

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 23 日現在

機関番号：12601
研究種目：基盤研究(A) (一般)
研究期間：2018～2020
課題番号：18H04089
研究課題名(和文) 野生動物装着センサ網のための時間情報ネットワーク

研究課題名(英文) Time information network for Wildlife Wearable Sensors

研究代表者
瀬崎 薫 (Sezaki, Kaoru)

東京大学・空間情報科学研究センター・教授

研究者番号：10216541
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,000,000円

研究成果の概要(和文)：従来の野生動物調査用ウェアラブルセンサは、生息地特有の電源・情報インフラの制限やセンサ装着重量の制限がある。これにより広域観測や長期運用を行うことが困難であり、観測可能な範囲が制限される。そこで本提案では次のサブテーマによる解決をめざした。A) どうぶつ間ネットワーク：身体構造と相互作用に最適化した省電力な動物装着センサ網、B) どうぶつタッチ&ゴー：NFCタグ装着の野生動物を誘き出してピット記録回収する機構、C) 飛行機音を用いた位置情報取得：環境音を用いて動物装着型センサでシンクノード上と同等の時刻・位置情報取得を行う補正手法

研究成果の学術的意義や社会的意義
移動する人間や動物にセンサを装着し、行動や周辺環境をモニタリングする構想はセンサネットワーク研究の初期から見られる。しかし野生動物を対象とした場合、自動車や人間のように定期的に充電する機会は無い。また取得されたセンサ情報を得るには、最終的にインターネット等の外部ネットワークと接続可能なシンクノードに野生動物自身が接触しなければならないが、その頻度は極めて少ない。そこでセンサノードの長寿命化・省電力化・位置情報精度が非常に重要な課題となる。本研究はこの課題の解決に資するシステム設計を明らかにした意義がある。ここで得られた知見は野生動物保全のための研究活動に応用される。

研究成果の概要(英文)：Conventional wearable sensors for wildlife research have habitat-specific power supply / information infrastructure restrictions and sensor mounting weight restrictions. This makes wide-area observation and long-term operation difficult, and the observable range is limited. Therefore, in this proposal, we aimed to solve the problem by the following sub-themes. A) Animal-to-animal network: Power-saving animal-mounted sensor network optimized for body structure and interaction, B) Animal touch & go: Mechanism for attracting and collecting wild animals with NFC tags, C) Airplane Position information acquisition using sound: A correction method that uses environmental sounds to acquire time and position information equivalent to that on a sync node with an animal-mounted sensor.

研究分野：センサ・ネットワーク

キーワード：ウェアラブル 野生動物 lot

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

移動する人間や動物にセンサを装着し、行動や周辺環境をモニタリングする構想はセンサネットワーク研究の初期から見られる。しかし野生動物を対象とした場合、自動車や人間のように定期的に充電する機会はない。また取得されたセンサ情報を得るには、最終的にインターネット等の外部ネットワークと接続可能なシンクノードに野生動物自身が接触しなければならないが、その頻度は極めて少ない。そこでセンサノードの長寿命化・省電力化・位置情報精度が非常に重要な課題となる。そこで、代表者は上記の問題解決のため、動物を取り巻くコンテキストに着目した。野生動物とはその生息環境に適応した動物(規則的に動くモノ)である。つまり、動物の状況(コンテキスト)に基づいた動物用のコンテキストウェアシステムを実現すれば、装着センサの省電力・長寿命化のサービスを実現できると考えた。

2. 研究の目的

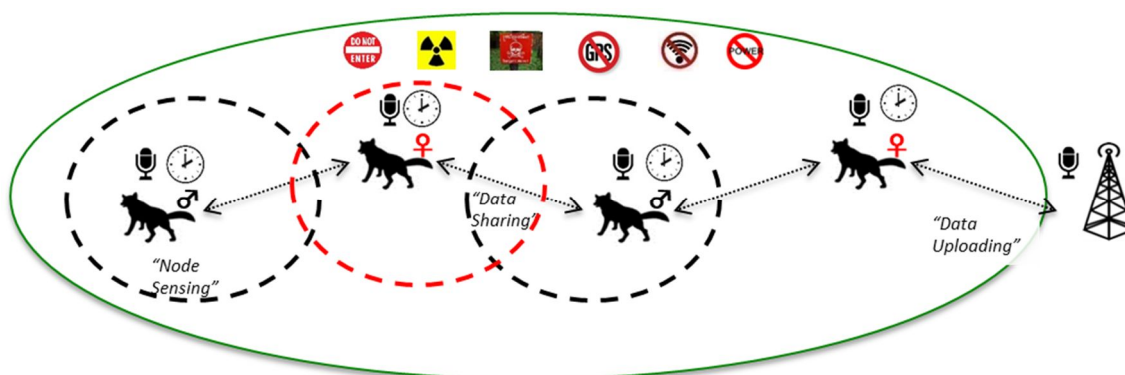


図1：コンセプトイメージ

本研究は「野生動物自身がウェアラブルセンサを持ち歩き、単独行動時に取得した空間情報を、集団行動時に省電力で共有し、シンクノードまで誘き出して非接触通信(充電)して回収する機構(図1)」の実現を目的としている。従来の野生動物調査用ウェアラブルセンサは、生息地特有の電源・情報インフラの制限やセンサ装着重量の制限がある。これにより広域観測や長期運用を行うことが困難であり、観測可能な範囲が制限される。そこで本提案では次のサブテーマによる解決をめざす。

- A) どうぶつ間ネットワーク：身体構造と相互作用に最適化した省電力な動物装着センサ網
- B) どうぶつタッチ&ゴー：NFC タグ装着の野生動物を誘き出してピット記録回収する機構
- C) 飛行機音を用いた位置情報取得：環境音を用いて動物装着型センサでシンクノード上と同等の時刻・位置情報取得を行う補正手法

3. 研究の方法

A) どうぶつ間ネットワーク： 移動する人間や動物にセンサを装着し、行動や周辺環境をモニタリングする構想はセンサネットワーク研究の初期から見られる。しかし、野生動物を対象とした場合、装着可能なデバイスの重さは体重 2%にかぎられ、そして自動車や人間のように定期的に充電する機会はない。そこでセンサノードの長寿命化・省電力化が非常に重要な課題となる。無線センサノードの消費電力に着目した時、加速度センサの稼働とセンサ間通信では、前者

の方が電力消費が100分の1になる。一方、森林の地表付近に生息する陸生哺乳類は、異なる個体と遭遇した時には、単独行動をしいる場合とは異なる行動を示すことが動物行動学的に知られている。この、異なる個体と遭遇した場合、動物に装着したセンサノードがお互いの通信半径内に存在する確率が高い。そこで、このような複数の動物間の遭遇を特徴量として「検知」した場合にのみセンサノードの通信をアクティブにし、それ以外のときは積極的にスリープ状態にすることで、センサノードを格段に長寿命・省電力化させる。

B) どうぶつタッチ&ゴー： 野生動物装着センサで取得された情報を得るためには、最終的にインターネット等の外部ネットワークと接続可能なシンクノードに、野生動物が接触しなければならないが、その頻度は少ない。そこでセンサ情報の回収方法と充電方法が非常に重要な課題となる。センサノード側の省電力化に着目した時、非接触型通信（NFC等）と無線通信（WiFi等）では、前者の方が圧倒的に電力消費が小さい。一方、森林の地表付近に生息する陸生哺乳類は周辺環境からの聴覚刺激により行動が決定し（Begonら1990, ecology）、最も合理的な行動を決定するには思考する時間を必要とすることが動物行動学的に知られている（日本比較整理生化学会編、2009、共立出版）。外部刺激により野生動物がシンクノードまで誘きだされた場合、動物に装着したセンサとシンクノードが、互いの非接触型通信の通信半径内に存在する確率が高い。そこで、センサを装着した野生動物を「誘き出す」ことでこのようなセンサとシンクノードの非接触型通信をアクティブにし、それ以外のときは積極的にスリープにすることより、センサ情報の回収方法と省電力化を実現させる。

C) 飛行機音を用いた位置情報取得： 野生動物装着型センサから得られる記録に着目した場合、正確な時刻・位置情報に期待できない。森林環境の地表付近では衛星から測位信号・電波時計信号も入りにくい事が判明している。障害物が装着型アンテナを遮るからである。そこで時刻・位置情報の欠損時の補正手法が重要となる。地表到達時における信号の強さに着目した場合、GPSなどの衛星信号とジェット機エンジン音源では、後者の方がエネルギー量が大きい。一方、上空を飛行する民間航空機は互いの位置情報・識別情報をリアルタイムに共有しており、インターネット上で24時間365日リアルタイムに公開されていることが知られている。そこで、このような森林環境の複数個所（マイクを取り付けた野生動物装着型センサとシンクノード）で同期録音してジェット機のエンジンが通過する際の到達時差を算出し、データ回収後にインターネット上の公開情報と照らし合わせて三角測量で計測することで、野生動物装着センサの位置情報を推定できる確率が高い。

4. 研究成果

A) どうぶつ間ネットワークのための省電力化機構の改良：

まず複数の動物間の遭遇を省電力に検出する機構の実現を目指し、動物の行動に沿って加速度データを収集し、オフラインによる解析を行うこととした。実験は連携研究室である麻布大学伴侶動物研究室の犬（図2）を対象として、獣医師の管理のもと、ハンドラーにより「歩く」、「止まる」、「ボールによって気をひかれる」状況を繰り返し行い、これをビデオカメラおよび犬の背部に取り付けた加速度センサで記録した。加速度センサのサンプリング周波数を50Hzに設定し、SVM（Support Vector Machine）を用いて犬の行動認識を行う。特徴量として加速度データのタイムウィンドウごとの平均、分散、振動数を用いた。認識する行動のラベルは「止まる」、「歩く」

「興味を示す」の3種類とし、ラベル付けは、ビデオカメラによる映像記録をもとに行った(図3)。その結果、「歩く」、「止まる」についてそれぞれ90%以上の精度で検出することができた。しかし「興味を示す」の検出精度が低かった。この解析では各タイムウィンドウが独立して扱われているため、続いて時系列を考慮した解析手法の検討を行っていくこととし、さらに個体の身体的特徴を考慮した解析へと進めていくこととした。自然環境下では当然野生動物同士が、いつ、どの組み合わせで遭遇するかがわからないため、あらかじめ通信相手やスケジュールを設定することはできない。そこで、これらを考慮して効率的かつ省電力な通信プロトコルが必要となる。この検討のために自立移動型ロボットを用いたテストベッド実験を導入した。動物による実験では短期間に同様の実験を繰り返すことが困難であるため、再現性と時間的コストパフォーマンスに優れたテストベッドが必要であったためである。導入コストを削減するため市販STEMロボットである iRobot Create2 を活用し、ロボット同士の衝突を動物の遭遇に見立て、通信プロトコル改善の検討と、稼働実験を行った。この結果、通信プロトコルの改善により通信成功率が70%から90%に向上された。



図2 加速度センサを装着した犬

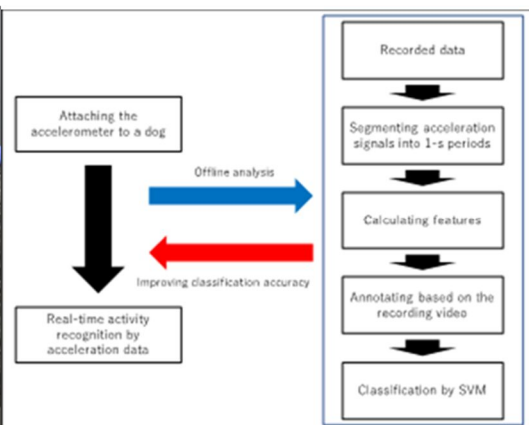


図3 解析フロー

B) どうぶつタッチ&ゴーのための物理形状の研究：

本システムは NFC タグ装着の動物を誘き出して情報を取得するユビキタス基盤、 B1)物理的な形状を用いて動物を「誘き出す機構」と、B2)誘き出された動物に装着している NFC タグと「非接触通信する機構(図4)」からなる。(そして野生動物装着型センサノードをインターネット接続されたシンクノードまでより効率的かつ安定的に誘き出し、長時間の非接触型通信により記録回収を実現する物理形状機構を明らかにする。評価方法としては、特徴ある物理形状により誘い出される動物の思考・行動過程の特徴量を取得する。映像記録とのデータ比較によりタッチ&ゴーシステム反応の因果関係を解析し、最適な物理形状を明らかにする。物理形状の評価は内部形状を変化させた犬小屋と犬小屋内部を撮影するためのドライブレコーダーを使用して行う。内部形状の変更は、スチレンブロックを使用して犬小屋内の横幅や高さ方向のスペースを制限していく方法をとっている。観察時間は1日約8時間で2-3日間。2頭の犬がそれぞれ適当な時間にこの小屋内で休息を行っているため、ドライブレコーダーの映像を利用して、滞在時間や滞在時の姿勢等を評価している。また、本評価の実施にあたり、獣医である共同研究者による動物倫理的な確認を事前に行った。詳細な資料や事前説明により問題が無いことを確認した。

麻布大学の共同研究者が飼育するペットの犬を対象とし、犬小屋を参考とした物理形状を構築して、非接触通信に必要な行動制限や行動停止が起こりやすい状況(壁幅)を明らかにすることができた。以上の知見から、**どうぶつタッチ&ゴー**：のための形状を用いて動物を「誘き出す機構」の「必要となる幅条件」を明らかにすることができた。また、より誘導性を高くする施策として音刺激の併用を検討した。先行研究などでも音刺激と報酬(餌等)を利用した牛の誘導学習が一般的に行われており、福島浪江の牛はオーナーから給餌をされた記憶が残っている様子があり、人が発する音や車の音等に反応して集まる傾向が見られた。そこでこれらを複合させた方法の検討を進めていくこととした。



図4 どうぶつタッチ&ゴー用プロトタイプデバイス

C) 飛行機音を用いた位置情報取得のための分類器の研究：

これはインフラが制限されたような区域においても用いることが可能な航空音を利用した位置測位手法である。この手法は実際に手動計算で野生動物の位置を誤差 900m 程度で位置同定を実現している。これを最終的には自動で位置同定を行えるようにする必要があるため、具体的には、位置同定を行う際に環境音に含まれる航空機音を用いているがその判定は調査員が手動でラベル付することにより行っている。この位置同定を行うまでに必要となる周辺環境音と航空音を自動で分類することが本研究の大枠となる。我々は、この課題に対し SVM および音声認識で MFCC を用いることにより環境音に含まれる航空機音の自動分類を試みる実験および評価を行った。提案した方法は機械学習と音声認識を用いた分類器の生成であり、機械学習では教師あり学習のサポートベクトルマシンを分類器として用いた。また、音声認識には高速フーリエ変換により得られた特徴量として用いた手法を単純処理、および人の聴覚特性を反映させ環境音分類に有効とされるメル周波数ケプストラム係数を特徴量として用いた MFCC 処理と定義した。そして、双方の音声処理と分類器においては三種類のカーネル (Linear、Polynomial、RBF) を用いた分類を行った。また、分類の際に用いた音源は、任意の3箇所(船田、栃本、矢竹)における音源を実際に人間が聴き取り教師データを作成した。その際、船田の音源は共同研究者(小林)が提供している web サービス「Cyberforest」からダウンロードした非可逆圧縮音源を用いた。しかしここで、2019年の台風により甚大な被害が生じ、評価実験フィールド(学内演習林)に生じ立ち入り禁止となり作業を中断した。復旧作業が行われたがそのまま冬季を迎え入山が困難となった。そして2020年から生じたコロナ禍による移動制限の影響で屋外作業が困難となったため、文献調査等の作業を実施した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Yuki Hayashi, Michiki Hara, Akihito Taya, Yoshito Tobe, and Hiroki Kobayashi	4. 巻 -
2. 論文標題 International Conference on Green and Human Information Technology(ICGHIT)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Prediction of the Location of Sea Turtles Based on Bio-Logged Data	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 日隈壮一郎, 西山勇毅, 瀬崎薫	4. 巻 -
2. 論文標題 GPS信号受信状態を用いた紫外線量推定手法の検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 2020 IEICE Society Conference, The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hiroki Kobayashi and Daisuke Shimotoku	4. 巻 -
2. 論文標題 Tele Echo Tube for Historic House Tojo-Tei in Matsudo International Science Art Festival 2018.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 HCII 2020: Distributed, Ambient and Pervasive Interactions	6. 最初と最後の頁 520-532
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Song. C., Ito, M., Sezaki, K	4. 巻 -
2. 論文標題 Capturing People Mobility with Mobile Sensing Technology for Disaster Evacuation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 HCII 2019: Distributed, Ambient and Pervasive Interactions	6. 最初と最後の頁 187-198
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-030-21935-2_15	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Chenwei Song ,Masaki Ito , Yuuki Nishiyama , Kaoru Sezaki	4. 巻 -
2. 論文標題 Using Mobile Sensing Technology for Capturing People Mobility Information	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 3rd ACM SIGSPATIAL International Workshop on Prediction of Human Mobility	6. 最初と最後の頁 33- 40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3356995.3364541	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Michiki Hara, Yuki Hayashi, Akihito Taya, Daisuke Shimotoku, Yoshito	4. 巻 -
2. 論文標題 MTSW: Towards Tracking Wild Animals Using Only Accelerometer and Landmarks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. the 8th International Conference on Green and Human Information Technology (ICGHIT)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 石田幸輝, 瀬崎薫, 小林博樹
2. 発表標題 動物間ネットワークのためのLPWANを用いた位置推定
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宋 晨偉, 伊藤昌毅, 瀬崎薫
2. 発表標題 Mobile Crowd Sensing Utilizing Smartphone Bluetooth for Walking Routes Analysis
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 荻島楓, 原道樹, ギヨーム ロベズ, 永澤美保, 土橋直子, 戸辺義人, 小林博樹
2. 発表標題 加速度信号を用いた犬の日常行動の自動判別の試み：人との違いに焦点を当てて”
3. 学会等名 電子情報通信学会(IEICE)HPB第22回研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 原道樹, 下徳大祐・小林博樹, 田谷昭仁, 戸辺義人
2. 発表標題 加速度信号を用いた野生動物の行動履歴の推定：人との違いに焦点を当てて
3. 学会等名 電子情報通信学会(IEICE)HPB第22回研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Keijiro Nakagawa, Atsuya Makita, Miho Nagasawa, Takefumi Kikusui, Kaoru Sezaki, Hiroki Kobayashi
2. 発表標題 Opportunistic Data Exchange Algorithm for Animal Wearable Device through Active Behavior against External Stimuli
3. 学会等名 ACM CHI ' 19, Asian CHI Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	戸辺 義人 (Tobe Yoshito) (60327666)	青山学院大学・理工学部・教授 (32601)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	小林 博樹 (Kobayashi Hiroki) (60610649)	東京大学・空間情報科学研究センター・教授 (12601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関