HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	機械学習を用いた超音波通信システムに関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	尾関, 剛成
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第16011号
Issue Date	2024-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/92314
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Kosei_Ozeki_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (情報科学)　　氏名　尾関　剛成

審査担当者　主　査　教　授　土橋 宜典
副　査　教　授　長谷山 美紀
副　査　特任教授　荒木 健治
副　査　特任教授　坂本 雄児

学位論文題名

機械学習を用いた超音波通信システムに関する研究
（A study on ultrasonic signals communication systems using machine learning）

近年, スマートフォンやタブレットなどのモバイル端末の普及が進み, さまざまな場所で簡単に情報にアクセスできる時代になってきた. しかし, デファクトスタンダードとして利用されている電波通信は, 技術の進歩に伴うアップデートが継続的に行われており, 非対応の端末が混在する問題が避けられないことや, 水中や地下, 金属構造の建物内などの非電波透過環境や病院・工場などの電波通信の使用が制限される環境では通信が困難になることから, 社会インフラとしての運用には発展途上の課題が残されている.

他方, こうした隙間をカバーする通信方式として期待されているのが音波通信である. 音波通信は, 空気の振動により情報を送受信するため, 水中などの電波が届かない範囲でも通信を行うことができる. 超カバレッジ拡張を目的とした第 6 世代移動通信システムの展開を想定すると, 音波通信技術の発展は情報社会にとって, 非常に大きい影響力を有することが考えられる. また, 音波通信は, マイクやスピーカなどの音声入出力機能を利用するだけで実現できるため, 店内に設置されているスピーカや家庭用テレビから発信される音声に情報を埋め込むだけで通信が利用でき, 導入コストが低いことも特徴の一つである.

一方, 音波通信は, 電波通信と比べると環境雑音や反響音, 残響音, ドップラー効果などの外乱により音波信号が歪みやすく, 情報識別・信号同期に誤りが生じやすいことが問題になっている. これらの課題に対する改善策として, 雑音や周波数シフトに応じて処理を調整する方法や音量を増加させて信号を送信する方法が考えられるが, 環境に適応した調整は手間であることや人体への影響を懸念すると現実的ではない. こうした問題に対する解決方策として, 本研究では, 機械学習に基づく最新の情報識別技術に着目した. 機械学習により設計された識別器は, 外乱によって劣化した情報に対しても高い識別性能を示すことが報告されており, 画像認識問題や文字認識問題, 音響分離問題等広い分野にて適用されている.

本研究では, 非可聴域である高周波帯域に情報を埋め込み, 白色雑音と周波数シフトにより劣化した音波信号をシミュレーションし,CNN,RNN,CRNN による機械学習モデルを用いて外乱下から音波信号の同期処理および音波信号にかかる周波数シフトの値を予測する識別器を設計し, その有効性を示す.

機械学習では, 音波信号を時間と周波数の情報を 2 次元の画像として表現するスペクトログラムを学習データとして用い, スペクトログラムのパターン情報から音波信号の特徴を抽出するように

設計し, 雑音環境下および周波数シフト発生時における音波信号の BER の識別精度の性能評価を行った.

結果, 従来のバンドパスフィルタ処理を用いる超音波通信システムでは,BER=0% を示す音波信号であっても,25Hz 以上の周波数シフトが発生すると BER は 20.82% を上回り, 信号識別の精度が大きく低下する. 一方,CRNN を用いた機械学習モデルは, 入力されたスペクトログラムから音波信号に含まれる周波数シフトの値を予測することにより,SNR= 6dB 以上の環境下において,100Hz の周波数シフトが発生しても BER=0% を示した.

以上を要するに, 本論文では, 超音波通信に関して, 非可聴域である高周波帯域に情報が埋め込まれた信号に対し, 白色雑音と周波数シフトにより劣化した信号から機械学習モデルを用いて同期処理および周波数シフトの値を予測する識別器を提案し, その有効性を検証している. 従来の超音波通信システムでは対応が困難であった周波数シフトの影響を最小限に抑え, 高い識別精度が得られることを明らかにし, その有効性を示している. よって, 本論文の著者は北海道大学博士 (情報科学) の学位を授与する資格を有するものと認める.