

無線マルチホップネットワーク技術を用いた ドローンによる映像伝送試験

Video Transmission Experiments Using Multiple Drones Based on Wireless Multihop Network Technology

村上 貴臣 MURAKAMI Takaomi 川村 卓也 KAWAMURA Takuya

近年、センサーやデバイスなど様々なモノがインターネットに接続されるIoT (Internet of Things) 技術の進展に伴って、広範囲の情報を効率的に収集するため無線マルチホップネットワークが普及してきている。しかし、これらのネットワークでは、映像などの大容量データの伝送が難しいという問題がある。

そこで東芝は、無線マルチホップ接続による多段中継で、映像を遠隔地へ伝送するネットワーク技術を研究開発している。この技術を用いれば、監視カメラシステムを屋外で簡単に設置できるようになり、ドローンやロボットなどを連携させた映像監視システムの構築が可能である。今回、中継機能付き無線カメラを搭載した複数のドローンを用いて映像を中継させるフィールド試験を行い、ドローンを経由した遠隔地へフルHD (1,920 × 1,080 画素) 解像度の映像伝送が可能なることを実証した。

In line with the progress of Internet of Things (IoT) technologies for the analysis of data collected from various sensors and other devices in the network, attention has recently been focused on wireless multihop networks in order to efficiently collect a broad range of information. However, such networks are not suitable for the transmission of large volumes of data, including video data.

With this as a background, Toshiba Corporation has been engaged in the research and development of a wireless multihop network technology to transmit video data to distant locations in real time. This technology facilitates the installation of surveillance camera systems outdoors and makes it possible to construct video surveillance systems in conjunction with multiple drones and robots. We have confirmed the transmission of full high-definition (Full-HD) video data to distant locations via drones through demonstration experiments on a video surveillance system using multiple drones equipped with cameras connected to a wireless multihop network.

1. まえがき

近年、IoT (Internet of Things) 向けに、無線通信機能を搭載した機器が普及してきている。これらの機器の中には、隣接した機器間でバケツリレーのようにデータを中継する無線ネットワーク(無線マルチホップネットワーク)を自律的に構築するものがある。ネットワーク構築の自動化により機器の設置が簡単で、多段中継によってデータを遠くまで届けられるため設置の自由度が高いという特長がある。ただしこれらは、一般にセンサーの値を収集するなどの、比較的小さなデータを伝送することを想定している。

一方、映像などの大きなデータを伝送可能な無線ネットワークの例として、無線LANがある。無線LANでは、まずアクセスポイント(基地局)を設置し、アクセスポイントの電波が届く範囲に機器を設置しなければならないため、設置場所の自由度が低い(図1(a))。

そこで東芝は、映像などの大きなデータを伝送できる、

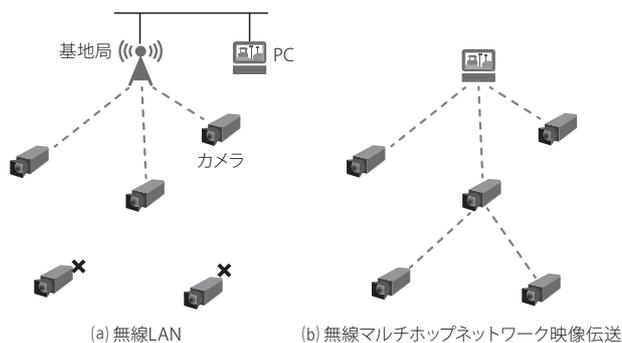


図1. 無線マルチホップネットワーク映像伝送の概要

従来は、固定基地局と通信可能な範囲にしかカメラを設置できなかったが、無線マルチホップネットワーク映像伝送では、無線機を搭載したカメラ間で撮影した映像を多段中継してパソコン(PC)に伝送するので、設置の自由度が増す。

Outline of wireless multihop video data transmission

無線マルチホップネットワーク映像伝送技術を開発している(図1(b))。これによって、アクセスポイントの通信範囲に

縛られない映像伝送システムを構築できる。例えば、通信インフラがない場所に監視カメラシステムを設置することや、設置場所を変更することが容易になる。更に、ドローンやロボットなどに搭載すれば、複数のドローンやロボットを協調して移動させ、広範囲なエリアを監視するといった映像監視システムを実現できる。

ここでは、無線マルチホップネットワーク映像伝送技術のドローンへの適用可能性を検証するために、国立大学法人東京海洋大学と共同で実施した、海上でのフィールド試験について述べる。

2. ドローンを用いた映像伝送試験システム

2.1 無線マルチホップネットワーク映像伝送技術

まず、無線カメラに搭載した無線マルチホップネットワーク映像伝送技術について説明する。前述のとおり、無線マルチホップネットワーク映像伝送には、通信配線が不要で、アクセスポイントの通信範囲に縛られない、といった利点がある。一方で、映像データを届けるためにホップするごとに無線通信を行うため、通信回線品質の揺らぎの下で、高精細な映像を遅延なく送信できるようにすることが課題となる。

この課題を解決するために、各無線機が自律的にネットワーク環境を観測し、安定した通信路を生成・維持する経路制御方式、ネットワーク環境の確認処理の高速化手法、更に複数の経路を同時に利用する映像伝送方式を開発した。また、これらの技術を基に無線マルチホップネットワーク映像伝送システムを構築し、5台の無線カメラを5段につないだネットワークにおいて、毎秒30フレームのフルHD解像度の映像5本を1s以内の遅延で映像監視端末に伝送できることを確認した。

ここでは、フルHD解像度で撮影し、動画コーデックとして現在普及が進んでいるH.264を使用した。また、無線の規格はIEEE 802.11n (5 GHz帯)である。

2.2 試験の目的

今回のフィールド試験は、動きのあるドローンやボートを使うことで、互いの距離や高度が常に変動する状態でマルチホップネットワーク映像伝送が可能かどうかを確認するのが目的である。2.1節の無線マルチホップネットワーク映像伝送システムを、沖合いのボート上のパソコン(PC)、海上の2台のドローンにそれぞれ載せた無線カメラA、B(以下、ドローンカメラA、Bと呼ぶ)、及び地上に固定した無線カメラ(以下、固定カメラと呼ぶ)に搭載して、実施した。

具体的には、次の3点を確認した。

- (1) 動きのあるドローンカメラAからボート上のPCへの映像伝送
- (2) 互いに動いている空中のドローンカメラA、B間での映像伝送
- (3) 複数のドローンカメラで多段中継した映像伝送

2.3 試験の実施場所

試験の実施場所は、ドローンを使用することを考慮し、図2に示す海岸を選んだ。この海岸は、周囲が開けていて見通しが良く十分に広いため、ドローンの飛行に適している。また、遮るものがないため、無線の伝搬試験にも適している。

2.4 フィールド試験システムの配置

今回のフィールド試験に使用した装置の配置を図3(a)に示す。

装置間の距離については、事前に試験を行い、妥当な値を定めた(図3(b))。まず水平距離は、PCとドローンカメラAとの間を約100m、ドローンカメラAとドローンカメラBとの間を約170m、ドローンカメラBと固定カメラとの間を約110m、PCと固定カメラとの間は最大約380mとした。

高さについては、ボート上のPCが海面から約2mの高さであった。2台のドローンは、水面から約50mの高度で飛行させ、また、固定カメラは、地面から高さ1.5mの三脚の上に固定した。

ドローンとボートは、定めた位置や高さからできるだけ移動ないように操作したが、風、潮の流れ、及び波を受けて試験中に移動し、図3(b)の値から変化した。各装置の位置や高さの変化は、装置間の距離の変動につながり、無線の伝搬条件に影響する。例えば装置が離れると、無線の受

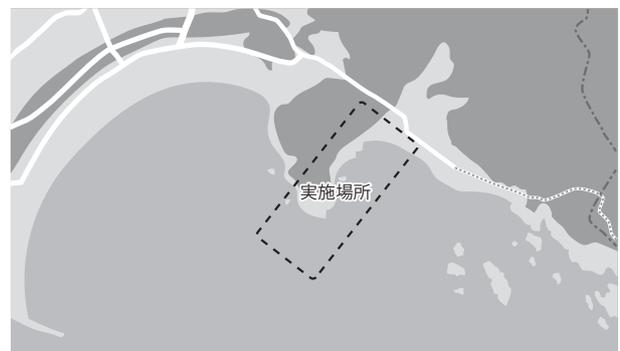
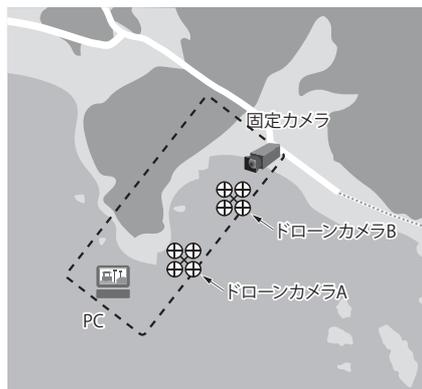


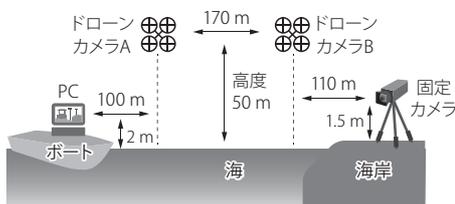
図2. 試験の実施場所

フィールド試験は、ドローンの飛行に支障がなく、電波を遮るものが少ない海岸で実施した。

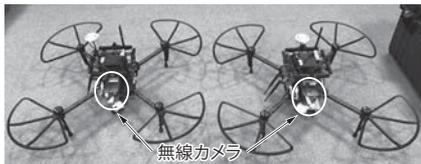
Location for field experiments



(a) 各装置の配置



(b) 装置間の水平距離と各装置の高さ



(c) ドローンA及びドローンB



(d) PCを載せたボート

図3. フィールド試験での各装置の配置

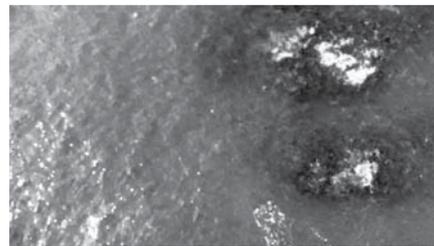
海岸に設置した固定カメラの映像を、海上のドローンカメラ2台中継して、ボート上のPCで受信するように配置した。

Configuration of devices for field experiments

信強度が下がり、受信した映像の画質が劣化して、極端な場合は受信に失敗することもある。

3. 映像伝送試験の結果

PCで取得した、各無線カメラからの映像のスナップショットを図4に示す。図4(a)は、PCに近いドローンカメラAの映像であり、空中のドローンカメラからボート上のPCに映像伝送できることを確認した(2.2節の(1))。図4(b)は遠い方のド



(a) ドローンカメラAの映像



(b) ドローンカメラBの映像



(c) 固定カメラの映像

図4. 無線カメラで撮影した映像例

ドローンカメラからも、固定カメラからも、鮮明な映像が受信できた。

Examples of video images obtained by wireless cameras

ローンカメラBの映像であり、空中のドローンカメラ間で映像伝送できることを確認した(2.2節の(2))。また、図4(c)は固定カメラの映像であり、空中のドローンカメラ2台が、PCから最も遠い固定カメラからの映像を中継し、ボート上のPCに伝送できることが確認できた(2.2節の(3))。

これらから、無線マルチホップネットワーク映像伝送技術で、装置間の距離が常に変動する状態での映像伝送が可能であることが分かった。より長距離のネットワークを構築するには、中継機能を搭載したドローンの台数を増やすことで対応できる。

試験中の中継伝送におけるパケットロス率は、試行ごとに異なり、ロスが少ない場合では0.1%であったが、多い場合では20%を超えた。今回の試験におけるパケットロスの要因としては、潮の流れでボートが移動することによってPCとドローンカメラとの間の距離が一時的に離れ、無線の受信

強度が低下したことが挙げられる。試験中、ボートは最大で約50 m移動した。

パケットロス率と連動して、データが欠損した映像フレームの割合にも少ない場合と多い場合があり、各カメラから送信した映像フレーム総数に対して、少ない場合で1.3%であったが、多い場合は20%台であった。映像フレームの欠損が20%台とパケットロス率に近い値であったのは、ロスのパターンがバースト的であり、短時間で集中的に起きたためと考えられる。ボートの移動による大きなパケットロスは発生したものの、固定カメラ及び2台のドローンカメラの映像は、いずれも撮影対象の状態を十分に確認できる品質であった。

遅延に関しては、RTT (Round Trip Time) の観測値が52 ~ 196 msであったことから、固定カメラやドローンカメラからの映像は、1 s以内にPCに表示できたと考えられる。

これらのことから、今回の試験程度の移動と通信距離であれば、例えば災害時に被災状況を把握するなど映像で概要を調べる用途において、実用上の支障はないと考えられる。

4. 今後の課題

ドローンを用いたマルチホップネットワーク映像伝送を実用化するにあたり、次のような課題を解決する必要がある。

ボートやドローンに、より大きな移動が発生して通信距離が増加すると、実用性を損ねる可能性がある。これを避けるために、無線の受信強度やパケットロス率を基に、通信距離を自動的に調整する、あるいは通信距離を縮めるよう監視者に促すといった機能が必要である。

また、今回の試験では、2台のドローンカメラを用いたが、より広い範囲を監視するには、台数を増やすとともに、1台当たりが受け持つ範囲を広げる必要がある。

更に、複数のドローンカメラを連携させて使用する場合には、例えばバッテリー交換のためにいずれかのドローンが一時的に帰還することなどが必要になる。このような場合でも映像伝送を確実にするためには、無線通信の状態の評価手法や、各装置の連携技術などを開発する必要がある。

5. あとがき

移動体への無線マルチホップネットワーク映像伝送の適用について、屋外環境で映像伝送試験を行った。互いの距離が常に変動するドローンやボートに無線マルチホップネットワーク映像伝送システムを搭載してフィールド試験を実施した結果、多段中継による映像伝送が可能であることを確認した。また、今回の試験で生じた程度の潮の流れや、波、風による通信距離の変動であれば、離れた場所や人が立ち入れない場所の概況を映像で調べるような用途において、実用上の支障にはならないことも確認できた。

今後は、更に多数のドローンを用いた無線マルチホップネットワークの実用化を目指し、ドローンの台数を増やした場合、及びドローンが大きく移動する場合の映像伝送の安定性検証を進めていく。

謝辞

今回の試験に際し、ドローンの飛行や試験環境の選定をはじめ、試験全般にわたりご協力いただいた東京海洋大学近藤研究室に深く感謝の意を表します。



村上 貴臣 MURAKAMI Takaomi

研究開発本部 研究開発センター
ネットワークシステムラボラトリー
映像情報メディア学会会員
Network System Lab.



川村 卓也 KAWAMURA Takuya

東芝インフラシステムズ(株)
技術企画部
電子情報通信学会会員
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.