（革新）様式 1-4-2 (2025-1)

令和７年度研究開発成果概要書

採 択 番 号　08701
研究開発プロジェクト名　Integrated Sensing and Communication における
エッジモバイルコア統合型制御方式の研究開発

（１）研究開発の目的

本研究開発は、人口減少や高齢化に伴うドライバー不足という社会課題に対応し、安全運転支援技術の高度化を通じて、自動運転・コネクティッドカーの早期普及に貢献することを目的とする。特に、見通しの悪い交差点における自転車との出会い頭事故の回避を対象に、既存の車載センサだけでは困難な早期の危険検知を実現し、急ブレーキの低減による安全性と乗車体験の向上を目指す。

そのため、Beyond 5G で注目される Integrated Sensing and Communication（ISAC）を活用し、既設のモバイルネットワーク基地局を通信とセンシングの両方に利用することで、追加の大規模な専用設備に依存せず、広域かつ早期に安全運転支援サービスを提供できる仕組みを実現する。あわせて、センシング情報を低遅延に処理・配信するためのエッジモバイルコアのアーキテクチャ、インターフェイス、制御方式を開発し、実環境を想定した評価を通じてその有効性を検証する。

これにより、通信インフラを活用した実用的な安全運転支援技術を確立し、将来の 6G・スマートシティ時代を見据えた新たなセンシングサービス基盤の実現につなげる。

（２）研究開発期間

令和６年度から令和８年度（３年間）

（３）受託者

国立大学法人大阪大学〈代表研究者〉
株式会社 KDDI 総合研究所

（４）研究開発予算（契約額）

令和６年度から令和７年度までの総額 200 百万円（令和７年度 100 百万円）
※百万円未満切り上げ

（５）研究開発項目と担当

研究開発項目１　通信およびセンシング制御方式の開発
研究開発項目 1-a）通信・センシング性能モデル開発（国立大学法人大阪大学）
研究開発項目 1-b）適応制御方式の開発（国立大学法人大阪大学）
研究開発項目 1-c）センシング方式の開発（国立大学法人大阪大学）

研究開発項目 ２　エッジモバイルコアのアーキテクチャ検討、インターフェイス及び制御手法の開発
研究開発項目 2-a）エッジ計算基盤の開発（株式会社 KDDI 総合研究所）
研究開発項目 2-b）RAN-CN インターフェイスの開発（株式会社 KDDI 総合研究所）
研究開発項目 2-c）計算機資源と通信資源の結合最適化機能の開発（株式会社 KDDI 総合研究所）

研究開発項目３　ISAC 向け実証環境の構築と検証
研究開発項目 3-a）ISAC シミュレーションモジュール開発（株式会社 KDDI 総合研究所）
研究開発項目 3-b）ISAC アプリケーションおよびその通信/センシング制御方式の開発

（国立大学法人大阪大学）
研究開発項目 3-c）実証実験による制御方式の効果検証（国立大学法人大阪大学）

（6）特許出願、外部発表等

		累計（件）	当該年度（件）
特許出願	国内出願	5	3
	外国出願	2	2
外部発表等	研究論文	1	1
	その他研究発表	13	8
	標準化提案・採択	6	6
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	1	0
	受賞・表彰	1	0

（7）具体的な実施内容と成果

研究開発項目１：通信およびセンシング制御方式の開発

研究開発項目 1-a）通信・センシング性能モデル開発
ISAC による自転車や自動車などの物体センシング性能モデルを開発し、5G NR の n257 band を想定して、周波数 28GHz、帯域幅 400MHz の場合における、自転車からの反射波の受信強度をシミュレーションにより評価した。チャープ信号と複数受信アンテナによる受信ビームフォーミングを適用することで、自動車よりも微弱な自転車からの反射波を検出可能な見通しを得た。

研究開発項目 1-b）適応制御方式の開発
センシングと通信の要求に応じたタイムスロットおよび計算資源の割り当てを実現するため、適応制御方式の設計を行い、シミュレーションにより性能を評価した。センシングにおける物体の速度推定性能に対して高い要求精度が求められる場合、それに応じたセンシング時間が必要となるため、特に速度推定性能に起因して、通信性能とのトレードオフが存在することを確認した。

研究開発項目 1-c）センシング方式の開発
ISAC による自転車の検出を実現するためのセンシング方式を開発した。本方式では、チャープと受信ビームフォーミングにより取得した受信信号に対して、信号処理を適用し、Range Doppler Map (RDM) を取得する。RDM に対して、CFAR 検出アルゴリズムを適用し、センシングを実施した時点での物体の位置を推定する。さらに、各センシング実施時に得られる、物体の推定位置の時系列データに対して、カルマンフィルタを適用することで、頻繁なセンシングを実施せずに高精度な速度推定が可能なことを確認した。また、RDM では物体の識別はされないため、反射強度の分布に基づき、閾値ベースの手法を設計し、自転車と自動車の判別が可能なことを確認した。上記項目 1-a)の成果とあわせ、本項目の成果を査読付き収録論文 4 件で発表した。

研究開発項目２：エッジモバイルコアのアーキテクチャ検討、インターフェイス及び制御手法の開発

研究開発項目 2-a）エッジ計算基盤の開発
コアネットワークにおけるセンシング機能（SenPF）をエッジ計算基盤に分散配置可能なアーキテクチャ（CAC-SBA）を実装・評価した。エッジ基盤でのセンシング処理を実施することによって、大容量の中間センシングデータをローカルで処理でき、バックホール通信量を削減できるため、セントラル基盤（エッジを利用しない場合）で処理を実施する場合と比較し、センシング処理遅延が短縮したことを確認した。さらに、分散された計算資源を柔軟に活用することで、既存の 5G アーキテクチャと比較して 4.0 倍のセンシング容量を達成することを観測し、エッジ処理の有効性を確認した。

研究開発項目 2-b） RAN-CN インターフェイスの開発

既存の 5G モバイルアーキテクチャにおいて、AMF へのメッセージ負荷集中が通信プロシージャとセンシング処理の完了時間の増加を引き起こし、AMF のインターフェイスが致命的なボトルネックとなることを実環境テストベッドで確認した。 これに対し、コアネットワークの SBA（Service-Based Architecture）の概念を RAN（gNB）にまで拡張し、AMF のプロキシを介さずに基地局とコアネットワーク機能間で直接センシングメッセージ等を交換する方式を設計・開発した。これにより、AMF がボトルネックになることを解消し、既存のアーキテクチャ構成と比較してセンシング処理遅延が 63.6%、通信プロシージャ完了遅延が 54.5%短縮したことを確認した。また、上記項目 2-a の成果とあわせ、本インターフェイスを用いた遅延短縮効果を統合的に実証した査読付き収録論文を 1 件、研究論文を 1 件発表した。

研究開発項目 2-c）計算機資源と通信資源の結合最適化機能の開発

通信処理とセンシング処理のリソース競合を解消するため、エッジの計算負荷やバックホール帯域の状況に応じて、センシング処理をエッジとセントラル間で動的に最適配置する ISAC オーケストレータ（エッジ・セントラル協調制御ソフトウェア）を開発した。

また、ISAC コントローラによる計算資源と通信資源を統合評価した動的再配置制御に関する特許を 1 件出願した。さらに、ISAC のモバイルネットワークでの実現に向けて、複数のセンシング周期要求に対応するため、基地局が取得したデータの周期を適応的に変換して各サービスへ最適配信する技術、および基地局間でセンシングコンテキストを転送することにより連続追跡を実現する技術について、それぞれ特許出願を行った。

研究開発項目 3：ISAC 向け実証環境の構築と検証

研究開発項目 3-a）ISAC シミュレーションモジュール開発

ISAC シミュレーションモジュールの開発は 2024 年度に完了した。

研究開発項目 3-b）ISAC アプリケーションおよびその通信/センシング制御方式の開発

リアルタイムな交通状況マップの構築、将来予測により安全運転支援を行うアプリケーションに焦点をあて、ISAC アプリケーションの実装を行った。また、シミュレーション評価により、車両のセンシングのみでは情報が不足して事前予知が不可能となる場面であっても、基地局によるセンシングにより自転車の交差点侵入の可能性を検知できることを示した。

合わせて、基地局に加えて、自動車によるセンシング情報を収集する手法についても、インセンティブメカニズムに基づく方法に拡張、さらに、車両によるセンシングも存在する条件下でも、基地局によるセンシングに用いる電波資源を最適化する問題の定式化を行い、シミュレーションにより、有効性を確認した。

研究開発項目 3-c）実証実験による制御方式の効果検証

交通状況マップの構築というアプリケーションに合わせて、実証実験に用いるシステムの設計を実施した。また、実証実験のシナリオ、ならびに実証実験に必要なシステム構成を決定し、実証環境の構築に着手した。

（8）今後の研究開発計画

研究開発項目 1：通信およびセンシング制御方式の開発

これまでに設計・開発したセンシング方式ならびに適応制御方式の改良を行うとともに、シミュレーションならびに実証環境により有効性を検証する。

研究開発項目 2：エッジモバイルコアのアーキテクチャ検討、インターフェイス及び制御手法の開発

ISAC に向けたエッジモバイルコアのアーキテクチャおよびインターフェイス・制御方式について、これまでに開発したエッジ計算基盤、RAN-CN インターフェイスおよび計算機資源と通信資源の結合最適化機能の検証・評価を行うとともに、得られた知見を外部発表および国際標準化活動へ展開する。

研究開発項目３：ISAC 向け実証環境の構築と検証

ISAC 実証用システムの開発を進め、実験試験局の免許を取得したうえで、屋外環境での実証実験を行う。実証実験では、ISAC アプリケーション性能、ISAC センシング性能、UE の通信品質などの測定を実施し、開発した ISAC センシング方式やエッジモバイルコアアーキテクチャなど各項目の有効性を評価する。