

60 GHz 帯を利用した超広帯域移動通信・センシング融合技術 の基本実証に成功

—実走行車両から 10Gbit/s 超の高速通信と車両速度・位置センシングを同時実現—

概要

国立大学法人京都大学の原田博司 情報学研究科教授、香田優介 同准教授、遠藤浩明 同博士課程学生らの研究グループは、第 5 世代移動通信（5G）で使用されるミリ波帯の一つである 57～71 GHz のうち 60 GHz 帯において、超広帯域移動通信とセンシングの融合が可能な広帯域移動伝送試験装置をソフトウェア無線技術により開発し、5 G 標準化で定められている通信仕様に準拠しながら、国内の 5G に割り当てられている最大チャネル帯域幅 400 MHz の約 5 倍 1840 MHz を用いて、実際に走行する車両から最大 10.3 Gbit/s の上り超高速無線伝送に成功しました。加えて、この通信用信号を利用することで、走行車両の位置をメートル精度で推定し、超高速無線通信と位置センシングを同時に実現することにも成功しました。本成果により、第 6 世代移動通信（6G）時代において交差点周辺で生成される点群データや高精度 3 次元地図情報など、自動運転車両に必要な大容量の認識情報を移動通信環境下で高速に収集するとともに、これらのデータの生成・活用に必要な測位情報を同時に取得することが可能となり、60 GHz 帯ミリ波による通信とセンシングの融合技術を核とした、安全な自動運転車化を支える次世代高速無線通信インフラの研究開発の加速が期待されます。

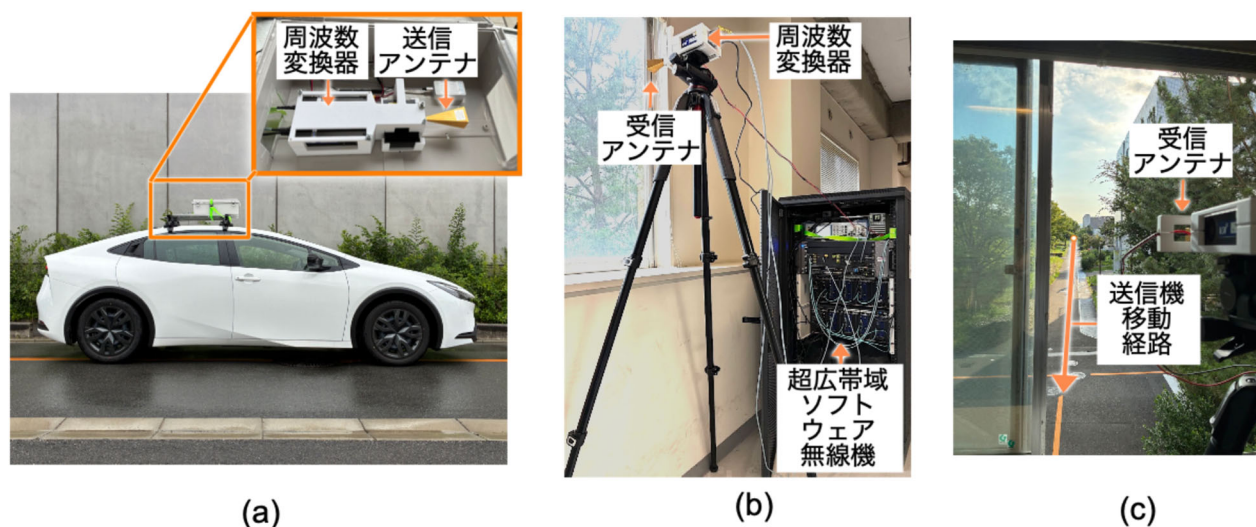


図 1：60 GHz 帯超広帯域移動伝送装置（(a) 送信機、(b) 受信機、(c)受信機から見た移動経路）

1. 背景

自動運転分野において車両向け通信システム V2X (Vehicle-to-Everything) ¹ が注目されており、第 5 世代移動通信システム (5G) の活用が検討されています。V2X では、車両同士あるいは車両と路側インフラとの間で、位置情報、各種センサー、メーター、モニターの情報を共有することで、交通事故の削減等交通分野におけるさまざまな課題解決に貢献することが期待されています。日本では、このような V2X の実現に向けて 5.9 GHz 帯の利用が検討されているほか、28 GHz 帯に代表されるミリ波帯 ² を用いた研究開発も進められています。一方で、点群データや高精度 3 次元地図データなど、自動運転車両からアップロードされるデータ量は今後さらに増大すると予想されており、これらの大容量データを瞬時に収集するためには、より広い周波数帯域を利用した高速・大容量通信技術が必要となります。さらに、高精度地図情報の生成・利活用には、同時に高精度な車両位置情報も必要ですが、代表的な即位技術である GNSS (Global Navigation Satellite System) は、高層ビルが立ち並ぶ都市環境などでは測位制度が大きく低下する場合があります、このような環境でも高精度かつ簡易に車両位置を推定できる技術が求められています。

そこで有力な技術として注目されているのが、60 GHz 帯ミリ波を利用した通信とセンシングの融合技術 (ISAC : Integrated Sensing and Communications) ³ です。60 GHz 帯は、5G の利用が想定された 57-71 GHz 帯 (n263 バンド) の中でチャンネル当たり 2 GHz の広帯域を利用できることから、自動運転車両から大容量データを高速に収集する無線通信システムと、高精細な車両位置センシングを同時に実現できる可能性があります。これまで、60 GHz 帯を用いた無線 LAN 規格 IEEE 802.11ad 等、5G に準拠しないシステムでの通信とセンシングの統合検証例はあるものの、5G で現在利用されている最大チャンネル帯域幅 (400 MHz) を超える約 2 GHz の超広帯域 5G 信号について、実際の車両移動環境における高速伝送性能や通信可能範囲、さらに同一の通信用信号を利用した車両位置推定性能については、十分な検証が行われていませんでした。現在 5G の標準化団体である 3GPP (3rd-Generation Partnership Project) において、5G で用いられている直交周波数多元接続方式 ⁴ (OFDMA : Orthogonal Frequency Division Multiple Access) を構成するサブキャリア間隔と呼ばれる最小単位の周波数帯域幅を現状の 120 kHz から 960 kHz に拡張し、最大帯域幅を 2 GHz まで広帯域化することが現在標準規格として定められていますが、こうした広帯域 5G 信号を 60 GHz 帯の移動通信環境で送受信し、その通信性能とセンシング性能を同時に評価できる伝送試験装置の実現が求められていました。

2. 研究成果

5G の標準化団体である 3GPP により規格化されている 5G 物理伝送信号フォーマットを基盤とし、国内の 5G で利用されているチャンネル帯域幅を大幅にこえる超広帯域信号を 60 GHz 帯で伝送可能な伝送試験装置を、ソフトウェア無線技術を利用して開発しました (図 2)。本装置は以下の特長を有しています。

1. 60 GHz 帯において 5G 標準仕様で採用されている OFDMA 方式に準拠した物理層信号を送信可能
2. OFDMA 方式におけるサブキャリア間隔を現行 5G で利用されている最大 120 kHz から 960 kHz へ拡張することにより、5G で利用されている最大チャンネル帯域幅 400 MHz の約 5 倍に相当する 1840 MHz の広帯域化を実現し、最大 10.3 Gbit/s の高速伝送を達成
3. 移動環境下で送信された超広帯域信号に対して正確に同期・復調する信号処理機能をソフトウェア無線技術より開発し、60 GHz 帯においても安定した信号受信を実現
4. 通信信号の復調時に推定されるドップラー周波数から車両速度を算出するとともに、その速度情報を参照位置から積算することにより車両位置を推定する、60 GHz 帯の通信用電波を利用したセンシング用信号処理機構を実装



(a)



(b)

図 2：開発した 6G 向け 60 GHz 帯超広帯域移動伝送試験装置 ((a)送信装置、(b) 受信装置)

開発した伝送装置を用いて交差点を含む実道路環境において走行車両を用いた伝送試験を実施し、交差点から直線状に約 330 m 延びる道路 (図 3 (a)) を約 18km/h で走行する車両から無線伝送を行った結果、交差点から 150 m 離れた地点においても、10 Gbit/s を超える高速伝送に成功しました。さらに、同じ通信用電波を利用して車両速度および位置を推定し、速度については最大数 km/h の誤差、位置については平均数 m の誤差で推定できることを確認しました。



(a)



(b)

パラメータ	値
中心周波数	58.32 GHz
帯域幅	1,843 MHz
送信電力	10 dBm
サブキャリア間隔	960 kHz
物理リソースブロック数	160
IFFT サイズ	2048
CP長	72
MCS	7, 17
伝送レート	3.4 Gbit/s (MCS 7) 10.3 Gbit/s (MCS17)
変調方式	QPSK-OFDM (MCS 7) 64QAM-OFDM (MCS 17)
サンプリングレート	2,000 MHz
IF周波数	3 GHz
アンテナ利得 (送受共通)	25 dBi

(c)

図 3：実験環境および諸元。(a) 実験環境写真、(b) 受信機位置、受信ビーム照準点、送信車両移動経路 (c) 実験諸元

伝送実験では、受信機を試験対象となる交差点および道路を見通す建物内の高さ約 5.8 m の位置に設置し、受信アンテナのビーム方向を交差点中央からおおよそ 100 m 離れた道路上の地点に固定しました。その上で、送信機を搭載した車両 (図 1(b)) を交差点中心からおおよそ 330 m の範囲で走行させ、伝送特性を測定しました。なお送信アンテナの高さは 1.5 m とし、送受信アンテナには、利得 25 dBi の標準利得ホーンアンテナを使用しました。送信アンテナは常に水平面内で交差点方向を向くように設定する一方、受信アンテナの受信ビーム方向は走行車両に追従させず、実験中を通じて固定しています。伝送試験の主なパラメータを図 3 (c) に示します。

図 4 に受信機の各通過地点における伝送特性を示します。本評価では、5G 信号のブロック誤り率 (BLER : Block Error Rate) を伝送特性の評価尺度とし、BLER が 0.1 以下となる場合を通信可能としました。QPSK に

基づく変調符号化方式（MCS：Modulation and Coding Scheme）7 を用いた場合、交差点から約 250 m の範囲まで通信可能であることが確認されました（図 4（a））。また、64QAM に基づく MCS 17 を用いた場合、交差点から約 150 m の範囲まで、10.3 Gbit/s のデータレートで通信可能であることが確認されました（図 4（b））。

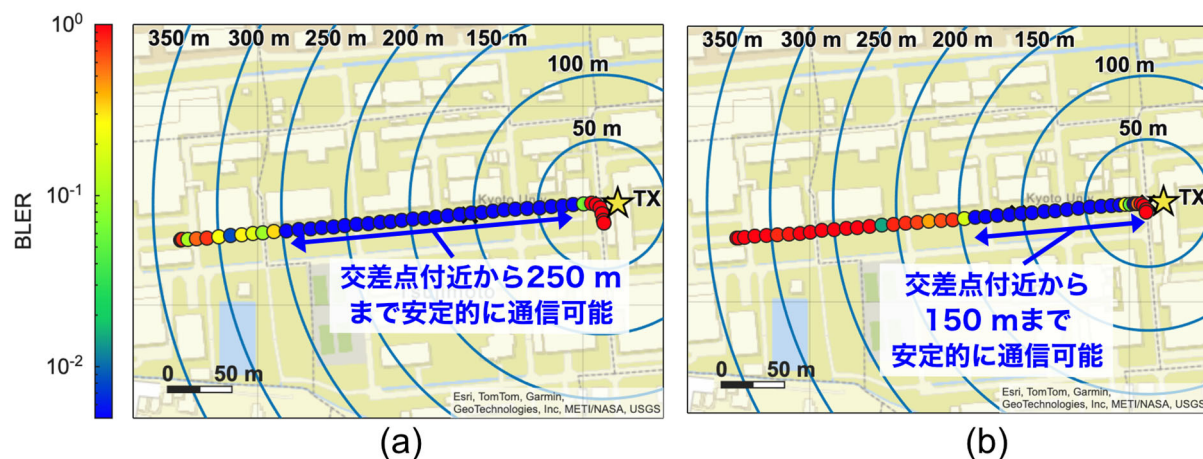


図 4：(a) MCS7（QPSK、3.4 Gbit/s）の伝送特性 (b) MCS 17（64QAM、10.3 Gbit/s）の伝送特性。
図の同心円は、交差点中心からの距離を表す。

図 5 に通信電波を用いた車両速度の推定および車両位置の推定結果を示します。受信した通信信号から推定したドップラー周波数を用いることにより、車両速度を最大 5 km/h の程度の誤差で推定できました。さらに、推定した車両速度を参照位置から積算して車両位置を推定した結果、平均測位誤差は約 3 m 程度となりました。以上の結果から、今回開発した伝送試験装置および信号処理技術により、実際の車両走行環境において、60 GHz 帯の同一の無線信号を用いた 10 Gbit/s 超の高速通信と車両速度・位置センシングを同時に実現できることを確認しました。

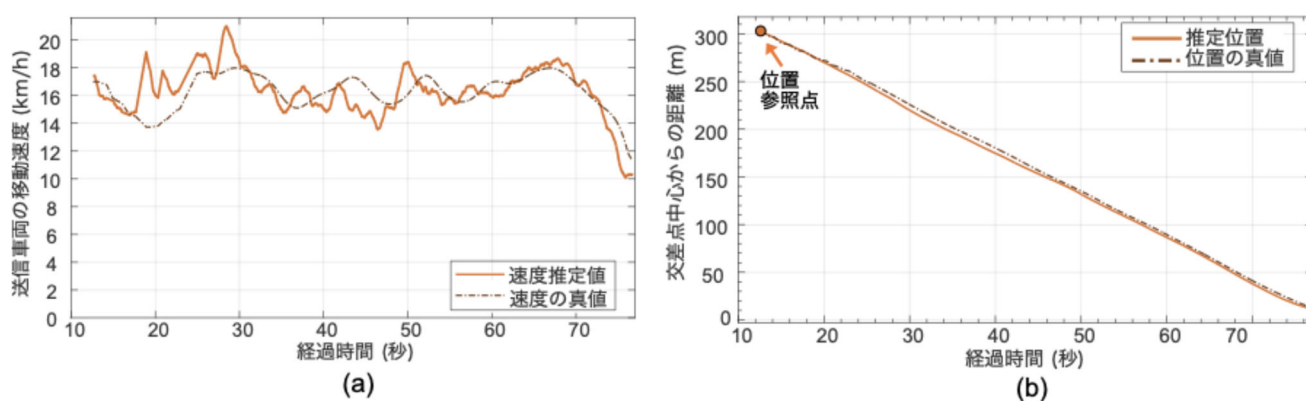


図 5：通信電波を用いたセンシング結果 ((a) 車両速度の推定結果、(b) 車両位置の推定結果)

3. 波及効果、今後の展開

今回開発した伝送試験装置を用いた実証試験により、移動環境に対応した受信信号処理技術を適用することで、60 GHz 帯において、5G を基盤とした超広帯域信号による 10 Gbit/s を超える高速無線伝送を 100 m 以上の範囲で実現すると同時に、同じ通信用電波を利用してメートル精度で車両位置を推定できることを示しました。本成果は、点群データや高精度 3 次元地図情報など自動運転に必要となる大容量の認識情報を 5G 標準仕様に準拠しながら走行車両から高速に収集するとともに、これらのデータの生成・活用に必要な車両の位置情報を、同じ通信用電波から取得できる可能性を示すものです。今後、本技術をさらに高度化することに

より、60 GHz 帯の広い周波数帯域を活用した超高速・大容量通信と車両センシングを一体化し、6G 時代の安全・安心な自動運転を支える次世代無線通信インフラの研究開発が加速されることが期待されます。本成果は、11 月 19 日-20 日にかけて開催される電子情報通信学会短距離無線通信（SRW）研究会で発表を行う予定です。

4. 研究プロジェクトについて

本研究の一部は国立研究開発法人情報通信研究機構の委託研究（JPJ010017C07501、JPJ012368C04201）、および、総務省「日米産学連携を通じた 5G 高度化の国際標準獲得のための無線リンク技術の研究開発」（JPJ00595）の一環として実施されたものです。

<用語解説>

1. V2X（Vehicle-to-everything）

車両が他の車両、インフラ、歩行者、ネットワーク等あらゆるものと無線により接続し、情報共有や協調制御を行うシステムです。交通事故の削減や交通流の最適化、自動運転への高度化などへの活用が期待されています。V2X は車両同士を接続する V2V (Vehicle-to-vehicle)、車両と他の路側機等のインフラを接続する V2I (Vehicle-to-infrastructure)、車両と歩行者を接続する V2P (Vehicle-to-pedestrian)、車両とネットワークを接続する V2N (Vehicle-to-network) から構成されています。

2. ミリ波帯：

30 GHz 付近から 300 GHz までの周波数帯域全般を指します。総務省より第 5 世代移動通信システム向けに割り当てられた 28 GHz 付近の周波数帯域もミリ波帯と呼ばれることが多く、一般的にはその下限として 28 GHz を含みます。

3. 通信とセンシングの融合技術（ISAC：Integrated Sensing and Communications）

無線ノード間で通信の電波を利用しながら、通信端末やその周囲の物体の存在、位置、動き等の空間的な情報を取得する技術。本実証は、ISAC の中でも特に、通信波形を用いて端末自身の位置・速度を推定する「測位」の側面に焦点を当てたものです。

4. 直交周波数多元接続方式（OFDMA：Orthogonal Frequency Division Multiple Access）

データを直交する周波数サブキャリアに分割して並列に伝送する直交周波数分割多重方式（Orthogonal Frequency Division Multiplexing：OFDM）を拡張し、複数の無線局がそれぞれ異なるサブキャリアを用いることで、互いに混信することなく同時に通信を行うことを可能にする技術。第 4 世代移動通信システム（4G）では下り通信において採用されており、現在では第 5 世代移動通信システム（5G）において、下り通信および上り通信の両方に採用されています。