、すなわち互いに互いの電波を -80 dbm 以上の電波強度で受信できる、2. 全体で一つのネットワークを構築する、という2つの拘束条件を持つ。そのため、XBee デバイスを用いてネットワークを構築する際には、その発射する電波の減衰の程度をシミュレートする必要がある。

本研究では、土地利用を「市街地」「水地」「森林」「草原」「道路」の五種類に分類し、それぞれの土地利用に対応した電波減衰モデルを作成する。この電波減衰モデルに基づき、図3に示す対象地域に Xbee デバイスを配置した結果、通信可能な範囲は図4のように算出することができる。

2.2 無線通信デバイス配置最適化

すでに言及したように、XBee デバイスを用いて目的とするアドホックネットワークを構築するためには1. 最低でも他の XBee デバイス

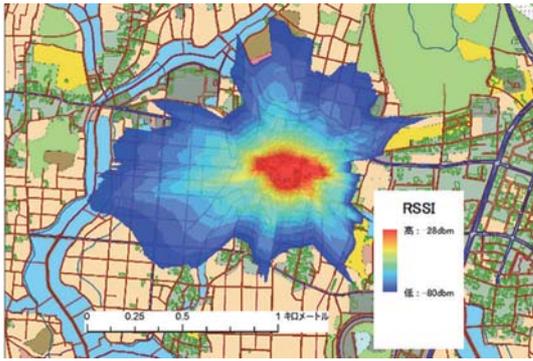


図4 通信可能範囲シミュレート結果

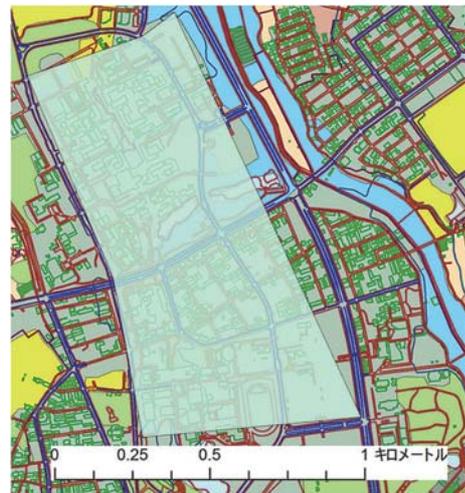


図6 評価実験の対象地域

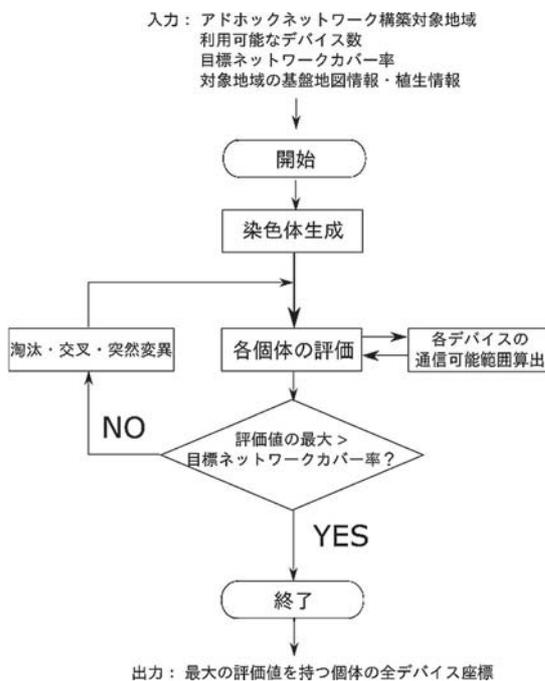


図5 デバイス配置最適化のための処理フローチャート

一つと相互に通信が可能である，すなわち互いに互いの電波を -80 dbm 以上の電波強度で受信できる，2. 全体で一つのネットワークを構築する，という2つの条件を満足する必要がある。これらの条件を満足しつつ対象地域の全てをカバーする無線通信デバイスの配置を解析的に求めることは，電波の減衰が土地利用によって変化し減衰そのものも非線形であるために困難である。よって，遺伝的アルゴリズムによる近似解探索を行う。ここで，個体の染色体として，地図上の二次元座標を設置可能な無線通信デバイスの数，遺伝子型は染色体に保存された各デバイスの座標を独立に二進数で表し，連結

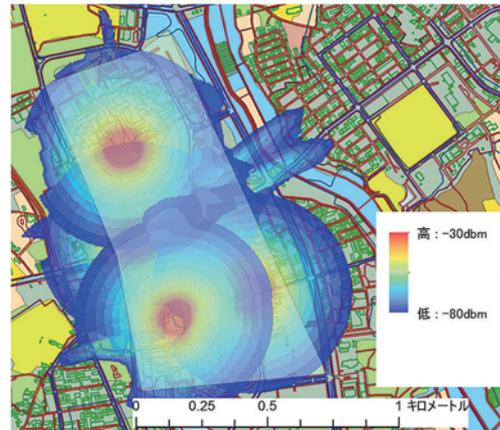


図7 最適配置後のRSSI値分布

したものとして定義する。

このように定義した染色体を，図5に示すフローチャートに基づき最適化を行う。

2.3 評価実験

提案した手法の有効性を実証するため，実際に提案手法を用いて Xbee デバイスの配置最適化を行い，導出された位置に無線通信デバイスを配置しそれらの構築するネットワーク内において通信を行う実験を行った。

図6に示す対象地域（筑波大学構内南北1.5 km，東西0.5 km，面積 0.784 km^2 ）に対して，デバイス数を4，目標ネットワークカバー率を90%に設定し Xbee デバイスの配置最適化を行った結果，対象地域のネットワークカバー率を98%となり，RSSI 値の分布が図7となる結

果を算出することができた。この時、CPU に i7 4790 k を用いた PC によって計算を行ったところ、15 分 14 秒で最適配置を算出できている。

得られたデバイス配置案に基づき実際に配置を行い通信実験を行ったところ、一部通信ができない部分が観測された。これは、電波減衰シミュレーションにおける地形の属性 5 種類であり、実際の地形の属性を詳細に反映していないことから得られた結果と考えられる。この点について、全体的に強い減衰を起こすようなシミュレーションにすることで、より信頼性の高い最適配置が実現できると考えられる。

3. 目標 2 に関する研究内容・成果

本研究の目標 2 「各機体間の情報をテレメトリし、お互いの自己位置を確認しながら、通信インフラを復旧」を実現するための UAV の開発についての研究内容および成果報告を行う。

3.1 各機体間のテレメトリについて

UAV の位置をテレメトリする機材は、海外で市販されているが、日本の電波法が厳しいため、それらを利用することができない。よって、本研究では、UAV の位置やその他の制御情報（コンパスや加速度センサ情報）などを、ZigBee デバイスを用いてテレメトリするシステムを構築した（図 8）。この装置によって、地上側のグランドステーション（ノートパソコン）に加速度や高度情報がテレメトリされる様子を、図 9 に示す。

以上のシステムが構築できれば、第 2 章で示

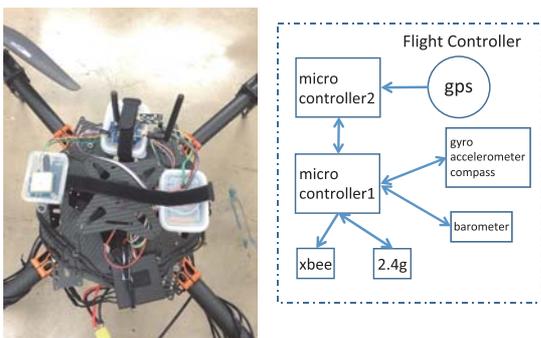


図 8 ZigBee デバイスによるテレメトリ装置を搭載した UAV

したような、シミュレーションで計算された最適配置について、実際に配置した場合に通信可能とならなかった場合でも、UAV が自律的に補正を行いながら、通信可能な領域まで移動するなどの調整が可能となる。

3.2 飛行実験

図 8 に示すシステムを搭載した UAV を 3 機体構築し、これらの機体間通信をしながら通信範囲を拡大させてゆく飛行実験を行った。

安全を考慮して飛行実験は、大学の虹の広場において実施した。図 10 に示すように、各機

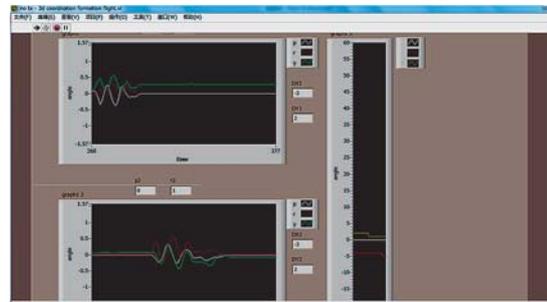


図 9 グランドステーション画面の一例



図 10 ZigBee デバイスによるテレメトリ装置を搭載した UAV3 機体（上）と飛行の様子（下）

体間のテレメトリを確認しながら、ある程度の機体間距離を保持しながら、協調飛行をさせることができた。一方で、機体のコントローラが不安定であった点など、通信範囲とは別の問題が発生し、当初の目標であった、機体間距離を大きくしながら、どの程度まで通信可能であるのかを測定するところまでは至らなかった。

[成果の発表, 論文等]

- [1] T. Sugiura, M. Haris and H. Nobuhara, 'Tactile Feedback for Intuitive UAV Control System,' 2nd International Conference on Digital Fabrication, ICDF2016, Tokyo, Japan, Mar. 3-5 (2016)
- [2] 霜村瞭, 鋤先星汰, 張鶴鳴, 李宏陽, ムハバドハリス, 延原肇, 複数ドローン編隊飛行に基づく同時画像撮影と高精細計測への応用, 第34回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2016), 山形大学, 2016年9月7日-9日