

令和元年6月17日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00294

研究課題名(和文) 野鳥の歌声解析を対象とした屋外音環境理解

研究課題名(英文) Outdoor Scene Understanding for Bird Song Analysis

研究代表者

中臺 一博 (Nakadai, Kazuhiro)

東京工業大学・工学院・特任教授

研究者番号：70436715

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：複数のマイクロホンアレイで収録した野鳥の歌声音響信号から、何の野鳥がいつ、どこから、どのように歌っているかを歌声イベントとして抽出し、歌声イベント間の関係から野鳥同士の関係性を構造化・可視化するロボット聴覚と機械学習技術の融合した屋外音環境理解技術を開発した。また、専門家でも使いやすい野鳥歌声解析用の屋外音環境理解システムを構築し、人手で行われてきた野鳥の歌声解析作業の負担を軽減し、動物行動学・生物音響学分野に貢献した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、従来のロボット聴覚技術と野鳥歌解析技術の欠点を相補的に補うことで、人手を介せずに野鳥の歌声解析に適用可能な屋外音環境理解の枠組みを構築する点で学術的意義が大きい。また、基礎的な研究課題への取り組みだけでなく、野鳥行動解析の専門家を分担者に招くことで、ユーザ視点での技術課題抽出を行い、必ずしも技術の専門家でない野鳥の行動解析の研究者であっても、簡単に操作できる自動歌声解析システムを構築することで、実作業の負担軽減を狙う点で社会的な意義が高い。

研究成果の概要(英文)：From the singing voice sound signals of wild birds recorded by multiple microphone arrays, we developed outdoor sound environment understanding technology that extracts structured information on what, when and where of bird singing voice events, and that estimates the relationship between wild birds, by integrating robot audition and machine learning technologies. In addition, we have built an outdoor sound environment understanding system for bird song analysis that is easy to use even for a non-expert, and reduce the burden of singing voice analysis work on wild birds that has been performed manually, which resulted in contributing to the field of animal behavioral sciences and bioacoustics.

研究分野：ロボット聴覚、音環境理解

キーワード：ロボット聴覚 人工知能 音響信号処理 行動学 情報システム

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

実環境における音環境理解は、2000年に本研究代表者の中臺らが提案した日本発の研究テーマ「ロボット聴覚」で盛んに研究が行われている。ロボット聴覚はロボット最大の国際会議IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)でも使用頻度上位のキーワードに挙げられるなど国内外に広がりを見せていた。また、ロボット聴覚の屋外環境への展開は、内閣府のImPACT「タフ・ロボティクス・チャレンジ」や基盤研究(S)「ロボット聴覚の実環境理解に向けた多面的展開」の中で進められていた。例えば、音によるホース型ロボットの姿勢推定技術や無人航空機(UAV)に搭載したマイクロホンアレイを用いてプロペラ音や風切り音が存在する高騒音下で要救助者音声の検出技術など信号処理面を中心に研究が進められており、研究は進展しているものの、信号処理へ偏重が見受けられた。一方、野鳥の歌声解析は、動物行動学・生物音響学的な観点から取組まれているが、人が耳を澄まして野鳥の種類、方向、時刻のメモを取り、これを基に集中力と時間を要する人手の解析を行っており、人手であるがゆえに統制された解析結果を得ることが難しく、後から再度聴取して確かめることもできないという問題があった。海外では野鳥の歌声を収集するプロジェクトが発足し、機械学習を適用した野鳥の種類識別研究が始まっているが、いずれもシングルマイク収録であるため、行動解析で重要な野鳥の位置検出は対象外であった。また、ダイナミックレンジの大きい屋外雑音への対応も未考慮であり、ロボット聴覚の視点が欠如していたといえる。

2. 研究の目的

本研究では、自然環境で収録した野鳥の歌声に対する屋外音環境理解を対象として、上述の2つの分野の欠点を補い合うようロボット聴覚と機械学習技術を融合し、屋外自然環境で収録した野鳥の歌声解析に適用できる屋外環境理解の枠組みを構築すること、提案した枠組みに基づき、専門家でなくても使いやすい野鳥歌声解析用の屋外音環境理解システムを構築し、人手で行われてきた野鳥の歌声解析作業の負担を軽減することを目的とする。具体的には、複数のマイクロホンからなるマイクロホンアレイで収録した音響信号から、何の野鳥がいつ、どこから、どのように歌っているかを歌声イベントとして抽出し、歌声イベント間の関係から野鳥同士の関係性を構造化・可視化する。また、非専門家でも簡単に使用できるインタフェースを備えた屋外音環境理解システムを構築し、これまで人手で分析をしていた野鳥の歌声解析を自動/半自動で実現し、動物行動学・生物音響学分野への貢献を狙う。提案手法をセミなど他の生物の鳴き声の分析にも適用し、屋外音環境理解という汎用的な枠組み構築を目指す。

3. 研究の方法

図1に示す屋外環境理解の枠組みの構築を目指すため、以下の4項目に取り組む。

1. 低次情報抽出手法の確立: when (いつ), where (どこ)
 - 複数のマイクロホンアレイを用いた高性能な3D音源定位, 検出法確立
 - 環境音から複数のマイクロホンアレイの位置, 向き, 自動校正法の確立
2. 高次情報抽出手法の構築: what (野鳥の種類), how (歌い方/歌の種類)
 - 歌声をフレーズ単位で認識し, 野鳥の種類(what)だけではなく, その時間的なつながりから「どのような(how)」歌い方なのか(歌の種類)を識別する手法を構築
3. 低次情報と高次情報の統合による屋外環境理解の枠組み構築
 - 低次情報と高次情報間でエラー訂正を行い, これらから構成される最尤の歌声イベントを生成する手法の構築
 - 歌声イベントのシーケンスから, 同種, および異種野鳥間の関係性を抽出し, 歌い方やコミュニケーションの傾向を推測する技術を構築
4. 野鳥の歌声収録・解析のための使いやすいハードウェア, ユーザインタフェース構築
 - 防水, 防塵, 小型, 軽量の長時間収録可能なマイクロホンアレイの設計・構築
 - 収録データ, 抽出情報のわかりやすい可視化, および容易なアノテーションができるユーザインタフェースの設計と構築

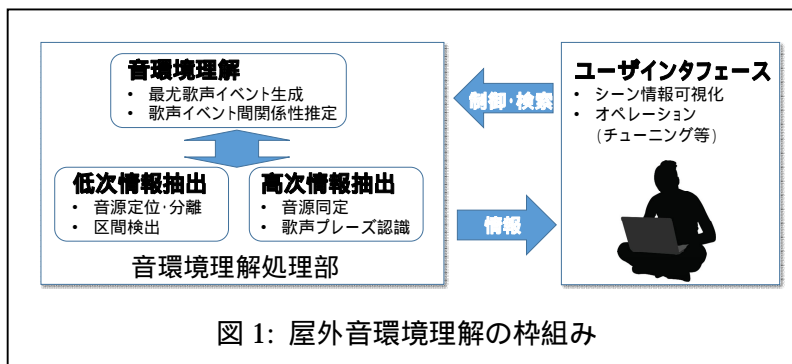


図1: 屋外音環境理解の枠組み

4. 研究成果

低次情報の抽出については、複数のマイクロホンアレイを用いて音源位置を推定する三角測量ベースの手法を新規に提案した。複数のマイクロホンアレイを用いた音源位置推定を行う場合、雑音の影響で一意に音源位置が推定できない、複数の音源が存在する場合にゴースト音源が出現する場合がある、といった課題の抽出、および解決を図った。実際に、複数台のマイクロホンアレイを用いて、2D, 3D 定位を行う手法を開発し、そのオンライン処理を実現した。さらに、提案手法を利用する際のガイドラインを策定した。こうした一連の研究に対して、IEEE/SICE SII 2019 で優秀論文賞、ロボット学会学術講演会国際セッションで最優秀論文賞、情報処理学会全国大会で優秀講演賞を受賞するなど分野の異なる複数の学会で高い評価を得ることができた。

また、A/Dの揺れを補正する手法についてベイズモデルを用いた手法、およびマイクロホンアレイ中の各マイクロホンの位置ずれに対して同時確率モデルを用いて構成する手法を提案した。いずれの手法もマイクロホンアレイを適用する際の問題を解決する手法であり、実用まではさらなる研究が必要であるものの、その研究としての価値が認められ、後者については、情報処理学会全国大会で優秀講演賞を受賞した。

高次情報の抽出については、野鳥の種類識別に取り組み、CNNベースの手法で90%を超える認識率を達成した。また、位置情報を用いることにより、音源同定の性能を向上する手法も構築した。本手法は雑誌論文文化を行うとともに、日本ロボット学会研究奨励賞を受賞した。さらに、この手法を発展させ、GPU処理化を行い、リアルタイムの深層学習ベース野鳥歌分類器を構築した。その評価と共に、ロボット分野のトップの国際学会であるIEEE/RSJ IROS 2018で発表を行った。この際に、マイクロホンアレイ処理で生じる歪みが、識別性能に悪影響を与えていることを考慮して、この歪みを回復する双方向長期短期記憶(Bi-Directional Long-Short Term Memory)ベースの音響信号修復法を開発、分離歪みを80%程度回復することができることを示し、その有効性をロボット分野の国際学会 IEEE RO-MAN 2018で発表した。

音響理解の枠組み構築については、音環境理解のフレームワークとして、ロボット聴覚のオープンソースソフトウェアHARKを用いたGUIインタフェースとして開発を行っているHARKBirdを改良し、インタラクティブに定位・識別・アノテーション処理ができる機能を追加した。HARKBirdを用いたプレイバック実験によって、ウグイスの行動分析を行い、L型(縄張り主張型)およびH型(近隣個体威嚇型)に分類できることを示した。この分析結果は国際ジャーナル誌(Journal of Ecoacoustics)に採録された。

使いやすいシステムの構築という点では、屋外用のマイクロホンアレイDACHOを開発した。防水・防塵および長期収録を行うタイマー機能を有しており、このデバイスを用いて、4か月以上にわたる定点収録を行った。また、DACHOをさらに改良し、複数デバイス同期や校正が容易になるよう高性能クロック・IMU・コンパスを搭載したDACHO v2を開発した。さらに、これまで開発した音源定位、音源識別手法を統合したHARK-VRシステムを開発した。このシステムは複数のマイクロホンアレイからの入力信号のみを用いた仮想現実(VR)ベースのシーン再構成システムであり、直感的に制御可能なUIを有しているため、ユーザの操作に応じて、フレキシブルに野鳥の歌のシーン再構築することができる。

データの収集と評価は、鳥同士のコミュニケーションの解析を対象にした名古屋大学の演習林、オオヨシキリの位置同定を対象にした長良川流域、多様な鳥の種類同定までを視野に入れた千葉県印旛沼近辺の市街地、UCLAのTaylor教授らが長年収録を続けている米国の森林でそれぞれマイクロホンアレイを用いた収録を行った。上述の手法の評価のため用いた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 10件)

1. Daniel Gabriel, Ryosuke Kojima, Kotaro Hoshiba, Katsutoshi Itoyama, Kenji Nishida, Kazuhiro Nakadai: 2D sound source position estimation using microphone arrays and its application to a VR-based bird song analysis system. *Advanced Robotics* 33(7-8): 403-414 (2019) 査読有
2. Suzuki Reiji, Sumitani Shinji, Naren Naren, Matsubayashi Shiho, Arita Takaya, Nakadai Kazuhiro, Okuno Hiroshi G.: "Field observations of ecoacoustic dynamics of a

Japanese bush warbler using an open-source software for robot audition HARK”,
Journal of Ecoacoustics, EYAJ46(2), 2019. doi: 10.22261/JEA.EYAJ46 査読有

3. Kazuhiro Nakadai, Hiroshi G. Okuno, Takeshi Mizumoto: Development, Deployment and Applications of Robot Audition Open Source Software HARK. JRM 29(1): 16-25 (2017) 査読有
4. Shiho Matsubayashi, Reiji Suzuki, Fumiyuki Saito, Tatsuyoshi Murate, Tomohisa Masuda, Koichi Yamamoto, Ryosuke Kojima, Kazuhiro Nakadai, Hiroshi G. Okuno: Acoustic Monitoring of the Great Reed Warbler Using Multiple Microphone Arrays and Robot Audition. JRM 29(1): 224-235 (2017) 査読有
5. Ryosuke Kojima, Osamu Sugiyama, Kotaro Hoshiba, Kazuhiro Nakadai, Reiji Suzuki, Charles E. Taylor: Bird Song Scene Analysis Using a Spatial-Cue-Based Probabilistic Model. JRM 29(1): 236-246 (2017) 査読有
6. 中臺 一博: オープンソースコミュニティに貢献するということ, 映像情報メディア学会誌, 71, 647-653, 2017. 査読有
7. 中臺 一博: マイクロホンアレイを用いた音源定位・分離ソフトウェア入門, システム制御情報学会誌, 62, 42-49, 2018. 査読有

(他省略)

[学会発表](計 53 件)

1. Daniel Gabriel, Ryosuke Kojima, Kotaro Hoshiba, Katsutoshi Itoyama, Kenji Nishida, Kazuhiro Nakadai: Design and assessment of multiple-sound source localization using microphone arrays. In Proceedings of the 2019 IEEE/SICE International Symposium on System Integrations (SII 2019): 199-204 (Best Paper Award 受賞)
2. Shinji Sumitani, Reiji Suzuki, Shiho Matsubayashi, Takaya Arita, Kazuhiro Nakadai, Hiroshi G. Okuno: Extracting the Relationship between the Spatial Distribution and Types of Bird Vocalizations Using Robot Audition System HARK. In Proceedings of the 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2018): 2485-2490
3. Ryosuke Kojima, Osamu Sugiyama, Kotaro Hoshiba, Reiji Suzuki, Kazuhiro Nakadai: HARK-Bird-Box: A Portable Real-time Bird Song Scene Analysis System. In Proceedings of the 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2018): 2497-2502
4. Ryosuke Taniguchi, Kotaro Hoshiba, Katsutoshi Itoyama, Kenji Nishida, Kazuhiro Nakadai: Signal Restoration based on Bi-directional LSTM with Spectral Filtering for Robot Audition. In Proceedings of the 27th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2018): 955-960

(他省略)

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年:
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等
<http://www.ra.sc.e.titech.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：鈴木 麗璽

ローマ字氏名：SUZUKI, Reiji

所属研究機関名：名古屋大学

部局名：情報学研究科

職名：准教授

研究者番号（8桁）：20362296

研究分担者氏名：小島 諒介

ローマ字氏名：KOJIMA, Ryosuke

所属研究機関名：京都大学

部局名：医学研究科

職名：特定助教

研究者番号（8桁）：70807651

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。