

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

研究代表者 嶋本 薫
(基幹理工学部 情報通信学科 教授)

1. 研究課題

本研究では、知的環境の実現を目指し、知的環境をサポートする各要素技術及びその実現例に対して研究する。知的な通信&センシングに関しては、ミリ波等の通信信号やレーダ信号を用いた高精度統合通信・センシング(HAISAC)を開発する。通信用信号を用いて環境や人などの対象の状態・位置を高精度に検知する技術や、レーダ信号を用いて生体信号や行動・位置を検出しつつ、通信可能な技術を開発する。知的環境の実現例として、高度車両ネットワークプラットフォーム及び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を開発する。高度車両ネットワークプラットフォームでは、OTFSなどの6G通信方式を車両ネットワークに導入し、データ伝送遅延やドップラーシフトの影響を効率的に削減する組み合わせ方法を実装する。これにより、車々間通信や路車間通信の干渉を改善する。高いモビリティ性を持つ通信環境における車の進行パターンに合わせて通信方式を選定し、車々間や路車間の通信連携が可能な車両ネットワークプラットフォームを構築する。航空地上統合ネットワークでは、車両、UAV、HAPSなどを有機的に組み合わせた広域・多層ネットワークに基づく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を開発する。周波数利用効率、消費電力、通信遅延、処理遅延などを考慮する上に、最適な広域航空地上統合ネットワークのアーキテクチャと構成手法を検討し、高いモビリティ性を持つ3次元航空地上統合ネットワークを構築する。これらの知的環境に関する研究開発を通じて、様々な分野でのスマート化を通じた社会の諸問題の解決や、新しいサービスやビジネスモデルの創出など、社会及び経済・産業の要請に応える。

2. 主な研究成果

2.1 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、統合通信・センシング技術に関連する既存方式を調査し、適用可能な技術要素を抽出した。特に、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検証した。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。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。シミュレー

ション評価において、距離の RMSE が約 0.3 m、速度の RMSE が約 0.2 m/s を達成し、高精度なターゲット検知能力を確認した。さらに、信号モデリングの基礎設計を進め、実験環境での動作検証を実施するための準備を整えた。

2.2 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の高度化に向けて、車両間および車両-インフラ間通信を対象としたドップラーシフトに基づく測位技術の調査および基礎検証を実施した。特に、分数ドップラーを活用した高精度測位の適用可能性を検討し、センシングと通信の連携強化を目的とした信号処理手法を策定した。高速移動環境に適したドップラー専用測位手法を提案し、位置および速度測定の精度向上を達成し、高速鉄道シナリオにおいても有効性を確認した。また、無線周波数 (RF) 信号と魚眼カメラ画像の融合による物体検知手法を開発し、分類精度の向上とともに検出処理時間を約 10%短縮した。統合レーダー通信 (JRC) システムにおいては、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低減しながらシステム全体の性能向上を実現した。さらに、通信遅延や干渉の影響を評価可能なシミュレーション環境の整備を検討した。電気自動車 (EV) を含む異種エネルギー車両で構成されるネットワークに対し、5G ネットワークの広帯域・低遅延特性を活用し、充電時間、エネルギー消費コスト、充電コスト、走行距離不安を考慮したインテリジェントな充電モデルを提案した。

2.3 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 (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。UAV ネットワークでは、タスク分配とリソース割り当ての最適化を実現する MCR-SAC 法を提案し、実データを用いた検証でネットワークスループットの向上を達成した。また、通信経路の不感地帯を可視化するため、短波帯の電離層伝搬モニタリングを可能にするリアルタイム監視システムを構築した。加えて、UAV や高高度プラットフォーム (HAPS) を活用した広域情報共有の可能性を探るため、実環境シミュレーションの準備を進めた。

3. 共同研究者

劉 江 (理工学術院・国際理工学センター・教授)

パン ジェニー (理工学術院・国際理工学センター・准教授)

齋藤 恵 (理工学術院・国際情報通信研究センター・次席研究員)

吉井一駿 (理工学術院・国際情報通信研究センター・研究助手)

4. 研究業績

4.1 学術論文

Y. Wu, H. Jia, Y. Nakawaki, Z. Pan, and S. Shimamoto, "Doppler-only Wireless Positioning for High-speed Railway based on Fractional Doppler Estimation", 2024 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), April 2024

K. Shindo, K. Yoshii and S. Shimamoto, "Study of Mobile Satellite Communications Employing PDMA with SIC", 2024 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), April 2024

P. K. Dhindsa, Z. Pan, and S. Shimamoto, "Next-Gen Vehicular Detection: A Fusion of RF Signal and Fisheye Camera Technologies," IEEE Vehicular Technology Conference (VTC2024-Spring), Singapore, June 2024.

H. Jia, Y. Wu, K. Yoshii, Z. Pan, and S. Shimamoto, "Performance of OTFS based UAS-assisted Multi-Hop LEO Satellite Communication System," IEEE Vehicular Technology Conference (VTC2024-Spring), June 2024.

Wang, M. Saito, J. Liu, and S. Shimamoto, "Comprehensive Analysis of Traffic Operation for on-street Parking Based on the Urban Road Network", IEEE Access (2024). Page(s): 125643 - 125653, Aug. 2024

S. Li, K. Yoshii, S. Shimamoto and T. D. Ho, "Optimizing mmWave UAV Networks: Mobility-Aware Deployment and Resource Allocation", 2024 IEEE 100th Vehicular Technology Conference (VTC2024-Fall), 6G-EmAI Workshop, Oct. 2024

J. Wang, Z. Pan, and S. Shimamoto, "QoS aware Joint Radar Communication Optimization via Backtrack based Training Network", IEEE 100th Vehicular Technology Conference (VTC2024-Fall), 6G-EmAI Workshop, Oct. 2024

Y. Nakawaki, K. Uesugi, K. Yoshii, and S. Shimamoto, "Misalignment-Robust Modulation Scheme for UCA-Based OAM Multiplexing Systems," IEEE 100th Vehicular Technology Conference (VTC2024-Fall), 6G-EmAI Workshop, Oct. 2024

M. Wang, K. Yoshii, S. Shimamoto, M. Funakoshi, A. Yabuki and H. Funayoshi, "Power-Division Integrated Sensing and Communication waveform based on ZC-OFDM," 2024 IEEE 100th Vehicular Technology Conference (VTC2024-Fall), Oct. 2024.

Q. Mamun, Z. Pan and S. Shimamoto, "An Integrated Approach To Mitigating Systemic Cyber Risk In Autonomous Electric Vehicles", 2024 IEEE 100th Vehicular Technology Conference (VTC2024-Fall), 6G-EmAI Workshop, Oct. 2024

C. Wu, J. Liu, K. Yoshii, and S. Shimamoto. "Multi-objective Hierarchical Task Offloading in IoV: an Attentive Multi-agent DRL Approach." 2024 IEEE 29th Asia Pacific Conference on Communications (APCC), pp. 204-210, Nov. 2024

C. Liu J. Liu, and S. Shimamoto, "Proposal of Healthcare System for Pathological Symptom Detection Employing Voice Analysis," 2024 IEEE International Conference on E-health Networking, Application & Services (Healthcom), Nov. 2024

M. Matsuda, J. Liu, T. Nakada, and S. Shimamoto, "The Detection of Arteriosclerosis using A Non-contact Method with Microwaves," IEEE International Conference on E-health Networking, Application & Services (Healthcom 2024), Nov. 2024

N. Long, V. N. Vo, V.-H. Dang, H. Tran, D.-H. Tran, Z. Pan, and S. Shimamoto, Tu Dac Ho, "Throughput Maximization For UAV-RIS NOMA Cognitive Systems in Disaster Communications", The 18th IEEE-RIVF International Conference on Computing and Communication Technologies, Dec. 2024

J. Xue, J. Liu, and S. Shimamoto, "Infrared-Based Non-Invasive Blood Glucose

Measurement Utilizing the DLinear Model", IEEE 43rd International Conference on Consumer Electronics Imaginations with Consumer Technology, Jan. 2025

M. Wang, K. Yoshii, S. Shimamoto, M. Funakoshi, A. Yabuki and H. Funayoshi, "An OFDM-ISAC Scheme based on Zadoff-Chu Sequence For 5G NR Base-station," 2025 IEEE Consumer Communication Network Conference (CCNC 2025), Jan. 2025.

4.2 総説・著書

なし

4.3 招待講演

なし

4.4 受賞・表彰

嶋本薫, 令和 6 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰, 2024 年 4 月

Hayate Ouchi, Best Presentation Award (JSPS A3 Foresight Program AI-Based Future IoT Technologies and Services 2024 Workshop, Jeju, Jun. 2024

Mao Wang, Best Presentation Award (JSPS A3 Foresight Program AI-Based Future IoT Technologies and Services 2024 Workshop, Nov. 2024

N. Long, V. N. Vo, V.-H. Dang, H. Tran, D.-H. Tran, Z. Pan, and S. Shimamoto, Tu Dac Ho, The 18th IEEE-RIVF International Conference on Computing and Communication Technologies, Best Paper Award, Dec. 2024.

Mao Wang, Best Presentation Award(Global Information and Telecommunication Workshop 2024 (GITW 2024), Dec. 2024

Chengyang Liu, Best Presentation Award (Global Information and Telecommunication Workshop 2024 (GITW 2024), Dec. 2024

4.5 学会および社会的活動

Shigeru Shimamoto, General Chair, Global Information and Telecommunication Workshop 2024 (GITW 2024), Dec. 20-21,2024

Zhenni Pan, Associate Editor, IEEE Internet of Things Journal, Feb. 2024～; Associate Editor, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Sep.2019～; IEICE IN 研究会, 専門委員 2019 年 6 月より

5. 研究活動の課題と展望

知的通信・センシング技術の高度化と、それらを統合する広域ネットワーク基盤の構築が求められている。ミリ波やレーダ信号を用いた HAISAC 技術により、環境や人の状態、生体・行動情報を同時に高精度で検知可能な方式の必要性が明らかとなった。また、進行パターンに応じて柔軟な通信連携が可能な高度車両ネットワークや、多層構成による航空地上統合ネットワークの設計が不可欠である。次年度は、HAISAC の統合アルゴリズム設計と、OTFS を用いた車両通信方式の開発、さらに広域ネットワークのアーキテクチャ最適化に取り組む。