

(55) 立体構成マイクロフォンアレイを用いる UAV飛行音の位置推定

川岸 卓司¹・小木曾 里樹²・水谷 孝一³・善甫 啓一⁴・若槻 尚斗⁵

¹学生会員 筑波大学 システム情報工学研究科 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1)

E-mail: kawagishi@aclab.esys.tsukuba.ac.jp

²学生会員 筑波大学 グローバル教育院 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1)

E-mail: ogiso@aclab.esys.tsukuba.ac.jp

³正会員 筑波大学 教授 システム情報系 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1)

E-mail: mizutani@iit.tsukuba.ac.jp

⁴非会員 筑波大学 助教 システム情報系 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1)

E-mail: zempo@iit.tsukuba.ac.jp

⁵非会員 筑波大学 准教授 システム情報系 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1)

E-mail: wakatuki@iit.tsukuba.ac.jp

本稿は屋外におけるUnmanned Aerial Vehicle (ドローン・マルチコプター) の飛行音を利用し、2つのマイクロフォンアレイによってドローンの位置を推定するものである。提案手法ではドローンから発せられる音を解析し、特徴的な周波数帯を選択することで、マイクロフォンアレイ(素子構成数: 4)で計測したそれぞれのマイク間の到来時間差を利用している。到来時間差とマイクロフォンアレイの位置関係からドローン位置を推定することができ、GPS等がない環境においても1 m程度の誤差内でドローンの位置推定が可能であることが示された。

Key Words : UAV, sound source localization, direction of arrival, microphone array

1. 緒言

近年小型無人飛行ロボット(ドローン)にカメラや温度計、マイクロフォンなどのセンサを取り付け、橋や道路などのインフラ点検や上空からの三次元復元図の作成に活用するなど応用がされている^{1,2)}。特に人にとって危険な箇所や点検や測量など膨大な人と時間をかけて行っていた作業を大幅に削減できることから様々な応用が研究や実用化が進んでいる。このようにドローンを作業に従事させる際は、操縦者によるドローンの目視や、ドローンに装着されたカメラからの画像で相対的に位置を判断する必要がある。しかし、目視や装着されたカメラによる位置の判断は操縦者の経験や空間認知能力を必要とする上に、ドローン自体の正確な位置を記録することができず、三次元復元図やインフラ点検などの際に問題が残っている。最も一般的な手法として、GPSや搭載された加速度センサの値から加速度値を積分することにより、GPSの値による補正を行い、位置を推定しているが、橋下や建物間などGPSの値が適切に受信できないときなどでは位置推定が難しい。またドローンにLEDなどを着けカメラ等から位置推定

する手法も提案されているが、ドローンに追加装備が必要であり積載重量の観点から問題がある。アレー処理を用いる音源手法として警備等でドローンの方向を測定するものなどはあるが、位置推定に至っていない。著者らは音を用いる位置推定法を提案してきた³⁾、そこで本研究では、ドローンの回転翼から発せられる音に着目し、4つのマイクロフォンからなるマイクロフォンアレイを用いることで音の到来時間差からドローンの位置推定法を提案する。

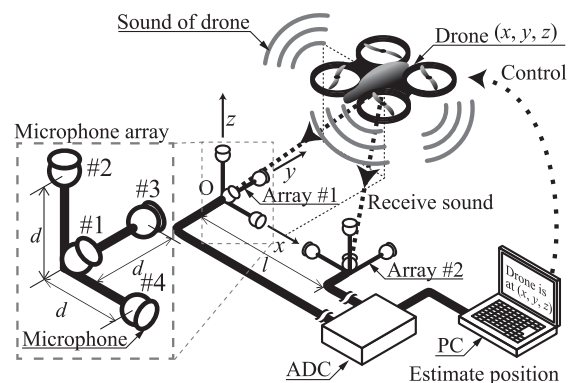


図-1 実験の概略

2. 位置推定法の原理

図-1のような3軸方向に長さを有するマイクロフォンアレイを構成し、2組用いることでドローンの位置を求める。音源の位置推定には、各マイクの到来時間差を用いる。到来時間差の算出には相互相関法⁴⁾を用いる。ここで*i*番目のマイクの座標を $\mathbf{m}_i = (x_i, y_i, z_i)$ 同様に*j*番目を $\mathbf{m}_j = (x_j, y_j, z_j)$ とした時、この2つのマイク間の到来時間差を τ_{ij} とする。またドローンの音源位置を $\mathbf{r} = (x, y, z)$ とする。これらを整理して、

$$c\tau_{ij} = \|\mathbf{r} - \mathbf{m}_i\| - \|\mathbf{r} - \mathbf{m}_j\|, \quad (1)$$

ここで*c*は音速である。この式は、理想的な音の伝搬で成り立つものであり実際の音波には雑音をはじめ反射波など様々な影響をうける。そこで、(1)式より

$$S_{ij} = c\tau_{ij} - (\|\mathbf{r} - \mathbf{m}_i\| - \|\mathbf{r} - \mathbf{m}_j\|), \quad (2)$$

$$\mathbf{F} = \arg \min \mathbf{K} \cdot \mathbf{S}_{ij}, \quad (3)$$

と(2)のように定義し、この S_{ij} の解が0となるよう(3)の最適化問題としてすべてのマイクの組み合わせで計算する。ここで、 $\mathbf{K}$ は到来時間を評価する尤度であり、ここでは相互相関関数を用いる。これは、類似性のない音の場合は推定誤差や発散の原因となるため、この評価関数によって尤度が高いものを解として残す処理を行うためである。

3. 評価実験

(1) 無響室及び屋外におけるドローンの特徴音

実際のドローン(AR.Drone 2.0)を用い飛行音の収録及び解析を行った。無響室(1 m遠方から集音)および屋外(10 m遠方から集音)においてドローンの、上昇からホバリングまでの音を収録した図-2にそのスペクトログラムを示す。2秒付近まではプロペラの回転数上昇に対応し、周波数が高くなっていることがわかる。しかし、屋外では飛行音自体は小さくなっており2 kHz以下に風音や様々な雑音を含んでいるものの無響室での実験と同様にプロペラ回転数に対応する様子が確認された。以降では、5 kHzのハイパスフィルターで雑音等の影響を減じる。

(2) 音源位置推定の実験と考察

図-1のようにマイクロフォンアレイを設置し、*d* を0.4 m、*l* を5.0 mとした。提案手法の有効性を検証するため、特定の位置でドローンを飛行させ、発せられる飛行音の到来時間差で位置を推定する。なお実験時は+y方向に風速0.5 – 2.0 m/sが断続的に発生していた。ドローンの座標系は*y*軸上の $\mathbf{r}_1 = (0, 5.0, 1.5)$ 及び $\mathbf{r}_2 = (2.5, 5.0, 1.5)$ 、同位置で

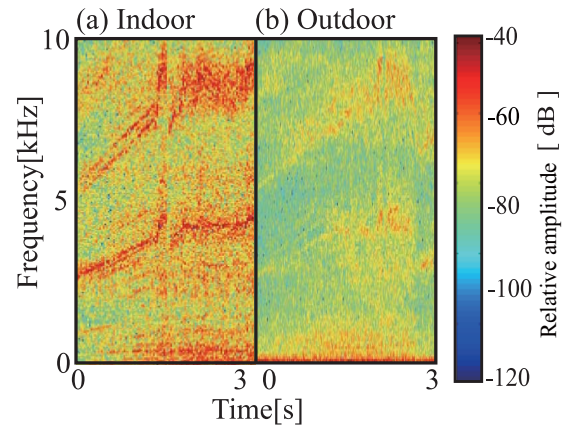


図-2 ドローンの無響室及び屋外の飛行音

表-1 推定された音源位置

	$x(\sigma)$	$y(\sigma)$	$z(\sigma)$
$\mathbf{r}_1 = (0, 5.0, 1.5)$	-0.18 (0.28)	5.73 (0.70)	1.17 (0.80)
$\mathbf{r}_2 = (2.5, 5.0, 1.5)$	2.46 (0.19)	6.68 (0.41)	0.26 (0.13)
$\mathbf{r}_3 = (2.5, 5.0, 1.0)$	2.55 (0.04)	4.66 (0.48)	0.70 (0.22)

Unit: [m]

*z*軸を0.5 m下げた $\mathbf{r}_3 = (2.5, 5.0, 1.0)$ とした。計算は飛行音がしている5秒間をそれぞれ切り出した値を使用し、結果を表-1にそれぞれの推定平均値及び標準偏差を示した。2つ目の実験を除き、各座標位置は1 m以内で推定できることがわかった。また、2つ目の実験条件でも、推定誤差は1.8 m程度であった。これは風の影響などと考えられる。

4. 結 言

本稿ではマイクロフォンアレイを用いドローンの位置推定法について述べ、マイクロフォンアレイ間の到来時間差と音源の位置関係から最適化計算によって位置推定を行う手法を提案した。評価実験により、実際の屋外においても、1 m程度の誤差内で位置推定が可能であることが示唆された。

参考文献

- 1) 吉永弘志, 水谷孝一, 若槻尚斗: 搜索活動の支援を目的とした高騒音環境での音源探査手法, 土木学会論文集 F6, Vol. 67, No. 2, pp. I-11-I-16, 2011.
- 2) 奥谷啓太, 吉田尚水, 中村圭佑, 中臺一博: クロドロコプタ搭載のマイクロホンアレイを用いた屋外音環境理解の逐次雑音推定による向上, 日本ロボット学会誌, Vol. 31, pp.676-683, 2013.
- 3) 川岸卓司, 善甫啓一, 水谷孝一, 若槻尚斗, 川村洋平: 直達音と地面反射音を利用する少素子ジオフォンアレイによる土中音源位置推定, 土木学会論文集 F3 (特集号), Vol.69, pp. I-130-I-138, 2014.
- 4) C.H.Knapp and G.C.Cartar: The Generalized Correlation Method for Estimation of Time Delay, IEEE Trans. ASSP, Vol. 24, No. 4, pp. 320-327, 1976.