

空中音響技術を利用した ドローン探知システム

萬造寺 博
神林 誠

望月 大志
進士 浩樹

近年、ドローンと呼ばれ、遠隔操縦や自律飛行が可能な無人航空機が普及し、ドローンの活用に期待が高まる一方で、ドローンの事故や悪用に対する社会的懸念も広がっている。具体的には、重要施設や大規模な集客施設への侵入、個人施設のプライバシー侵害などがあり、ドローンを探知することへの関心が急速に高まっている。そこで、OKIはパッシブソーナー製品で培った水中音響信号処理技術を空中音響へ応用し、飛行するドローンを探知するドローン探知システム（以下、本システム）を開発し、同システムの販売を2015年6月1日より開始した。

本稿では、本システムの特徴、構成、信号処理技術、及び試作機による探知実証実験について述べる。

本システムの特徴

(1) 小型のドローンを対象とした探知システム

本システムは、複数の回転翼を有する小型のドローン（写真1）を対象としている。



写真1 小型のドローンの例

小型のドローンは、首相官邸屋上への侵入及び落下、浅草神社の三社祭の最中に落下、さらに国宝姫路城大天守（世界文化遺産）への衝突など問題が多い。多くの小型のドローンは、4つの回転翼を回転させて無線による遠隔操縦、あるいは予め設定された飛行計画による自律飛行で動作する。そのため、小型のドローン

の飛行中には、回転翼から音が発生する。本システムは小型のドローンが飛行音を隠匿することができない点に着目し、飛行音を受信して自動的に探知するパッシブ音響センサー方式を利用している。

(2) パッシブ音響センサーを利用した探知方式

ドローンを自動的に探知するセンサー方式として、レーダーなどの電波を利用する方式、レーザー光を利用する方式、映像を利用する方式など、いくつかのセンサー方式が考えられる。

電波やレーザー光を利用する方式は、ドローンを探知する前提として、電波やレーザー光をドローンの飛行方向に指向させる。そのため、電波やレーザー光を全方位に回転させる旋回機構や、小型のドローンを検出するための高出力な電波やレーザー光が必要となり、大規模で高消費電力なシステムとなる。また、送信する電波やレーザー光は法規制や安全性の考慮が不可欠である。

映像を利用する方法は、電波やレーザー光と同様にセンサーをドローンが飛行する方向に指向させるが、広角レンズや全方位レンズなどを利用することで比較的容易に実現できる。但し、多種多様な背景やドローン以外の動体が含まれる映像の中から小型のドローンを自動的に抽出するには高度な映像処理技術が必要となる。また、照明が無い夜間での使用では撮影自体が困難となる。

本システムのパッシブ音響センサー方式は下記の特徴があり、電波、レーザー光、映像を利用した方式よりも優位性がある。

- センサーのマイクロフォンは指向範囲が広いいため、一つでも全方向を同時に監視できる。
- 音を受信するのみで、自らは音を送信しないため、システムは小型でシンプル、しかも低消費電力で動作できる。
- 音が伝わる環境であれば昼夜問わずに使用でき、光や電波に比べ波長が長いいため、鳥や動物、さらに霧などの影響を受けない。

(3) ドローンの飛行方向も把握できる探知情報

本システムではマイクロフォンを複数構成することにより、ドローンの飛行音がマイクロフォンに入射する方位と俯仰角を検出できる。つまり、ドローンが飛行している方向を把握できる。ユーザーはドローンの飛来の有無を全方向同時に監視できることに加え、方向の把握により、飛来するドローンを視認する際に発見が容易になり、しかもドローンが飛来しない方向から到来する類似音による誤探知を防ぐことができる。

(4) ドローンの飛行方向を追跡できる監視カメラ

ドローンを自動的に探知できることに加え、飛来したドローンの機影を視認できるようにするため、本システムでは、旋回型監視カメラを組み合わせ、ドローンの飛行している方向を検出し、旋回型監視カメラを検出した方向に指向させる機能を付加した。本機能により、システムがドローンを自動探知した時に監視カメラの映像を人間が目視するだけでドローンの存在及び機影を確認でき、監視カメラだけで構成するシステムに比べ監視する人員の省力化かつ人員の能力に左右されない確実な監視を実現できる。

本システムの構成

本システムは、音響部、処理部、操作表示部、旋回型監視カメラから構成されている。写真 2 に本システムの試作機の外観を示す。

(1) 音響部

音響部は4つのマイクロフォンと各マイクロフォンを固定するフレームで構成されている。各マイクロフォンが周囲の音響を受信し、アナログ電気信号(以下、音響信号)に変換して処理部に出力する。

(2) 処理部

処理部はA/D変換機能を有した1台の小型コンピュータユニットで構成されている。音響部から出力された音響信号はA/D変換によりデジタル化された信号(以下、音響データ)となり、デジタル信号処理によって、音響データからドローンの飛行音などの有意な音源の存在及び方向(方位角、俯角)を検出する。さらに音響データの特徴からドローンの飛行音であることを識別する。音源検出結果、方向検出結果、識別結果の各情報は操作表示部に出力される。

(3) 操作表示部

操作表示部は1台の携帯型パーソナルコンピュータで構成されている。処理部が出力した音源検出結果、方向検出結果、識別結果の情報及び旋回型監視カメラが撮影した映像を画面に表示する。また、操作表示部は処理部及び旋回型監視カメラを制御する。

(4) 旋回型監視カメラ

旋回型監視カメラは音響部のフレーム先端に搭載され、操作表示部からの指向制御情報により、カメラを旋回させ、撮影した映像を操作表示部に出力する。



写真 2 本システムの試作機

本システムの信号処理技術

本システムの信号処理は、音源検出処理、方向検出処理、識別処理などの複数の信号処理モジュールで構成されている(図 1)。

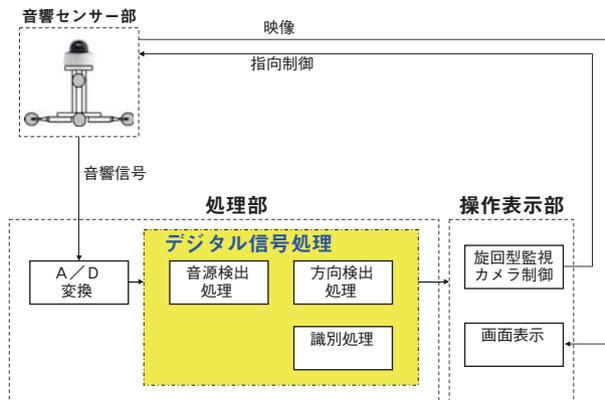


図1 信号処理の構成

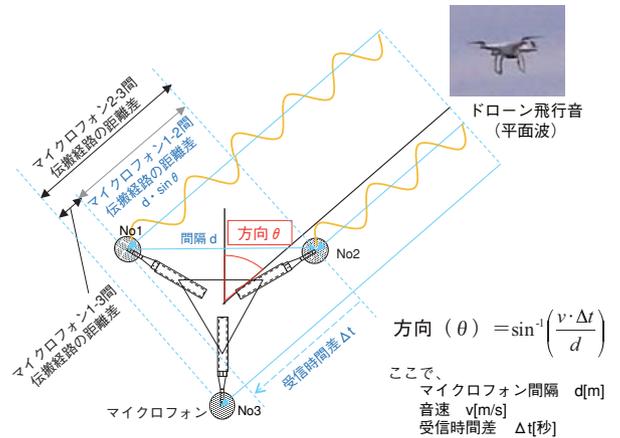


図2 方向検出の原理

(1) 音源検出処理

音源検出処理では、マイクログフォンから入力される音響信号をA/D変換した音響データの中からドローンの飛行音などの有意な音を検出する。このとき、4つのマイクログフォンから入力する各音響信号に対する相関の値を算出する。この算出における相関の値とは、複数のマイクログフォンから入力される各音響信号間で生じる類似性の度合いを示す値であり、下記の特徴を有する。

- 複数の音源が混じり合う周囲雑音では、相関の値が比較的低い値となる。
- ドローンの位置に生じる単一音源では、相関の値が比較的高い値となる。

音源検出処理は、上記の特徴を利用し、算出された相関の値に基づいて、ドローンの飛行音などの有意な音を検出したと判定する。つまり、音源検出処理では、音の大きさではなく相関の値を利用しているため、比較的背景雑音レベルが高い環境においても、ドローンの飛行音などの有意な音を検出することができる。

また、本システムでは極力ドローンの飛行音だけを検出するために、回転翼から生じる音の検出に最適な処理パラメータを設定している。

(2) 方向検出処理

方向検出処理では、マイクログフォン間の受信時間差やマイクログフォン間の位置関係、音速等のパラメータから、ドローンの飛行音がマイクログフォンに入射する方位と俯仰角を算出し、ドローンの存在方向を算出する(図2)。

(3) 識別処理

識別処理では、ドローンの飛行音に含まれる特徴素により、音源がドローンかそれ以外かを識別する。通常、周波数などの特定の特徴素だけではドローンの飛行音を明瞭に識別するのは困難である。そこで、本識別処理では、複数の特徴素を組み合わせたデータ解析手法によって、ドローンの飛行音の特徴を有した音と、それ以外の音を分離し、ドローンの飛行音を区別している。

試作機による探知実証実験

試作機による探知実証実験はOKI 東海R&Dセンターの敷地を利用して実施した。

本R&Dセンターの敷地のほぼ中央に試作機を設置し、ドローンはDJI社が一般向けに販売しているPHANTOM2(商願2015-066883 "PHANTOM" 出願中)を使用し、試作機の周辺を遠隔操縦によりランダムな経路を飛行させた(写真3)。



写真3 実証実験の風景

本実験では、ドローンが飛行している間、試作機は、ドローンを自動探知し続けると共に、ドローンの飛行

する方向に巡回型監視カメラを追従指向させ、ランダムな経路を飛行するドローンの機影を撮影できることを確認した(図3)。



図3 操作表示部の表示

あとがき

OKIは、試作機による探知実証実験後、本システムの信号処理技術の一つである識別処理の実証実験を行い、ドローン探知システムの製品化を実現した。

日本では、法改正によってドローンの利用規制を強める一方で、一部企業がドローンを利用した宅配サービスの実証実験を開始したり、産学官が合同で様々な活用シーンを検討するなど、ドローンの実活用は本格化してきている。また将来の人手不足を危惧し、ドローンを社会インフラの一部として拡大・定着させる期待が高まる一方で、事故や悪用を懸念したドローンの監視ニーズも増えている。OKIはこうした社会背景の変化を予測しながら、今後もドローン探知システムの性能機能を向上させ、社会の安全・安心に貢献していく所存である。◆◆

● 筆者紹介

萬造寺博：Hiroshi Manzogi. 社会システム事業本部 ディフェンスシステム事業部 技術第一部

望月大志：Taishi Mochizuki. 社会システム事業本部 ディフェンスシステム事業部 技術第一部

神林誠：Makoto Kanbayashi. 社会システム事業本部 ディフェンスシステム事業部 技術第一部

進士浩樹：Hiroki Shinji. 社会システム事業本部 ディフェンスシステム事業部 技術第一部

TIP【基本用語解説】

空中音響技術

空中を伝わる音響信号に関わる、受信、信号処理、情報処理、表示処理などの全般技術。

パッシブソーナー

目標が放射している水中音響エネルギーを受信し、目標についての情報を得るソーナー。

A/D変換

アナログ信号をデジタル信号(データ)に変換すること。