

VHF 帯狭帯域 IoT 通信システム Wi-SUN FAN を用いた 飛行中ドローンからの高解像度ライブ映像伝送に成功 — 狭帯域・長距離 IoT 通信で高品質なリアルタイム映像伝送を実現 —

概要

国立大学法人京都大学情報学研究科 原田博司教授の研究グループ（以下「京都大学」）は、2025 年 12 月に総務省情報通信審議会から一部答申が示された VHF 帯（170MHz 帯および 220MHz 帯）を利用する狭帯域 IoT 通信システム（以下「VHF-IoT」）として、国際無線通信規格「Wi-SUN FAN」に準拠した、10km を超える長距離伝送距離が期待できる無線通信システムを開発しました。さらに、VHF-IoT の限られた通信速度でも映像を伝送できる高効率な映像圧縮伝送システムを開発し、これらをドローンに搭載することにより、実際のドローン飛行中に HD（1,280×720 画素）、10fps のライブカメラ映像を無線伝送する実証実験に成功しました。

ポイント

- ・ 長距離通信に適した 170 MHz 帯および 220 MHz 帯の VHF-IoT に、OFDM 方式を用いる国際無線通信規格 Wi-SUN FAN を適用した無線通信システムを開発。400 kHz の占有帯域幅で 600 kbit/s、1,200 kHz では 2,400 kbit/s の高速伝送を実現。
- ・ 400 kHz の占有帯域幅を用いて、飛行中のドローンから HD（1,280×720 画素）、10 fps のライブカメラ映像伝送に成功。
- ・ 高効率な映像圧縮に加え、複数の映像パケットを効率的に伝送するパケットアグリゲーションと、重要な画像フレームを高品質・高効率に伝送する独自の通信制御技術を開発し、限られた通信速度でも安定したライブ映像伝送を実現。
- ・ 自律的なネットワーク構築と多段のマルチホップ通信が可能な Wi-SUN FAN を VHF 帯に適用し、災害時や山間部などにおける広域通信への展開を想定して、飛行中のドローンから地上局へのライブ映像伝送を実証。

1. 背景

近年、大規模災害時における被災状況の把握や生存者の捜索、山間部・離島等への物資輸送など、さまざまな用途でドローンの活用が進んでいます。一方、ドローンとの通信には主に無線 LAN（Wi-Fi）や携帯電話システムが利用されていますが、Wi-Fi を用いた通信では通信距離が数百 m 程度に限られることに加え、数 GHz 帯の電波を使用するため、森林や地形などによる遮蔽の影響を受けやすく、ドローンが山間部などを飛行する場合に安定した通信を維持することが困難になるという課題があります。また、物流用ドローンなどでは、飛行中の機体の状態や周辺状況を遠隔地から継続的に確認するため、携帯電話網を利用した通信も検討されていますが、山間部など携帯電話網のサービスエリア外を飛行する場合や、大規模災害によって携帯電話網が利用できなくなった場合には、通信を継続できない可能性があります。こうした課題を解決する通信手段として、Wi-Fi や携帯電話システムで主に利用される周波数帯よりも低く、森林や地形などによる遮蔽の影響を受けにくい VHF 帯を利用し、長距離かつ広範囲を面的にカバーできる狭帯域 IoT 無線通信システム（以下「VHF-IoT」）の検討が進められています。VHF-IoT の技術的条件については、2025 年 12 月に総務省情報通信審議会から一部答申が示され、下側周波数帯 170.0～177.5 MHz および上側周波数帯 217.5～222.0 MHz を使用し、最大 5 W の空中線電力による運用などが示されました。VHF 帯の電波伝搬特性を活か

すことにより、公共・公益性の高い機関等が利用する自営通信網として、携帯電話網が利用できない山間部や災害時などにおける広域 IoT 通信への活用が期待されています。京都大学では、これまでに VHF-IoT に対応した無線伝送装置を開発し、2026 年 5 月には 30 km を超える長距離無線伝送の実証に成功しました。一方、この実証は 1 対 1 の伝送を中心としたものであり、FSK 変調で VHF-IoT の上側周波数帯での 400 kHz という限られた周波数帯域を利用しており、伝送速度は 150 kbit/s にとどまっていた。災害現場の監視や捜索、物流用ドローンなどへの実用化に向けては、VHF 帯の長距離伝送特性を活かしながら、複数の無線機によるネットワーク通信を実現するとともに、限られた周波数帯域でも飛行中のドローンからより滑らかなライブ映像を安定して伝送できる技術の実現が求められていました。

2. 研究成果

京都大学では、VHF 帯の限られた周波数帯域を用いて高速かつ高品質なデータ伝送を実現するとともに、飛行するドローンとの無線接続を自律的に構築するため、OFDM 方式を用いた国際無線通信規格「Wi-SUN FAN」に準拠し、170 MHz 帯および 220 MHz 帯の VHF-IoT に対応した無線通信システムを開発しました。本システムでは、占有帯域幅 400 kHz の場合に 600 kbit/s、1,200 kHz の場合には Wi-SUN FAN で規定される最大 2,400 kbit/s の伝送速度を実現できます。また、Wi-SUN FAN のネットワーク機能を利用することにより、地上局とドローンとの間で自律的に無線接続を構築し、IP ベースのデータ通信を行うことが可能です。

さらに、飛行するドローンと地上局の間では、距離や位置関係、周囲の地形などによって電波伝搬環境が時々刻々と変化します。このような時変する無線通信環境においても安定してライブ映像を伝送するため、複数の映像パケットをまとめて効率的に伝送する「パケットアグリゲーション」と、映像を構成するフレームの重要度に応じて伝送を制御し、重要な画像フレームを高品質かつ高効率に伝送する独自の映像圧縮・伝送方式を開発しました。Wi-SUN FAN 技術と高効率な映像圧縮・伝送方式を組み合わせることにより、VHF 帯の限られた通信速度においても、高品質なライブ映像を安定して伝送する無線映像伝送システムを実現しました。

開発したシステムを用いて、災害時などにおける広域監視を想定したドローン飛行実験を実施しました。ドローンには、VHF 帯 Wi-SUN FAN 無線機（ルータ）、カメラおよび映像伝送システム送信局を搭載し、地上 25 m および 50 m の高度を飛行させながらライブカメラ映像を送信しました。地上では、VHF 帯 Wi-SUN FAN 無線機（ボーダールータ）で受信したデータを映像伝送システム受信局で復号し、映像をリアルタイムに表示・録画しました。その結果、VHF 帯の狭帯域通信でありながら、飛行中のドローンから HD 解像度（1,280×720 画素）、フレームレート 10 fps の鮮明なライブ映像を 10 分以上安定して伝送できることを確認しました。さらに、占有帯域幅 400 kHz での映像伝送に加え、占有帯域幅 1,200 kHz、伝送速度 2,400 kbit/s での映像伝送にも成功しました。図 1 にドローンに搭載した送信側装置、図 2 に受信側装置、図 3 にドローンから受信した映像を示します。また、表 1 に今回使用した VHF 帯 Wi-SUN FAN 無線機の主な仕様を示します。



(a) VHF波を送信し飛行中のドローン



(b) ドローン搭載装置

図1 送信側装置



(a) 受信アンテナ



(b) 受信装置

図2 受信側装置



図3 220MHz 帯でのドローンからの受信映像

表1 VHF 帯 Wi-SUN FAN 無線機の主な仕様

周波数	送信出力	占有帯域幅	変調方式	伝送速度
170MHz	250mW	1,200kHz	OFDM	2,400kbps
220MHz	1W	400kHz	OFDM	600kbps

3. 今後の展開

今回の実証実験では、VHF 帯 Wi-SUN FAN を用いて、実際に飛行するドローンから HD ライブ映像を安定して伝送できることを基礎伝送試験により確認しました。今回の伝送距離は約 50 m でしたが、今後は VHF 帯の長距離伝送特性を活かし、数 km 規模の伝送距離を視野に入れ、飛行高度、伝送距離、地形、遮蔽物などの条件を変化させた実環境でのドローン飛行・映像伝送試験を進めます。さらに、Wi-SUN FAN が有する自律的なネットワーク構築機能と、20 段以上の多段中継が可能なマルチホップ通信機能を活用し、複数の地上局やドローンが相互に通信しながら広域な通信エリアを形成する、新たなドローン配送管理通信システムの提案・実証を進めます。これにより、携帯電話網が利用できない山間部や、通信インフラが被災した地域を含む広い範囲においても、飛行中のドローンの位置・状態や周辺状況を遠隔から継続的に把握できる高信頼な通信システムの実現を目指します。また、映像圧縮方式、パケットアグリゲーションおよび映像伝送制御方式をさらに高度化することにより、限られた VHF 帯の通信速度を有効に活用し、現在実現している HD 解像度から、さらに高いフレームレートで滑らかなライブ映像を伝送できる映像圧縮・伝送システムの開発・実証を進めます。これらの技術を統合することにより、災害時の状況把握や捜索・救助、山間部におけるインフラ監視、物資輸送などへの応用を進め、VHF 帯 Wi-SUN FAN を活用した広域・高信頼な次世代ドローン通信システムの実現を目指します。

4. 謝辞

本研究の一部は、総務省の「電波資源拡大のための研究開発（JPJ000254）」で実施した成果を含みます。

<用語解説>

1. Wi-SUN FAN (Field Area Network)

Wi-SUN アライアンスが制定する、スマートメータリング、配電自動化を実現するスマートグリッド、およびインフラ管理、高度道路交通システム、スマート照明に代表されるスマートシティを無線で実現するための通信規格。センサーやメーター等に搭載される IPv6 対応のマルチホップ通信仕様であり、広域かつ高信頼な IoT ネットワークを構築できる特徴を有する。2016 年にバージョン 1.0 が制定され、現在は高速通信、低消費電力化などに対応したバージョン 1.1 が制定されている。

2. VHF-IoT

V-High 帯域（170～222MHz）の公共ブロードバンド通信システムと他システムのガードバンド等に導入する狭帯域 IoT 通信システムであり、災害時に公共安全機関等が情報共有を図る等の目的で法整備が行われた。陸上および上空での利用が可能である。本システムでは、下側周波数帯（170.0～177.5MHz）および上側周波数帯（217.5～222.0MHz）を利用し、上空で最大 1W の空中線電力による運用が可能となる。

（参考）

総務省情報通信審議会答申：https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban13_02000131.html