

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：85401

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K19780

研究課題名（和文）ワイヤレスセンシングと機械学習による猟師向けリアルタイム獣流推定に関する研究

研究課題名（英文）Research on hunter assistance system using wireless sensing and machine learning

研究代表者

小野 悟（Ono, Satoru）

公益財団法人放射線影響研究所・情報技術部・部長

研究者番号：50818309

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：屋外における電波を用いた動体のセンシングについて検証した。その結果、特に山林における電波の伝搬範囲が想定外に小さいことがわかった。山林内は水分を多く含有する生木が電波を吸収してしまうことが要因であると考えられる。次に動体のセンシングを屋内で検証した。その結果、屋内においては有意な動体検出が可能であることがわかった。検討にあたりセンサ設置位置に関する最適条件の検討を行い、電波変動が的確に検出できるセンサ設置条件（高さ、距離）を明らかとした。さらに電波強度の変遷データを機械学習を用いて分析した結果、「人が動く」「人が止まる」「何も無い」の3つの基本的な状況変化に伴う電波強度の変遷を分類可能とした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では2.4GHz帯の電波リソースを用いた。これは計算機ネットワークの伝送媒体として利用されているため、センシングのため新たなインフラを導入する必要がないというメリットがある。RSSIやCSIを用いた電波の変遷を様々な用途に利活用するための既存研究は数多く行われているが、その中で本研究は室内における電波の挙動を人やモノの動きによって顕著且つ特異的なパターンで変遷することを明らかにした点において社会的意義があると考えている。また、基本的な動作パターンの検出にあたり、センサ設置条件、検出間隔、データ処理方法、機械学習のモデル構築の4つの条件を導出できたことは学術的な成果が得られたと考えている。

研究成果の概要（英文）： We verified the sensing of moving objects using radio waves at outdoors. As a result, it was found that the propagation range of radio waves was too small, especially in mountain forests. This is thought to be due to the fact that trees in mountain forests absorb radio waves due to their high moisture content. Therefore, the sensing of moving objects was verified indoors. The results showed that significant motion detection was possible indoors. In addition, it was confirmed that a specific pattern shown by the time-series transition of radio wave strength can be detected as human moving. We have found that it is possible to distinguish between the three basic types of changes in radio wave strength: "people moving," "people stopping," and "nothing". These three situation can be classified using machine learning that model was constructed by this study.

研究分野： 計算機ネットワーク

キーワード： ワイヤレスセンシング RSSI 動体検出 WiFi 機械学習 安全管理

1. 研究開始当初の背景

近年の狩猟界では、ハンターの減少と高齢化が進んでいる。同時に増え続ける大型有害鳥獣による農産物に対する深刻な被害が大きな社会問題になっている。林野庁によれば、平成28年度におけるシカの過剰採食に伴う森林被害面積は全国で約7千ヘクタールに及んでいる。一方、ハンターの減少に関しては、度重なる散弾銃を用いた重大犯罪の発生や、ハンターの高齢化に伴う狩猟中の事故多発等に鑑み、当局の銃砲所持許可に関する規制強化がその要因である。狩猟免許の保有者は1975年度の約51万8千人をピークに、2015年度には19万人まで減少している。19万人のうち60歳以上が12万人であり、約6割以上を高齢者が占めている。大型鳥獣の捕獲には、林野の急な斜面を昇降する高い運動能力が必要であることや、森林に紛れた鳥獣を的確かつ瞬時に判別する動態視力と判断能力が求められることから、高齢ハンターの誤射等による死亡事故が発生していると考えられる。

行政の獣害問題に対するアプローチとしては、平成27年5月に環境省によって創設された「認定鳥獣捕獲事業者制度」が記憶に新しい。この制度は狩猟を業として認定することによって新たな捕獲の担い手を確保することを目的としている。また、林野庁が平成29年度から実施している「シカによる森林被害緊急対策事業」では、全国8地域においてGPSを装着した野生鹿の行動把握を実施し、得られた情報を林業関係者に対し周知・提供することで被害対策の推進を図っている。しかしながら、このような法制度の整備が進む中、ハンターが大型有害鳥獣の捕獲手段は依然として経験的熟練技術に基づいた古典的な猟法を用いており、出没位置の錯誤や、射撃時の獲物に対する失中等効率的な捕獲が行われているとは言いがたい状況である。これに加え、高齢ハンターの誤射等による死亡事故が毎年一定数発生している。誤射の主要因は対象物の誤認識である。鳥獣の存在を予め把握し、狩猟時において獲物を的確に認識することは、効率的な捕獲に加えて、誤認識による事故の抑止に繋がるものと考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、近年深刻な社会問題となっている大型有害鳥獣の駆除効率化を支援するためのシステム開発を目的としている。これに向けて本研究では、ワイヤレスセンシングと機械学習を用いた獣流推定システムを提案する。獣流とは、問題を引き起こしている大型鳥獣の生息する領域とその領域に網羅する鳥獣の通行経路を総称するものと定義する。

3. 研究の方法

獣流を推定し、同時にハンターの支援を行うために、提案システムは次の2つの観測手法を用いる。

1. 移動モニタリング (猟犬の行動パターン認識)
2. 固定モニタリング (ワイヤレスセンシングによる鳥獣の検出)

1では、センサを搭載した猟犬を用いて大型鳥獣の獣流を推定する。一般に鹿や猪などの大型鳥獣は、山中を移動するために決められた経路を通行することが多い。このような経路は山中に縦横無尽に張り巡らされていることから、「頻繁に利用されている経路」あるいは、「直近に利用されたことがある経路」を推定することは容易ではない。このような条件に合

致する経路を把握するために、GPS センサと 3 軸加速度センサを搭載した猟犬の行動情報を活用する。得られた情報を地図上にプロットすることによって逐次獣流の推定を行う。

2 は、ワイヤレスセンシングを用いて得られた情報から、リアルタイムに獣流を推定し、ハンターを直接的に支援する。ハンターはモバイルモニタに表示された大型鳥獣の動向を確認しながら、自身の位置を補正する。鳥獣を射獲するための猟法としては、猟犬が威嚇追尾し、逃走を図った鳥獣を待ち受ける手法が一般的である。大型鳥獣の逃走経路をリアルタイムに推定することができれば、ハンターは最適な待ち受け場所に移動可能であり、対象物を誤認する確率も低減できると考えられる。

2 つのモニタリング手法を実装するために、3 軸加速度センサを用いて猟犬の行動パターンを加速度センサから得られたデータからの意味づけの可否を確認した。併せてワイヤレスセンサを用いて、電波の到達範囲とその挙動について確認した。

4. 研究成果

「移動モニタリング」を実装するために、小型の 3 軸加速度センサを準備し、猟犬に装着してデータの収集を行った。データの収集は猟犬の動作状況を目視で確認できるようにするために、ウェアラブルカメラで加速度センサを装着した猟犬の動作状況を撮影しながら行った。カメラで撮影された猟犬の動作状況と加速度センサから得られた動態変異状況を確認しつつ、猟犬の行動のパターン化を試みた。具体的には、目視で大まかに分類された 3 軸 (x,y,z) のセンサ情報をノルム化したうえで、Autoplait を用いて典型的な時系列パターンの抽出を行った。得られたパターンに対して、ウェアラブルカメラで撮影された映像情報と突合することによって、各パターンへのラベル付けを行う。その結果、「歩行」、「走行」、「探索」、「停止」、「体を震わせる」の 5 分類の行動パターンが得られた。次に加速度センサから得られた時系列データを用いて、機械学習を用いた猟犬の行動分類を試みた。学習結果を表 1 に示す。

表 1 : 学習結果

	再現率	適合率	F 値	正解率
停止	43.93	37.01	40.17	57.82
歩行	63.66	77.44	69.87	
走行	77.78	29.17	42.43	
探索	43.66	28.70	34.63	
体震	50.00	100.0	66.67	

正解率が 6 割弱という結果より、3 軸加速度センサから得られたデータから猟犬の行動パターンを分類することは困難であることがわかった。

「固定モニタリング」を実装するために、ワイヤレスセンサを猟場である山中に持ち込み、電波の到達試験を行った。ワイヤレスセンサとして、SONAS 株式会社製のマルチホップ通信型無線評価キット UNISONet Classic のベースユニット、およびセンサユニットを使用した。利用した電波資源は 2.4GHz 帯とし、電波出力は 0.1mw、無指向性の発信とした。試験の結果、概ね 10m 以上の距離では、山中におけるセンサ間の通信ができないことがわかった。実験環境である山中では、水分含有量が多い生木が電波を吸収（反射しない）してしまうことが要因であると考えられる。このため、一旦電波の基本的な振る舞いを検証するために、室内において実験を行うこととした。

電波の振る舞い検知のために電波強度としてRSSI (Received Signal Strength Indicator) を用いた。センサ間の距離を2mに固定したうえで、人、金属、紙がセンサ間を通過した場合の電波強度変遷を調べた。その結果、人と金属については有意な電波強度の変遷が確認された。

次に電波強度の変遷が最も顕著に観察することができるワイヤレスセンサの設置位置について検証を行った。2つのセンサを用いてセンサ間の距離とセンサの高さについて検討した。センサ間の距離については、室内空間という条件を勘案して2mと4mを設定した。高さは0.8, 1.2, 1.6, 2.0, 2.4mを設定した。2.4mは天井等高所に設置されている無線基地局を想定している。2m以下は机上や棚上に設置された状態を想定している。これらの高さ・距離の組み合わせ中、もっとも電波強度の変遷が有意に確認できるものを調べた。結果を図1に示す。

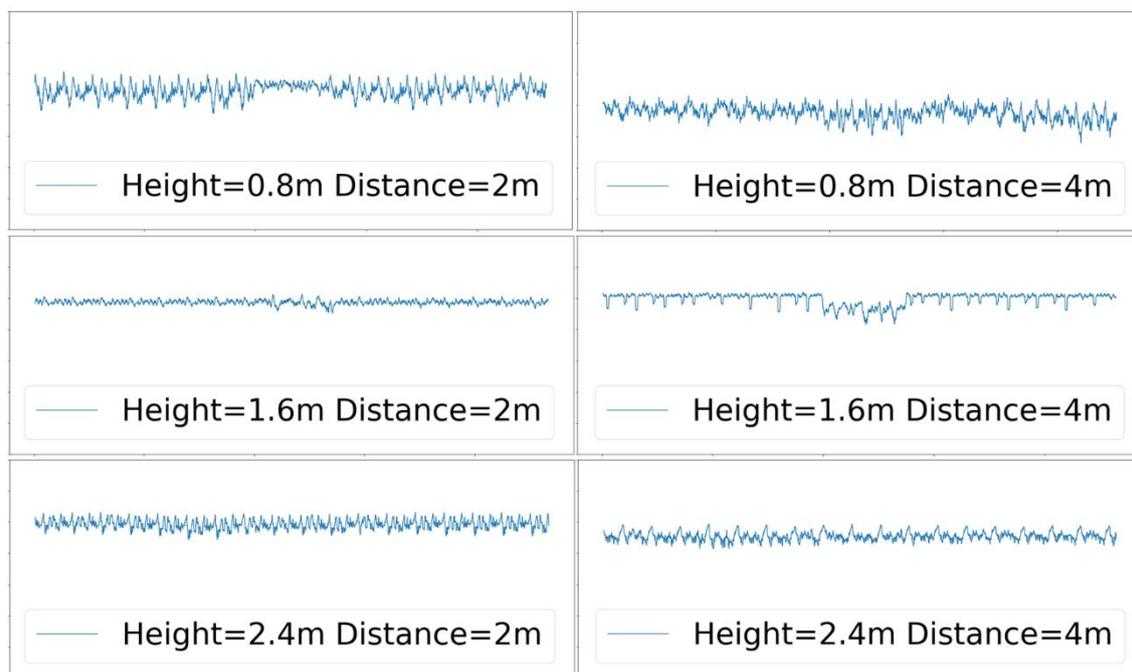


図1：条件毎の電波強度

この結果より、もっとも有意な電波強度の変遷が捉えられるセンサの設置条件は、高さ1.6m、距離4mと判断した。電波強度の捕捉という観点からは、センサ間の距離は近すぎても遠すぎてもその挙動を把握することができないため、特に山中等において、センサの設置場所を4mの等間隔で広範囲に設置する場合には相当数のセンサの設置が必要となることに加え、センサのエナジハーベスティングや、センサのメンテナンス等、多くの課題があることが明らかとなった。

得られた知見を元にして、電波強度の変遷を利用するアプリケーション領域を再考した場合、室内における動体の挙動を把握するというアプローチで再検討を行うこととした。また、人を動体の対象として設定し、「センサ間で人が通過」「センサ間で人が停止」「センサ間に何も無い状態」の3つの最も基本的な状態変遷におけるRSSIの変化を確認することとした。

センサは±10μsec内の厳密な時刻同期を行いながら、概ね13Hzのタイムスロットで電波を発出する。一回の実験に概ね3分間の観測期間を設けていることから、測定データとして約2,300行のレコードが得られる。CSVファイル形式で保存されたファイルに記録

された RSSI の観測値は空中線電力の強弱を示す dBmW で表記される。これらの値のダイナミックレンジについて、カーネル密度推定を用いて確認したところ、分散が完全に 8bit 以内に収束したことから、観測値を 8bit にスケーリングしたうえでグレースケールの画像データに変換した。生成された画像情報の 1 例を図 2 に示す。この画像は「センサ間を人が通過」した場合の変遷を示している。画像の中央に帯状の模様を確認できる。得られた 3 種類の画像情報は CNN (Convolutional Neural Network) を用いて分類した。それぞれの動作パターンを各 400 枚合計 1,200 枚の画像情報を作成し、学習用に 900 枚、検証用に 300 枚を用いて学習を行った。なお、学習モデルの実装には pytorch version1.8.0 を用いた。また、計算機処理の効率化のために CUDA Toolkit version11.8.89 を用いた GPU プラットフォームを準備した。GPU には NVIDIA 社製 Quadro RTX4000 を利用した。図 3 に学習モデルの訓練状況を示す。

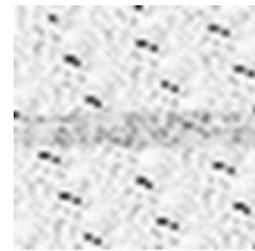


図 2：生成画像

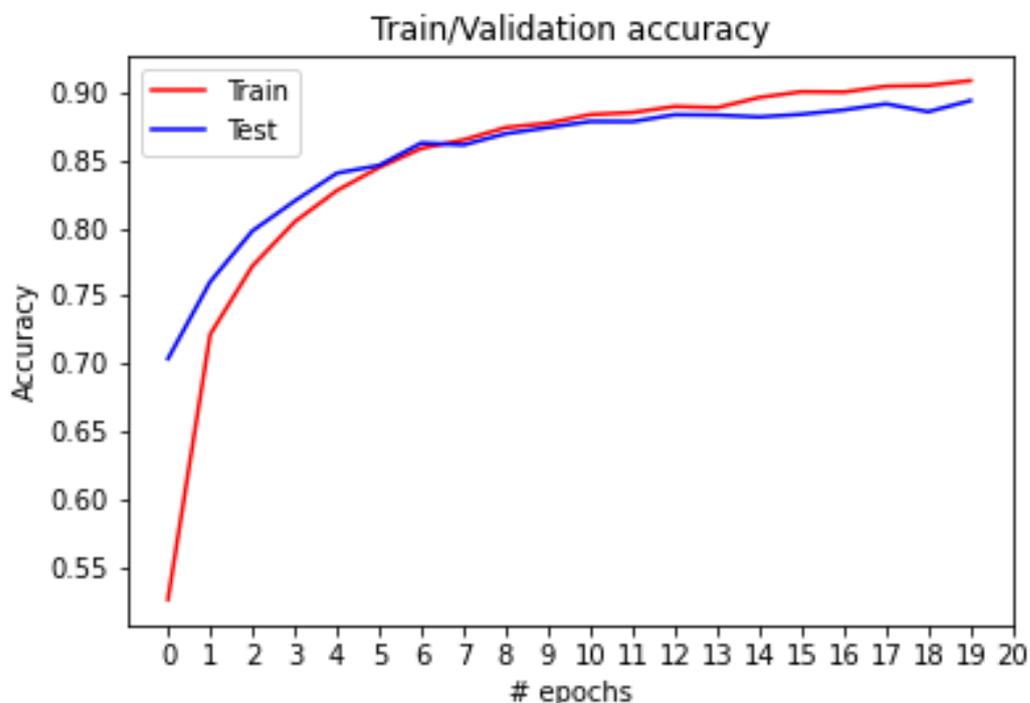


図 3：学習モデルの訓練状況

グラフより概ね 9 割以上の正解率が得られていることがわかる。このことから、電波強度の変遷を用いることによって、室内における人の基本的な動作状況を把握できることが明らかとなった。

今後は複数のワイヤレスセンサを用いて、センサ機器間のトポロジを変化させながらより詳細な人の動線を把握することを検討する。さらに室内における人の動線だけでなく、モノの動きにも着目することを併せて検討する。具体的には、マルチモーダルセンシングによる室内の温度や照度、湿度、音源等環境変化の時系列的な取得を行うことを計画している。人の動線と合わせ、マルチモーダルセンシングによって得られたセンシングデータの変遷をコンテキストとして扱う。すなわち、これらのコンテキストを言語的に解釈するために自然言語処理の手法を準用することによって、室内の経時的な環境変化を「似た文脈」とした「似た環境変化」と同義にモデル化することが可能であると仮説する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ai Shuhara, Satoru Ono	4. 巻 0
2. 論文標題 Quantitative evaluation of environmental changes in the laboratory using radio wave strength transitions and deep learning	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Environment and Safety	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11162/daikankyo.E23RP0801	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 小野悟, 主原愛	4. 巻 86
2. 論文標題 ワイヤレスセンシングと機械学習を用いた実験室内の環境測定手法の提案	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 情報処理学会 第86回全国大会講演論文集	6. 最初と最後の頁 1-2
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 主原愛, 小野悟	4. 巻 24
2. 論文標題 ワイヤレスセンシングを用いた実験室内の環境変化の定量的評価	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 電子情報通信学会総合大会論文集	6. 最初と最後の頁 1
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 主原愛, 小野悟	4. 巻 85
2. 論文標題 電波強度の変遷と深層学習を用いた実験室内の環境変化の定量的評価	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 情報処理学会第85回全国大会論文集	6. 最初と最後の頁 1
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 主原愛, 小野悟	4. 巻 84
2. 論文標題 電波強度を用いた室内環境変化の定量評価に関する基礎的検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 情報処理学会第84回全国大会論文集	6. 最初と最後の頁 465-466
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 小野悟, 酒造孝, 莊司洋三, 猿渡俊介, 渡辺尚	4. 巻 20
2. 論文標題 ワイヤレスセンシングと機械学習を用いた獣流推定システムの開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会総合大会講演論文集	6. 最初と最後の頁 1
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 -

[学会発表] 計5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 小野悟, 主原愛
2. 発表標題 ワイヤレスセンシングと機械学習を用いた実験室内の環境測定手法の提案
3. 学会等名 情報処理学会 第86回全国大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 主原愛, 小野悟
2. 発表標題 ワイヤレスセンシングを用いた実験室内の環境変化の定量的評価
3. 学会等名 電子情報通信学会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 主原愛, 小野悟
2. 発表標題 電波強度の変遷と深層学習を用いた実験室内の環境変化の定量的評価
3. 学会等名 情報処理学会 第85回全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 主原愛, 小野悟
2. 発表標題 電波強度を用いた室内環境変化の定量評価に関する基礎的検討
3. 学会等名 情報処理学会第84回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小野悟, 酒造孝, 荘司洋三, 猿渡俊介, 渡辺尚
2. 発表標題 ワイヤレスセンシングと機械学習を用いた獣流推定システムの開発
3. 学会等名 電子情報通信学会
4. 発表年 2020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
研究協力者	荻野 理史 (Ogino Masafumi)	静岡県猟友会	

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
研究協力者	橋本 良太 (Hashimoto Ryota)	静岡県猟友会	
研究協力者	松井 正満 (Matsui Masamitsu)	静岡県猟友会	

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