



Collecting and Analyzing Chorus of Japanese Tree Frogs and its Application to Energy-Efficient Control of Wireless Sensor Networks

大阪大学 情報科学研究科
村田研究室
平野康晴

研究背景

■ 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

- 鳴き声の逆相同期^[1]
- 合唱の周期性
- サテライト行動



■ カエルの合唱行動の詳細なモデル化のためにはカエルの鳴き声によるコミュニケーションの更なる解明が必要

- ◆ カエルの合唱には、いつ、どこで、どの個体が鳴き声を発したかが重要

- カエルのコミュニケーションの記録のための位置推定 (3章)
- カエルのコミュニケーションに着想を得たネットワーク制御 (4章)

[1] D. Sutanty, "A bio-inspired TDMA scheduling algorithm for underwater robotic swarms", in Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, 2013

観測対象の特徴とシステム目標

- ニホンアマガエル
 - ◆ 体長: 22 mm ~ 45 mm
 - ◆ 夜行性
 - ◆ 生息地: 水田等、浅い止水
 - 水田の畔と水面との境界で、個体同士が近づくことなく鳴く習性 (50 cm ほどの間隔)
 - 鳴いている数分間は移動しない

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 (誤差 50 cm 以内・推定時間 5 分以内を目標)

音声の到着角を用いた位置推定手法

- マイクロホンアレイを持つセンサーノード
 - ◆ 音声の到着角 (DOA; Direction of Arrival) を推定
 - MUSIC法^[2] など
 - ◆ 複数の音声と同時に観測されても DOA を推定可能
- 各センサーノードが取得した DOA を収集し、交点を計算
 - ◆ 少なくとも 3 つの DOA が必要となる
 - ◆ 種々の誤差により、DOA の交点は一点に定まらない
 - ◆ 誤差を考慮した様々な位置推定手法が提案されている

DOA の推定と送信

センサーノード → 位置推定サーバ → 位置推定の実行

グリッドベースの位置推定手法^[3]

- 手法概要 (単一音源を対象)
 1. フィールドをグリッドに分割しそれぞれ中心位置を計算
 2. 各マイクロホンアレイと各グリッドとの角度 Ψ を計算
 3. コスト $r_n = \sum_{m=1}^M [A(\theta_m, \psi_{m,n})]^2$ を最小化する n^* を計算
 4. グリッド n^* の中心位置が推定位置
- 比較的高精度かつ低計算量の位置推定手法
 - ◆ 推定精度と計算量はグリッドの粒度に依存

M	センサーノード数
$\psi_{m,n}$	センサーノード m とグリッド n との角度
θ_m	センサーノード m で観測された音声の DOA
$A(X, Y)$	X, Y の角距離 $A(X, Y) = 2 \sin^{-1} \left(\frac{e^{jX} - e^{jY}}{2} \right)$

node 1, node 2, node 3, node 4, 音源, グリッドの中心

実環境での位置推定における既存手法の課題

- センサーノードの設置に関する制約
 - ◆ 全センサーノードの DOA 推定可能範囲内に音源が存在
 - ◆ センサーノードによって囲まれた範囲内に音源が存在

→ 実環境では理想的なセンサーノード配置が困難な恐れ

→ センサーノードを比較的近距離に設置し、その外側の音源の位置を推定する手法を提案

正しいグリッドのコスト < 誤ったグリッドへのコスト

既存手法では、センサーノードで囲まれた範囲外にある音源については推定を誤る可能性

提案手法の概要

- グリッドを用いた位置推定の前に音源の方向を推定
 - ◆ コストを計算するグリッドの数を減らすことで、グリッドの粒度を高くしても少ない計算量で推定可能
- 手法の手順
 1. センサーノードの中心から音源へ方向を推定
 2. センサーノードの中心から推定方向へ引いた直線を通るグリッドのみを抽出し、グリッドを用いた位置推定を実行

1. 音源の方向を推定

2. グリッドを選択

● センサーノード ● センサーノードの中心 ● 音源 — DOA → 推定角度 □ グリッド ■ 抽出されたグリッド

音源方向の推定方法

- 各センサーノードが取得したDOAとの角距離の合計 e が最も小さくなる方向 θ^* に音源が存在すると仮定
 1. S 個の角度の候補の集合 θ を生成 ($\theta_s = \frac{2\pi n}{S}, 0 \leq n < S$)
 2. 各 θ_s について、コスト e_{θ_s} を計算 $e_{\theta_s} = \sum_{m=1}^M [A(\hat{\theta}_m, \theta_s)]^2$
 - コストは角距離の二乗和
 3. $\theta^* = \text{argmin}_{\theta_s} e_{\theta_s}$

M	センサーノード数
$\hat{\theta}_m$	センサーノード m で観測された音声の到着角
$A(X, Y)$	X, Y の角距離
	$A(X, Y) = 2 \sin^{-1}(\frac{e^{iX} - e^{iY}}{2})$

● センサーノード ● センサーノードの中心 ● 音源 — DOA → 推定角度の候補 → 角距離

単一音源の位置推定シミュレーション

- シミュレーション設定
 - ◆ センサーノードは 5 m 以内の音源の DOA を検出可能
 - 本発表では DOA 誤差が無い場合の結果を掲載
 - ◆ 観測範囲内の各点に音源を一つ置いた際の精度を調査
- シミュレーション結果
 - ◆ 既存手法では推定を大きく誤った点も推定可能
 - ◆ 一度の推定にかかる時間は 30 秒程度 (Xeon E5-2600)

既存手法

提案手法

9

まとめと今後の課題

- 修士論文のまとめ
 - ◆ 既存手法では行うことができなかった、センサーノードで囲まれた範囲の外側の位置推定手法を提案した
 - 単一音源、複数音源の場合についてシミュレーションによる評価を行い、DOA に誤差のある環境下で目標精度を達成した
 - ◆ カエルの合唱の長期ダイナミクスを無線センサーネットワークの送信スケジューリング制御に応用した
 - 遅延時間が増加するものの、高い省電力性が得られた
- 今後の課題
 - ◆ 計算の高速化
 - リアルタイムでの推定を目指す
 - ◆ 実環境電でのカエルを対象とした実験による推定精度調査

10