

先端国際共同研究推進事業
2023 年度採択

Top チームのための ASPIRE
通信分野

2023 年度～2024 年度
年次報告書 公開版

研究課題名 知的環境のためのセンシング・アクチュエーション・通信
及び知的信号処理基盤に関する研究

日本側研究代表者 大槻 知明 慶應義塾大学 教授

相手側研究代表者

- ・Zhu Han, Professor, University of Houston
- ・Chen-Nee Chuah, Professor, University of California, Davis
- ・Trung Q. Duong, Professor, Queen's University
- ・Octavia A. Dobre, Professor, Memorial University
- ・Thomas Erich Zinner, Professor, Norwegian University of Science and Technology
- ・Manoranjan Paul, Professor, Charles Sturt University

研究期間 2024 年 2 月 1 日～2029 年 3 月 31 日

1. 研究成果の概要

当研究で目標とする知的環境の構築に向けてセンシング、通信、データ解析、制御及びアクチベーション等の各要素技術について、各研究テーマのもとで種々の要素技術の開発に成功した。また、それら成果をIEEE等のメジャーな国際会議や論文誌に投稿し採択された。それらの成果のいくつかでPI（研究代表者）や若手研究者が数多くの賞を受賞した。また国際展開の一環として、メジャーな国際会議でのワークショップ開催や、メジャーな国際会議の誘致など、数多くの成果を上げることができた。さらに、国際論文誌において複数の特集号を企画し、研究プロジェクトおよびメンバーの国際的なアピールに成功した。若手研究者の育成に関しても、共同研究機関への長期派遣や国際会議や論文誌での発表、各種ワークショップの開催などを通じて順調に進んでいる。

① 研究構想にかかる成果

<実施したこと>

<研究テーマ 1> 一人称センサ（モバイルセンサ）と環境センサ（分散センサ）の協調による位置推定及びダイナミック地図生成

2023年度より引き続き、一人称カメラ画像からの動作認識や人検出・追跡技術、さらにメタバースのための環境3次元マップのダイナミックな更新に関する研究を進めた。さらに、複数の分散するエッジAIからの分散協調最適化に基づく人物動作推定技術、マップ更新技術に関する研究を行った。

<研究テーマ 2> 高度車両ネットワークプラットフォームのための深層学習を活用した通信・情報処理基盤の開発

高度車両ネットワークプラットフォームへの展開を目指し、セマンティック通信を用いた新たなフレームワーク及び各種信号処理技術を開発し、通信量を大幅に削減しつつ重要な意味を伝送し、ユーザの嗜好に基づき情報を表現できることを示した。

高度車両ネットワークプラットフォームでは、車両の高い移動性やソフトウェア、ハードウェア、通信リンクの故障が原因で、故障検知が課題となっている。この問題に対し、アンサンブル学習に基づく新しい故障検知手法「ET-FD」を提案した。

<研究テーマ 3> 高精度統合通信・センシング (HAISAC: High Accuracy Integrated Sensing and Communications) の開発

HAISACの開発に向けて、OFDMベースの通信方式、レーダ信号処理技術、Zadoff-Chu系列を用いた波形設計手法について評価した。また、センシングと通信の統合における干渉除去技術の課題を明確にし、複数周波数帯を活用したセンシング手法の適用可能性について初期分析を行った。

<研究テーマ 4> 6Gに基づく低消費電力かつセキュアな革新的通信・センシングデバイス技術の開発
基地局等からの受信信号を通信とエネルギー駆動に用いる低消費電力かつセキュアな革新的通信・センシングデバイス技術を開発した。

また、複数のマルチアンテナ盗聴者がいる環境を考慮した手法も開発した。

<研究テーマ 5> 6G 通信技術とエッジ・コンピューティングを用いた分散モバイル連合学習の開発

高度車両ネットワークプラットフォーム等への展開を目指し、複数の人・車両等を対象としたエッジ・コンピューティングを用いた分散モバイル連合学習等の開発を進めた。

<研究テーマ 6> 高度車両ネットワークプラットフォームの開発

高度車両ネットワークにおいては、車両間および車両-インフラ間通信の高度化を目指し、ドップラースhiftに基づく測位技術の調査と基礎検証を実施した。特に、分数ドップラを活用した高精度測位技術の適用可能性を検討し、センシングと通信の連携を強化するための信号処理手法を策定した。

<研究テーマ 7> 航空地上統合ネットワークによる広域環境情報共有方式

航空地上統合ネットワークに関する研究では、既存の通信・センシング技術の適用可能性を評価し、周波数利用効率と通信遅延の最適化に関する課題を整理した。特に、PDMA 方式を用いたアップリンク通信の効率化に関するシミュレーションを実施し、最適な通信方式を検討した。また、短波帯における電離層伝搬の影響を評価し、リアルタイム伝搬モニタリングシステムの設計を進めた。

<得られた成果>

<研究テーマ 1> 一人称センサ（モバイルセンサ）と環境センサ（分散センサ）の協調による位置推定及びダイナミック地図生成

今年度は主に Gaussian Splatting 表現により表現された 3 次元マップ中に存在しない物体を Gaussian Splatting 表現空間から削除するための技術についての研究を進め、その基盤技術の研究開発を進めることができた。

<研究テーマ 2> 高度車両ネットワークプラットフォームのための深層学習を活用した通信・情報処理基盤の開発

知的環境のキー技術となるデジタルツイン技術について、インターネット・オブ・エネルギー（IoE）システムのように大量に生成されるデータを仮想空間に適切にマッピングすることができる、深層強化学習（DRL）を活用した適応的データマッピング機構を提案し、その成果を当該分野のトップジャーナルである IEEE Transactions on Network Science and Engineering に、相手国 PI 研究者と共著で論文を発表した。

<研究テーマ 3> 高精度統合通信・センシング (HAISAC: High Accuracy Integrated Sensing and Communications) の開発

Zadoff-Chu (ZC) 系列を活用した OFDM-ISAC 波形を提案し、通信とセンシングの統合性能を両立する技術基盤を構築した。この波形により、既存基地局を改修することなく展開が可能であることを示した。データ選択方式を導入し、複数周波数帯を活用したセンシング精度向上を実現した。これにより、誤認識の低減や検出精度の向上が達成された。

<研究テーマ 4> 6G に基づく低消費電力かつセキュアな革新的通信・センシングデバイス技術の開発
基地局等からの受信信号を通信とエネルギー駆動に用いる低消費電力かつセキュアな革新的通信・センシングデバイス技術を開発し、その研究成果を当該分野のトップジャーナルである IEEE IoT Journal に投稿し採択されている。

<研究テーマ 5> 6G 通信技術とエッジ・コンピューティングを用いた分散モバイル連合学習の開発
高度車両ネットワーク等の IoT 環境において、分散推論の信頼性を少ない通信量で実現する新たなディープニューラルネットワーク（DNN）を開発し、その成果が、当該分野のトップカンファレンスである IEEE International Conference on Communications (ICC2025)に採択された。さらに、当該分野のトップジャーナルである IEEE IoT Journal にも条件付き採択されている。

<研究テーマ 6> 高度車両ネットワークプラットフォーム

高速移動環境下でのドップラー専用測位手法を提案し、速度および位置測定の精度向上を実現した。この手法は高速鉄道シナリオでも効果的であることが確認された。無線周波数（RF）信号と魚眼カメラ画像を融合した物体検知手法を開発し、分類精度が向上するとともに、検出計算時間を 10%短縮した。統合レーダー通信（JRC）システムにおいて、深層学習ベースの最適化フレームワークを提案し、サブシステム間の干渉を軽減すると同時に、システム全体性能の向上を実現した。

<研究テーマ 7> 航空地上統合ネットワークによる広域環境情報共有技術の確立

PDMA（Power Level Division Multiple Access）方式を適用した通信プロトコルにより、周波数利用効率の向上と通信遅延の約 70%削減を実現した。航空機の位置情報を活用したチャネル推定方式を提案し、OTFS 方式および OFDM 方式との比較で高い性能を確認した。

- ② 国際ネットワーク構築・拡大に関する成果、および国際頭脳循環の促進に資する若手研究者の人材育成に関する成果

<実施したこと>

- PIの大槻が General Co-Chairとして IEEE Vehicular Technology Conference (VTC)の日本誘致に成功した。
- University of Houston にて Workshop を開催した。
- 慶應義塾大学及び早稲田大学にて Workshop を複数回開催した。
- IEEE Vehicular Technology Conference (VTC) Fall 2024 にて Workshop を開催した。
- XGMF 及び電子情報通信学会と協力して IEEE Vehicular Technology Conference (VTC) Spring 2025 に Workshop を提案し、採択された。
- ASPIRE 事業のテーマに基づき、以下の特集号を企画した。現在、論文投稿を募集中である。
“6G-Empowered Ambient Intelligence for Smart Cities”, Multimedia Tools and Applications、Springer
- ASPIRE 事業のテーマに基づき、以下の特集号を企画した。現在、論文投稿を募集中である。
“Intelligent Systems for Human Action Recognition,” Bioengineering、MDPI
- ASPIRE 事業のテーマに基づき、以下の特集号を企画した。現在、論文投稿を募集中である。
“Advances in Electrical Tomography: Innovations in Sensing Technology for Industrial and Medical Applications”, Sensors、MDPI
- XGMF と連携して、ICMLCN2025における Industry-Academia Panel を提案した。
- 電子情報通信学会の研究会や大会等で複数の研究成果を発表し、多くの経験を得た。また、複数の学生が奨励賞等を受賞した。

<得られた成果>

- PIの大槻が University of Houston の Adjunct Professor に就任し、また、University of Houston の PI の Zhu Han 教授、Co-PI の Miao Pan 教授が慶應義塾大学の Professor (Global)に就任したことにより、さらに密に共同研究が進捗した。その成果が、既に当該分野のトップカンファレンスである IEEE ICC2025 に採択された。また、IEEE や Wiley のトップジャーナルに共著論文が採択された。
- 若手研究者の海外研究機関への長期派遣により、若手研究者の育成や共同研究を進めることができたのと同時に、共同研究者を通じて新たな連携を開拓することができた。
- IEEE Global Communications Conference 等の当該分野のトップカンファレンスに研究成果が複数採択された。若手研究者を派遣し、経験や技術面で多くを得ることができた。
- 電子情報通信学会の研究会や大会等で複数の研究成果を発表し、多くの経験を得た。また、複数の学生が奨励賞等を受賞した。

2. 研究実施体制

研究テーマ	中心となる研究者氏名	所属機関・部署・役職名
研究テーマ 1	大槻 知明/ 斎藤 英雄/ 滑川 徹	慶應義塾大学・理工学部・教授

研究テーマ 2	大槻 知明/ Zhu Han	慶應義塾大学・理工学部・教授/ University of Houston, Dept. of Electrical & Computer Engineering, Professor
研究テーマ 3	嶋本 薫	早稲田大学・基幹理工学部・教授
研究テーマ 4	大槻 知明	慶應義塾大学・理工学部・教授
研究テーマ 5	大槻 知明/ Miao Pan	慶應義塾大学・理工学部・教授 /University of Houston, Dept. of Electrical & Computer Engineering, Assistant Professor
研究テーマ 6	嶋本 薫/ 滑川 徹	早稲田大学・基幹理工学部・教授 /慶應義塾大学・理工学部・教授
研究テーマ 7	嶋本 薫	早稲田大学・基幹理工学部・教授

3. 代表的な業績（原著論文、プレスリリース、表彰など）

原著論文

- S. Xu, X. Guan, Y. Peng, C. Cui, H. Chen, T. Ohtsuki, and Z. Han, "Deep Reinforcement Learning based Data-driven Mapping Mechanism of Digital Twin for Internet of Energy," *IEEE Transactions on Network Science and Engineering*, vol. 11, no. 4, pp. 3876-3890, July-Aug. 2024
- G. Pan, X. Guan, H. Jiang, Y. Liu, H. Wu, H. Chen, T. Ohtsuki, and Z. Han, "Joint intelligent optimizing economic dispatch and electric vehicles charging in 5G vehicular networks," *Computer Networks*, vol.255, pp.110872, Oct. 2024.
- F. Miao, Y. Huang, Z. Lu, T. Ohtsuki, G. Gui, and H. Sari, "Wi-Fi Sensing Techniques for Human Activity Recognition: Brief Survey, Potential Challenges, and Research Directions," *ACM Computing Surveys*, Vol. 57, Issue 5, No. 107, pp. 1-30, Jan. 2025.
- V. Ganapathy, R. Ramachandran and T. Ohtsuki, "Deep Learning Methods for Secure IoT SWIPT Networks," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 11, no. 11, pp. 19657-19677, 1 June1, 2024
- J. Liu, H. Zhao, P. Han, G. Gui, T. Ohtsuki, H. Sari, and F. Adachi, "An Ensemble Learning-Based Fault Detection Method for Vehicular Ad Hoc Networks in Intelligent Transportation Systems," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 74, no. 3, pp. 5114-5124, March 2025

表彰等

- 嶋本 薫、令和 6 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰
- 大槻 知明、The 2024 4th International Conference on Artificial Intelligence, Virtual Reality and Visualization (AIVRV 2024), Best Paper Award
- 大槻 知明、The 2024 6th International Conference on Robotics, Intelligent Control and Artificial Intelligence (RICAI2024), Best Paper Award
- 大槻 知明、International Conference on Internet of Things, Communication and Intelligent Technology (IoT CIT) Best Paper Award
- 大槻 知明、AAIA フェロー