

フィールドにおける音源定位のための 音声視覚化デバイス「カエルホタル」の設計

水本 武志[†] 合原 一究[‡] 高橋 徹[†] 尾形 哲也[†] 奥乃 博[†]

[†] 京都大学大学院 情報学研究科 知能情報学専攻 [‡] 京都大学大学院 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻

1. はじめに

本稿では、音声視覚化デバイス「カエルホタル」による鳴き声の視覚情報へのモダリティ変換と、視覚情報に基づくフィールドでの音源定位手法についてを報告する。

両生類のコミュニケーションに関する研究は古くから行われている [1]. 我々はニホンアマガエルを対象とした鳴き声のコミュニケーションのモデル化を行ってきた [2,3]. 合原らは室内での音声データを対象としていたのに対して我々は、モデルのフィールドへの拡張に向けて、2008年5~7月まで京大農学部の水田でアマガエルの鳴き声を20本のマイクで収録した。モデルの構築にはアマガエルの位置と鳴く時刻が必要とされるが、その情報の取得が困難であった。というのは、他の生物[‡]の鳴き声、近隣の水田のアマガエルの鳴き声などが収録音に混合しており、20chの音源分離では対応できなかったからである。そこで、まずはアマガエルの定位を目指すことにした。

一般的な野生生物の定位手法である目視やラジオテレメトリー法 [4,5] の適用は難しい。また、従来の音源定位手法は、多くが室内環境が対象であり、フィールドで鳴き声を手がかりに定位するには次の2つの問題がある。(1) 対象範囲がはるかに広い、(2) 未知雑音源が無数に存在。従って、音情報のみによる定位には大規模なマイクアレイ (100ch 程度) が必要と予想され、コストや解析面から現実的ではない。

以上の検討から我々は、音源を複数のカエルホタルによって視覚化し、画像処理による音源定位システムを提案する。本システムでは生物が鳴いたときにその近傍のカエルホタルが光る様子を撮影し、光の情報から音源位置を定位する。また、シミュレーションによって本手法の有効性を検証した。

2. フィールドにおける音源定位システム

2.1 対象とするフィールドと生物

本稿で対象とするフィールドは水田、対象とする生物はアマガエルである。水田は一辺が5~20[m]の長方形で、水田の周囲に畦道が存在する。また、アマガエルは従来の調査より、(1) 2~3[m]程度の間隔をおいて疎に分布、(2) 水田と畦道の境界付近に存在、(3) 発声中には移動しないという性質がわかっている。

2.2 定位システムの設計

我々は、次の方針で定位システムを設計した。

- 汎用性: 生物一般の音源定位システムを目指す。特にフィールドの規模は変化が大きいので、本稿ではスケーラビリティを重視する。
- 生態系への影響の軽減: 本システムの使用による生物やフィールドへの影響を最小限に抑える。

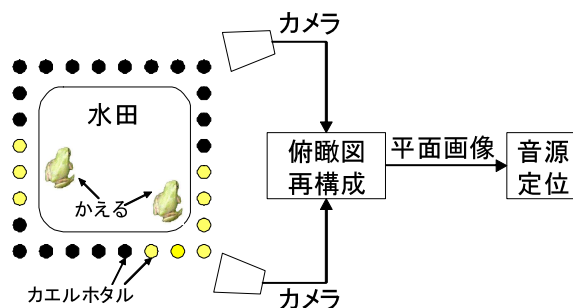


図1: 定位システム

本方針に従い、多数のカエルホタルで生物の鳴き声を光に変換し、ビデオカメラで撮影した画像に基づく定位システムを提案する。カエルホタルとカメラの数の増減でスケーラビリティを実現し、生物と非接触なシステムであるので、生態系への影響は小さい。

定位システムの概要を図1に示す。まず、水田の畦道にカエルホタルを多数設置する。次に、カエルホタルの点滅の様子を複数台のビデオカメラで撮影する。そして、撮影した複数の画像から水田の俯瞰図を再構成し、俯瞰図から音源の位置を画像処理によって推定する。

2.3 定位システム実現上の課題

本システムの実現上の課題は次の4点である。ただし、本稿ではデバイスの設計と定位手法を扱うので、俯瞰図は得られたものとし、3. は本稿では扱わない。

- 音源定位デバイスの設計 (3.1 節)
- 水田への配置 (3.2 節)
- 複数台のカメラからの俯瞰図再構成 (割愛): OpenCV などを用いて、複数台のカメラから三次元空間を構成し、俯瞰図を作成する。
- 俯瞰図からの音源定位 (4. 節)

3. 音源定位デバイス「カエルホタル」

3.1 カエルホタルの設計

カエルホタルはマイク、増幅回路、LEDから構成され、マイクで音を検知するとLEDが点灯する。カエルホタルの設計上で、要求される仕様は次のとおりである。

- 安価: スケーラビリティを満たすため、安価なデバイスが必要である。それにより、フィールドの広さに応じたシステム拡張や故障時の交換が容易になる。
- デバイスの協調: フィールドには未知雑音源が存在するので、個々のデバイスを信頼せず、複数デバイスの組み合わせによる定位が必要である。
- 防水可能: 水田で本システムを用いるので防水は必須である。
- チューニング可能: 他の生物・フィールドへの汎用性をもたせるため、環境に応じてチューニングできる必要がある。帯域フィルタなどが有効であるが、本稿では音量の制御のみを対象とした。

Development of a Sound Visualizing Device "Frog Firefly" for Sound Source Localization in Field: Takeshi Mizumoto, Ikkyu Aihara, Toru Takahashi, Tetsuya Ogata, and Hiroshi G. Okuno (Kyoto Univ.)

[‡] ツチガエルやオケラなど

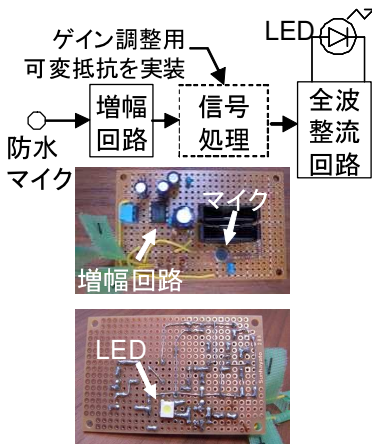


図2: ブロック図と試作品の写真

この要求に基づいてカエルホタルを設計した。ブロック図と試作品の写真を図2に示す。本デバイスは、マイクへの入力音を増幅し、処理を施して全波整流し、LEDを駆動する。ただし、本稿では音量制御が対象なので信号処理には可変抵抗を用いた。帯域フィルタは現場での運用を元に検討する。要求1,2から本デバイスを構成する回路部品は最小限とし、試作品はリード部品であるものの、チップは一般に流通している部品を用いた。要求3には、樹脂等で固め、防水型のマイクを用いれば防水できる。要求4は、可変抵抗で満たした。

3.2 カエルホタルの配置

従来の調査より、アマガエルは畦道に沿って点在することがわかっているため、カエルホタルは畦道に配置する。また、畦道は幅1[m]、長さ5~10[m]なので、数百個の配置を考える必要がある。以下では、安定した定位精度、環境への影響軽減のための回収の容易さを検討する。

配置方法には、(1) ランダム配置、(2) 等間隔配置がある。ランダム配置は設置コストは小さいが回収は困難である。また、密度が低い領域では定位精度が落ちる可能性がある。一方、等間隔設置は安定した性能が期待でき、回収も比較的容易だが、設置の手間は大きい。

本問題の解決策として、マットの上に配置し、畦道に敷く。本配置方法によって、密度のむらが少ないことによる定位精度の安定と容易な設置・回収の両者が実現される。

4. 俯瞰図からの音源定位手法

次のように問題を設定する。

目的: 点光源が写った2値画像からの音源位置推定。
 入力: 点灯したカエルホタルの位置が1, その他が0である2値画像。
 出力: 音源の推定位置
 仮定: (1) 音源同士の距離は十分大きい。
 (2) 音源は長方形の淵に存在する。

音源定位手法として、光ったカエルホタルの周辺画素への投票によるアプローチをとる。具体的な手続きは以下の通り。ただし、俯瞰図を $f(x,y)$ 、投票数を $g(x,y)$ 、平滑化した投票数を $g_{smooth}(x,y)$ 、2値化した投票数を $g_{binary}(x,y)$ で表す。

1. $f(x_0,y_0)$ が1であるすべての点について、 (x_0,y_0) を中心とした半径 r の円内の $g(x,y)$ を1増やす。

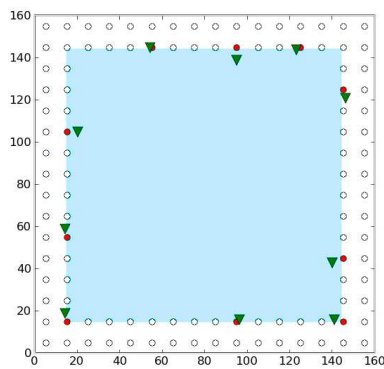


図3: 実験で想定した状況: 白が畦道、水色が水田。三角がカエル、丸がカエルホタル (赤は点灯、白は消灯) を表す。

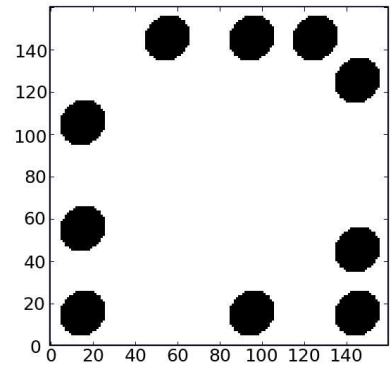


図4: ラベリング結果: 黒がラベルづけされた領域。

2. $g(x,y)$ を 3×3 の平均化フィルタ平滑化する。

$$g_{smooth}(x,y) = \frac{1}{9} \sum_{i=x-1}^{x+1} \sum_{j=y-1}^{y+1} g(i,j)$$

3. $g_{smooth}(x,y)$ を閾値 th で2値化する。

$$g_{binary}(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{if } g_{smooth}(x,y) > th \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

4. $g_{binary}(x,y)$ の隣り合う点が1なら同じラベルをつけるという方法で連結成分をラベリングする。
5. 各ラベルの重心位置を音源位置とする。重心は、ラベルに属する点の平面座標を各軸について平均をとることで求める。

5. 実験

シミュレーションによって本定位手法の有効性を検証した。カエルホタルとカエルの配置を図3に、ラベリングした結果を図4に示す。図の全体は 160×160 ピクセルとし、そのうち周囲15ピクセルを畦道とした。畦道上にカエルホタルを2列配置し、畦道と水田の付近に十分な間隔をあけて音源を10個配置した。図4より、カエルごとに異なるラベルをつけることに成功した。また、各ラベルの重心とその最近傍のカエルとのユークリッド距離は平均3.8ピクセルであった。

6. おわりに

本稿では、水田におけるアマガエルの定位のための、音声視覚化デバイス「カエルホタル」の設計と音源定位手法について報告した。

現段階ではまだシミュレーションであるので、今後、実証実験を行う。そのための課題は、複数カメラからの俯瞰図の再構成、カエルホタルのノイズに頑健な定位、時系列情報の利用である。5月から、実際のフィールドで使用することでより詳細な問題を洗い出していく。

謝辞 本研究の一部は、科研費、GCOE から援助をうけた。

参考文献

- [1] Michael J. Ryan, editor. *Anuran Communication*. Smithsonian, 2001.
- [2] I. Aihara *et al.*. Nonlinear dynamics and bifurcations of a coupled oscillator model for calling behavior of japanese tree frogs (*hyla japonica*). *Mathematical Biosciences*, No. 214, 6-10, 2008.
- [3] 合原, アマガエルの合唱に潜む非線形ダイナミクス, *科学*, **78:11** (2008), 1267-1270. 岩波書店.
- [4] 平岡 他. 超音波バイオテレメトリーを用いたスズキの移動と回遊の記録. *日本水産学会誌*, Vol. 69, No. 6, 910-916, 2003.
- [5] 荒井. ようこそ、バイオロギングサイエンスへ! (水産研究のフロントから). *日本水産学会誌*, Vol. 72, No. 4, 752, 2006.