

マイクロホンアレイの無線ネットワーク化による野外環境下での音源位置推定システムの実装と評価



大阪大学 基礎工学部 情報科学科 村田研究室 細川侑嗣

研究背景

2

- 生物の生態のモデル化と情報通信分野への応用
 - カエルの独特な習性
 - 鳴き声の逆同期^[8]
 - 合唱の周期性
 - 異なる鳴き声の使い分け
- カエルが鳴き声により行うコミュニケーションの数理モデル化
 - いつ、どこで、どの個体が鳴き声を発したかを知ることが重要

カエルのコミュニケーションの記録のための位置推定システムを実装する

[8] I. Aihara, T. Mizumoto, T. Otsuka, H. Awano, K. Nagira, H. G. Okuno, and K. Aihara, "Spatio-Temporal Dynamics in Collective Frog Choruses Examined by Mathematical Modeling and Field Observations," Scientific reports, vol. 4, Jan. 2014.

観測対象の特徴とシステム目標

3

- ニホンアマガエル
 - 体長：22 mm ~ 45 mm
 - 生態：夜行性で湿気を好む
 - 水田の畔と水面との境界で、個体同士が1 m 程度の間隔をあけて鳴く習性
 - 5分程度鳴き続け、鳴いている間は移動しない
 - 一回の広告音は0.1~0.2 [s]
 - 基本周波数は約2,000 [Hz]

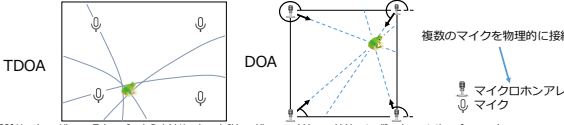
野外にて目視や映像解析でアマガエルの位置を特定することは困難

カエルの鳴き声を利用した位置推定システムを構築 (20 m x 20 m の領域を誤差 50 cm 以内・推定時間 5 分以内を目標)

音源位置推定手法

4

- 音の到着時間差 (TDOA) を利用した手法^[22]
 - マイクを焦点とした双曲線の交点に音源が存在
 - 複数音源の分離が困難
 - 音声を送信する必要があり、多くの通信量が必要
- 音声到来方向 (DOA) を利用した手法
 - マイクロホンアレイからの半直線の交点に音源が存在
 - ノイズに強く、複数音源の場合でも DOA 推定が可能
 - DOA のみが必要なため、少ない通信量で推定可能

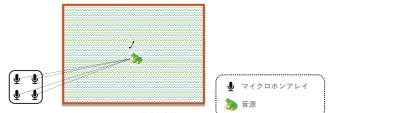


[22] Yasuharu Hirano, Takuya Iwai, Daichi Kominami, Ikkyu Aihara and Masayuki Murata, "Implementation of a sound-source localization method for calling frog in an outdoor environment using a wireless sensor network," in Proceedings of 2016 IEEE International Conference on Wireless Communications Signal Processing and Networking (WISPNET 2016), March 2016.

研究目的とアプローチ

5

- 野外環境における高精度な音源位置推定の実現
 - 様々なノイズ音、機器携行・敷設の難しさの対策が必要
- DOA を用いた位置推定手法の実装
 - 無線ネットワーク化したマイクロホンアレイを利用
 - DOA 推定時のノイズ耐性の向上、機器携行・敷設の簡易化
 - 複数のマイクロホンアレイによって囲まれる領域の外側を高精度に推定可能な方式を実装^[7]
 - マイクロホンアレイの相対位置を容易に取得可能
 - 集音領域の重複が増加し、推定可能領域が増加

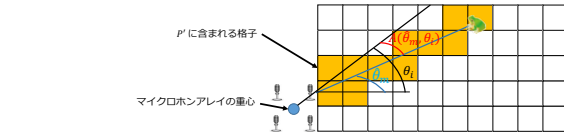


[7] 細川 侑嗣, 小南 大樹, 合原 一光, 村田 正幸, "無線ネットワークにより相互接続したマイクロホンアレイを用いた音源位置推定手法の実装," 電子情報通信学会技術報告 (ASN2017-87), vol. 117, pp. 23-28, Jan. 2018.

実装する位置推定手法

6

- DOA を利用し観測領域を拡張した位置推定手法
 - Grid-based method^[13] を参考
 - 観測領域を格子に分割し、音源が存在する格子を推定
 - マイクロホンアレイの重心から音源の方向への半直線を推定し、半直線と交わる格子の中から推定
 - 観測領域をマイクロホンアレイで囲まれた範囲外に拡張
 - 計算量は格子を絞り込むことで解決



[13] A. Griffin, A. Alexandridis, D. Pavlidis, and A. Mouchtaris, "Real-Time Localization of Multiple Audio Sources in a Wireless Acoustic Sensor Network," in Proceedings of European Signal Processing Conference (EUSIPCO), pp. 306-310, Sept. 2014.

実装するシステムの概要

7

- 無線ノード
 1. 音声のサンプリングを行い、DOA を推定
 2. DOA 推定結果を位置推定用サーバへ送信
- 位置推定用サーバ
 3. 全結果受信後、推定位置を計算
 4. 推定結果の座標を出力

観測領域

音源座標：(4, 12)

無線ノード

位置推定用サーバ

推定座標：(3.8, 10.5)

1. サンプリングし DOA 推定

2. DOA を送信

3. 位置計算

4. 結果出力

全ての機器はアドホックネットワークにより相互接続

実装に使用する機器

8

- 無線ノード
 - Raspberry Pi 3 Model B
- マイクロホンアレイ
 - TAMAGO-03
 - チャンネル数：8
 - サンプリング周波数：16 kHz
 - AD コンバータ：24 bit
- 位置推定用サーバ
 - Panasonic Let's note CF-SX1

無線ノードとマイクロホンアレイ

機器の基本的なスペック

項目	Raspberry Pi 3 Model B	Panasonic Let's note CF-SX1
クロック周波数	1.2 GHz, 4コア	1.9 GHz, 2コア
RAM	1 GB	8 GB

動作の流れと実装

9

無線ノード

- 全ノードが同時に
 - 音声を 8 チャンネルでサンプリング
 - wav 形式で保存

MUSIC[®] を用いた DOA 推定を実施

- 1500 ~ 3000 Hz の周波数帯のみで推定
- 推定結果の粒度は 1° 刻み
- 推定周期は 0.5 秒

時刻同期

ntp を用いた時刻同期

DOA 推定

DOA 推定結果を送信

位置推定

出力

推定結果を出力

位置推定用サーバ

待機時間

DOA の最頻値を取得

音源位置推定手法の実行

- マイクロホンアレイ・観測領域の座標は所与とする
- 格子の分割数は $N = 100$ に設定

受信した DOA 推定結果から最頻値を取得

- DOA 推定結果には外れ値が含まれる場合があるため

[9] R. Schmidt, "Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 34, pp. 276-280, Mar. 1986.

屋外環境における位置推定実験

10

- 実装したシステムの推定精度と計算時間を調査
- 実験方法
 - 周囲に障害物のないグラウンドで実施
 - 下図の位置にマイクロホンアレイと音源を設置
 - 音源座標の真値はレーザー測距計を用いた三点測量で測定
 - 各音源について 30 秒録音して位置を推定

15 m

5 m

0.9 m

(5,15) (5,12) (5,9) (5,6) (5,3)

(0,15) (0,12) (0,9) (0,6) (0,3)

音源設置場所

マイクロホンアレイ

位置推定実験結果

11

誤差 [m]

目標

正しい DOA を与えた場合の性能上限

実験結果

マイクロホンアレイの重心から音源の距離 [m]

- 推定精度
 - 平均誤差 84 cm, 最大誤差 1.87 m, 最小誤差 7.9 cm
 - 屋外実験での誤差は DOA 推定の誤差が原因
- 計算時間
 - 各点の DOA 推定に約 4.45 秒、位置推定に約 0.1 秒

位置推定実験の考察

12

- 推定精度
 - 音源との距離が 7 m 程度では目標精度に到達
 - 実装したシステムを複数設置すると 20 m × 20 m でも推定可能
- 推定時間
 - 目標達成できたが、録音と DOA 推定を並列化すると更なる高速化が可能

まとめと今後の課題

13



■まとめ

- 無線ノードとマイクロホンアレイを用いた、音源位置推定手法の実装と評価を行った
- 実装した機器を用いた位置推定実験により、最小 7.9 cm の誤差で位置を推定できることを示した
 - 一方、最大誤差は 1.87 m で、平均は 0.84 m であった
 - DOA 推定、位置推定に要した時間は計 4.46 秒
 - 実装した位置推定システムを複数設置すると目標達成が可能

■今後の課題

- 実際の野外環境における実験
 - ノイズがある環境での実験
 - 複数音源の場合での位置推定