

遊動的な音源探査に向けた加速度センサ付きマイクロホンアレイ*

☆ 高橋祐芽, 赤石夏輝, 田中智己, 吉野夏樹, 矢田部浩平 (農工大)

1 はじめに

災害救助において、人や地上移動ロボットの立入り
が困難な場所を飛行しながら広範囲に探索できるド
ローンの活用が検討されている [1]。しかし、ドロー
ンによる映像情報のみでは要救助者の発見が困難な
場合があるため、音声を利用した探索手法が求められ
ている。一方で、ドローン本体から発生する騒音(エ
ゴノイズ)は音声観測の妨げとなる。この対策として
本稿では、観測デバイスをドローン本体から離れた位
置に吊り下げて遊動させることを想定し、位置、姿勢
および音源到来方向(DOA)を取得可能な音響計測
デバイスを試作する。また、移動しながら音源を探索
できることを実測実験により検証する。

2 ドローンを用いた遊動的な音源探査

音声を対象としたドローンによる音源探査では、エ
ゴノイズが問題になる。エゴノイズは、プロペラの翼
通過周波数とその高調波に対応する狭帯域成分、およ
び翼端渦や機体振動に起因する広帯域成分から構成
される [2]。これらの成分は音声信号の主要な周波数
成分と重複するため、目的信号の取得が難しくなる。
この対策として、ブラインド音源分離によってエゴノ
イズを低減する手法 [3] や、マイクロホンにドローン
本体から物理的に離す手法 [4] が提案されている。本
稿では、音源探査デバイスをドローン本体から離して
吊り下げることを想定して、適用可能なドローンの要
件について検討する。市販のマルチロータ型ドロー
ンは、外部機器の搭載を想定しない機体質量 1 kg 未
満の小型空撮機、軽量なセンサを搭載可能な機体質
量 1–5 kg 程度の小型産業用機、およびより大型の観
測機器を搭載可能な機体質量 10 kg 程度の中・大型産
業用機に大別できる。この中で中型産業用機である
DJI Matrice 350 RTK は 2.7 kg を搭載可能で、災害
時の行方不明者の搜索等で利用されており、遊動的な
音源探査をするための運用候補として適切であると
考えられる。以降では、中型産業用ドローンを用いる
ことを想定した音源探査システムを検討する。

3 吊り下げ型音源探査システム

音源探査システムの概念図を図-1 に示す。音響計
測デバイスを吊り下げたドローン(左)を移動させな

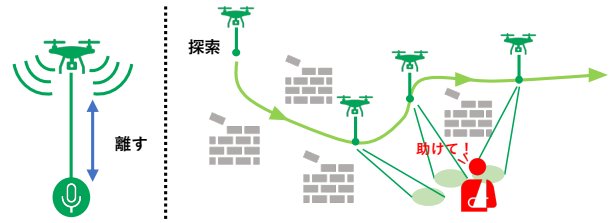


図-1 音響計測デバイスを吊り下げたドローンによる遊動的音源探査システムの概念図。

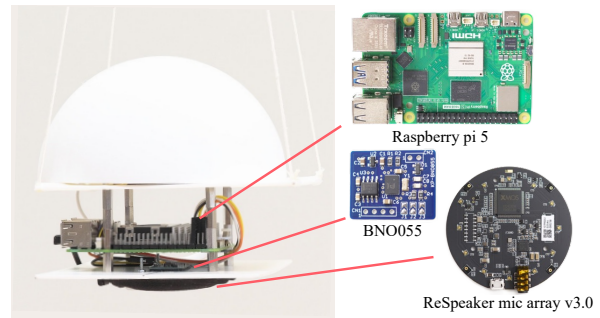


図-2 本稿で作成した音響計測デバイスの外観。

がら、要救助者が発する音声の音源位置を探索する
(右)。このとき、複数の位置で DOA 推定を行うこと
で、音源位置を推定する。本手法には、探索対象領域
内に固定観測装置を設置する必要がないという利点
がある。

3.1 試作した音響計測デバイスの構成

本稿では、音源探査システムに使用するデバイス
を試作した。図-2 にデバイスの外観を示す。このデ
バイスは、自己位置および姿勢を推定するための 9 軸
センサ BNO055、DOA 推定を行うためのマイクロホ
ンアレイ ReSpeaker Mic Array v3.0、および観測信
号を処理する Raspberry Pi 5 から構成される。移動
に伴う風雑音を低減するために、マイクロホンアレ
イにはウィンドシールドを装着した。また、外部電源
を不要とするために、3D プリンタ製保護カバー内に
0.26 kg のポータブルバッテリーを搭載した。本デバ
イスの総質量は 0.43 kg であり、中型産業用ドローン
による吊り下げ運用が可能な範囲にある。

3.2 音源位置推定

このデバイスでは、推定した自己位置、姿勢および
DOA を用いて音源位置を推定する。自己位置推定で
は、加速度センサの計測値を二重積分することで基

*Microphone array with accelerometers for active sound source localization. By Yume TAKAHASHI, Natsuki AKAISHI, Tomoki TANAKA, Natsuki YOSHINO and Kohei YATABE (Tokyo University of Agriculture and Technology).

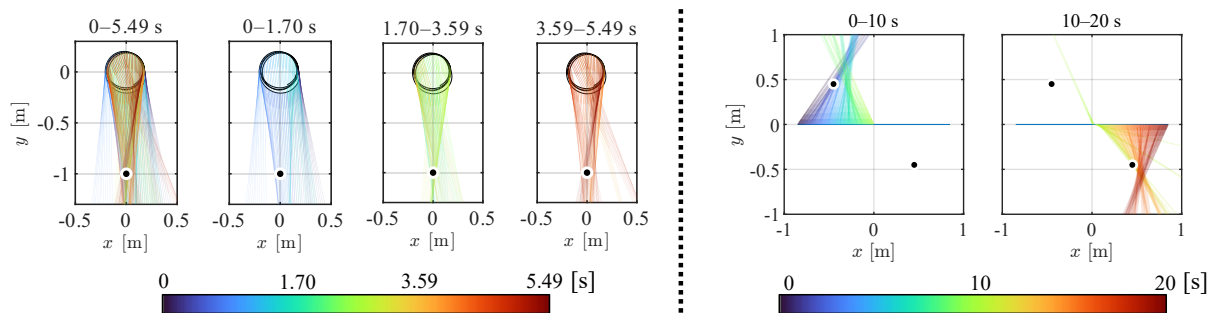


図-3 円形軌道（左）と直線軌道（右）での音源探索の結果. 各時刻における推定 DOA を色付きの半直線で示した. 推定 DOA の半直線の色は, 各図の下部のカラーバーに対応しており, 探索開始時が青, 探索終了時を赤とした. また, 半直線はデバイスの位置から遠ざかるほど薄くした. 円形軌道では, 最左列に探索時間全体の半直線を重ね, 他の列では各時間区間での推定の様子を分けて示した. それぞれの真の音源位置を白で囲まれた黒点で示した.

準位置に対する相対位置を算出する. このとき, 計測値に含まれるドリフト成分を低減するため, ハイパスフィルタを適用する. 姿勢および DOA には, それぞれ BNO055 および ReSpeaker Mic Array v3.0 に実装された推定アルゴリズムの出力を用いる. なお, 本稿では音源と同一平面内の x, y 座標および yaw 角のみを扱う. 音源位置は, 各観測位置から DOA 方向へ描画した半直線の集中領域として推定する.

4 実験

作成したデバイスによって音源探索が可能であることを確認するため, 防音室において 2 種類の実験を行った. なお, 初期検討として, デバイスを手で保持して吊り下げた状態で測定し, スピーカから再生した音声信号を音源とした. 1 つ目の実験では, デバイスの移動によって音源探索ができることを確かめるために, 1 つの音源から 1 m 離れた地点を中心とする円軌道でデバイスを等速移動させた (図-3 左). このとき, 円軌道の半径は約 0.3 m で, 1 周あたりの時間は約 1.3 s であった. 2 つ目の実験では, 移動中に異なる音源を探索できることを確かめるために, 2 つの音源の近くを通過する 1.7 m の直線軌道でデバイスを等速移動させた (図-3 右). このとき, 直線軌道の始点と終点はそれぞれ $(-0.85, 0)$, $(0.85, 0)$ であり, 2 つの音源の位置は $(-0.45, 0.45)$, $(0.45, -0.45)$ であった. 0-10 s では $(-0.45, 0.45)$ に配置した音源から音を再生し, 10-20 s では $(0.45, -0.45)$ に配置した音源から音を再生した. また, 直線軌道の移動速度は約 0.088 m/s とした. なお, 加速度センサによる自己位置推定において直線軌道の場合の誤差が大きかったため, 実測に基づく位置を計算して用いた.

円形軌道の結果を図-3 左に示す. 最左列では, 多くの半直線が真の音源位置を通過したことが分かる. 続く 3 つの列に示された, 各時間区間での結果を見ると, 真の位置を指す半直線の本数は区間ごとに異なる

ことが分かる. また, 0-1.70 s と 3.59-5.49 s の区間では, 途中の推定結果が真の音源位置から大きくずれることがあった. これは DOA 推定の遅延や姿勢・位置推定の誤差に起因すると考えられる. 以上から, デバイスを移動させながら DOA 推定を行うことで, このような一時的な推定誤差の影響を低減しつつ, 大まかな音源探索が可能であることが示された.

続いて直線軌道の結果を図-3 右に示す. 再生音源の切り替えに対応して DOA 推定も切り替わり, 各音源が再生されている時間区間において, 半直線は概ね正しい位置に集中したことが確認できる. 一方で, 音源切り替え時には, 緑色の線で示すように推定 DOA が真の音源位置から大きく逸脱する場合がみられた. そのため本手法では, DOA 推定に伴う遅延の低減に加えて, 位置・姿勢推定手法の改善も必要であると考えられる.

5 むすび

本稿では, ドローンから吊り下げて運用することを想定した音響計測デバイスを試作し, 音源探索ができることを実測実験で確認した. 今後は, DOA 推定・自己位置推定手法を改善し, 実際にドローンから吊り下げた条件での音源探索を検証する.

参考文献

- [1] K. Nakadai, K. Hoshiba, B. Yen, M. Kumon and Y. Sasaki, "Swarm active audition with robots and drones: Real-world performance validation," *IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots Syst.*, 6107-6112 (2025).
- [2] G. Sinibaldi and L. Marino, "Experimental analysis on the noise of propellers for small UAV," *Appl. Acoust.*, **74**(1), 79-88 (2013).
- [3] L. Wang and A. Cavallaro, "A blind source separation framework for ego-noise reduction on multi-rotor drones," *IEEE/ACM Trans. Audio Speech Lang. Process.*, **28**, 2523-2537 (2020).
- [4] H. Duan, C. Pan, J. Benesty and J. Chen, "An approach to direction-of-arrival estimation for airborne microphone arrays," *IEEE Trans. Audio Speech Lang. Process.*, **34**, 1564-1577 (2026).