



### 研究背景

1

■ 生物の生態のモデル化と情報通信分野への応用

- カエルの独特な音声コミュニケーション
  - 有限の体力を効率的に使い、群れとして一晩合唱を継続
  - メスを惹き寄せるのに十分な数のオスが発声
  - 鳴き声の逆相同期
- 合唱の周期性
- サテライト行動
  - 自身より魅力的なオスの付近で鳴かずに待機
  - 魅力的なオスに惹きつけられたメスを獲得する戦略

➡ サテライト行動に着想を得た省電力なネットワーク設計

### 研究の目的とアプローチ

2

■ 研究の目的

- カエルの振る舞いにおけるエッセンスを抽出し、適用先に合わせた数理モデルとして組み込むことの有効性を示す

■ アプローチ

- カエルの音声コミュニケーションにおける空間構造データの収集 (3 章)
  - 無線センサーネットワークを利用したリアルタイムな位置推定が可能なシステムの構築
- 空間構造データに基づいた数理モデルの構築
  - 共同研究者と共に構築
- 数理モデルに基づいた端末のスリープ制御 (4 章)
  - カエルのサテライト行動を再現する数理モデルを用いることで、一定の性能を満たしながら長寿命化を実現する無線端末のスリープ制御が可能であることを示す

### カエルの行動の数理モデル (概要)

3

■ 状態遷移モデルによるモデル化

- 合唱 (発声 or 休止) とサテライトの切り替わりを表現
- 状態遷移確率は疲労度、体力、連続発声回数により決定
  - 状態 ( $s_n$ ): カエルがとる行動を決定
    - 発声状態 ( $s_n = 0$ ): 一定間隔で発声
    - 休止状態 ( $s_n = 1$ ): 疲労度が回復するまで発声せずに休憩
    - サテライト状態 ( $s_n = 2$ ): 発生している個体のそばで休憩
  - 疲労度 ( $T_n$ ): 身体的な疲労を表現
    - 発声するたびに増加し、休息によって回復
  - 体力 ( $E_n$ ): 残余エネルギーを表現
    - 発声するたびに減少し、回復はしない
  - 連続発声回数 ( $L_n$ ): メスに対する魅力度

### 想定するネットワーク

4

■ LoRaWAN : Long range wide area network

- LPWA の規格の一つである LoRa を用いた広域ネットワーク
- 従来の無線通信と同程度の送信出力で長距離の通信を実現
- 端末の通信クラスが 3 種類で切り替え可能
  - Class A (uplink) : 自身の送信直後のタイミングのみ受信可能
  - Class B (downlink) : 定期的なタイムスロットで受信が可能
  - Class C (up/down) : 常に送受信可能
- 想定する動作
  - センサ機能を付与したエンドデバイスが一定間隔で気温・湿度をセンシングし、ゲートウェイに送信
  - 近隣に他端末がある場合はセンシングが不要

### エンドデバイスとカエルの対応関係

5

一定間隔で発声 → 疲労が回復するまで待機 → 魅力的な個体の近くで待機

発声状態 → 休止状態 → サテライト状態

Class C: センシングデータを送信 (バッテリー情報をヘッダに付与) ↔ Class A スタンバイ (一定間隔でセンシング) ↔ Class A スリープ

Class C ↔ Class A スタンバイ (周りのバッテリー残量と比較を行うために定期的に Class C に遷移)

## シミュレーション

6

■ 構築した数理モデルをエンドデバイスに適用した際のカバレッジとネットワークの寿命を評価

## ■ 設定

- 1km × 1km の領域に 100 台の端末をランダムに配置
- カバレッジの計算方法
  - 領域上の格子点に対しカバレッジを計算
    - センシング可能領域：端末を中心とする半径 150m の円内
    - 格子点の総数に対するセンシングされている格子点の割合を評価
- 初期のバッテリー残量は 500mAh
  - 送受信、スタンバイ時にバッテリーを消費
    - 消費電力は LoRaWAN の無線モジュール<sup>[32]</sup> のデータシートを基に決定

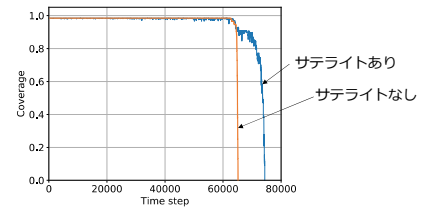
[32] "3x1276-7-8-9-DataSheet" <https://www.tti.com/~/media/tycoelectronics/3x1276-7-8-9-DataSheet/3x1276-7-8-9-DataSheet.pdf>, available at Jan. 2020.

## シミュレーション結果

7

■ カバレッジを長期間保つことが可能

- 自身よりもバッテリーがある端末が近隣に存在する場合にスリープするため
- フィールドの80%をセンシング可能な時間が10%増加



## まとめと今後の課題

8

## ■ まとめ

- 屋外実験により、複数音源の音声到来方向推定が可能であることを示した
  - 音源数推定が有効であることを示した
- シミュレーションにより、実装している手法が精度を保ちつつ、計算量を削減できていることを示した
- カエルの合唱とサテライト行動を LPWAN のカバレッジ設計に応用できることを示した
  - 80% の領域のセンシング可能な時間が 10% 増加

## ■ 今後の課題

- 実環境における複数音源の DOA 推定実験
- 複数音源の位置推定手法の評価
- 数理モデルの応用についてさらなる検討