

リニアセルを用いた高速無線通信および高精度レーダーに関する研究

研究代表者 川西 哲也
(基幹理工学部 電子物理システム学科 教授)

1. 研究課題

直線上に並べたミリ波送受信ユニットを光ファイバーで接続したシステムであるリニアセルを用いた高速無線通信と高精度レーダーの性能向上に関する研究を行う。リニアセルシステムの基礎概念は研究代表者らが中心となって提案したものであり、空港滑走路や鉄道線路上の障害物を検知するためのレーダーシステムや、インフラ向け高速通信システムへの実用展開を公的研究機関、民間企業などと連携して進める。大学側としては、電波伝搬や測定技術に注力し、光無線融合システム研究を新たな分野として確立し、実用性のみならず、学術としての成果を目指す。また、当該分野の学生指導を通して、国際的に広がり期待される分野で活躍できる人材輩出につなげたいと考えている。

2. 主な研究成果

今年度もリニアセル技術に関連する課題として、ミリ波帯・テラヘルツ帯無線技術に関する研究プロジェクトを実施した。その中で、電波伝搬に関連するものとして、テラヘルツ(THz)帯通信技術に関する研究をとりあげる。

将来のモバイルネットワークにおいては、さまざまな場所で広帯域サービスを提供するために、多数の小型のセルが必要となる。これらの多数の基地局を効果的に接続するには、THz 短距離固定無線伝送を含むさまざまな伝送媒体を利用したモバイルバックホールおよびフロントホールが必要になると考えられている。北東アジアのモバイルバックホールおよびフロントホールネットワークでは光ファイバー通信が広く用いられているが、発展途上国では従来型の固定無線も多数用いられている。モバイルネットワークの大量のトラフィック需要に対応するために、マイクロ波周波数を利用した従来の固定無線はボトルネックになるために、光ファイバーに徐々に取って代わられると考えられている。しかし、6G などの将来のモバイルネットワークでは、必要と基地局数が膨大であるため、先進地域においても、すべての基地局を光ファイバーでのみ接続するのは困難であると予測されている。そのため、モバイルバックホールまたはフロントホールリンクの一部は、固定無線が担い続けると考えている。固定無線と光伝送の統合により、高速の光ファイバーリンクが高速の固定無線リンクで補完される異種ネットワークの開発が必要である。しかしながら、固定無線で必要となる伝送容量は従来のマイクロ波周波数を利用した固定無線伝送のそれを大幅に上回る。他方、必要な伝送距離は大幅に短く、通常、数百メートル以下である。テラヘルツ帯を用いることで、短距離大容量固定無線の実現が期待される。テラヘルツ帯では小型のアンテナで十分高いアンテナゲインが確保でき、これにより大気減衰を補償することが可能であるが、雨による吸収や、風によるアンテナの機械振動などを考慮に入れる必要がある。信頼性の高いテラヘルツ帯通信技術の確立を目指して、モデルの構築を目指している。さまざまな気象条件下で 300 GHz リンクの性能を測定するために、IEEE 802.15.3d に基づいた 300 GHz 屋外無線ユニットを開発した。

近年、偏波多重化を用いた直交振幅変調により、100 Gb/s を超える無線伝送が実証されている。しかし、ほとんどの研究成果はオフラインの信号処理や一方向伝送のデモにとどまっている。双方向伝送は、

TCP/IP を介したデータリンクや機能に必要である。我々はこれまでに欧州との共同研究で、ミリ波モデムをベースバンドおよび IF モジュールとして使用することにより、300 GHz 双方向高速伝送を実証してきた。今年度はこれらの研究成果をベースとして、IEEE 802.15.3e モデムを使用して 2 チャンネルの信号を生成する IEEE802.15.3d に準拠した屋外無線ユニットを開発した。300 GHz のパワーアンプとミキサーが IF および THz 回路を介して二つのモデムに接続されている（図 1 参照）。機械的アラインメントを容易にするために可撓性導波管（FWG: Flexible Waveguide）で接続されている。中心周波数が 60.48 GHz と 62.64 GHz の IF 信号は、IEEE 802.15.3d のチャンネル 16 および 17 に対応する 286.20 GHz と 288.36 GHz にアップコンバートされる。各 IEEE 802.15.3e モデムは、送信信号と受信信号を分離するためのパワーディバイダーと 2 つのアイソレーターからなるデュプレクサーに接続されている。二つの IF 信号は、導波管カプラーで一緒に結合される。送信信号は、広帯域ミキサーと低ノイズアンプからなる周波数アップコンバーターを介して 300 GHz 帯にアップコンバートされる。一方、受信された 300 GHz 信号は、周波数ダウンコンバーターを介して IF 帯に変換される。機械的安定性を高めるために送受信共用アンテナとした。送信および受信信号は、カプラーと二つのアイソレーターからなるデュプレクサーを介して分離される（図 2 参照）。挿入損失は 1 dB であり、不要信号抑圧比は 27 dB である。屋外ユニットからの THz 出力電力は約 0 dBm で、アンテナゲインは 40 dBi である。モデム、高周波モジュールなどはマイコンによって遠隔制御され、無線リンク状態が連続して記録される。すべてのコンポーネントは防水ボックスに組み立てられており（図 3 参照）、4 値位相変調(QPSK: Quadrature phase shift keying)で 4 Gb/s のビットレートで安定した無線データ伝送が可能であることが確認されている。THz 信号は技術的に IEEE 802.15.3d に基づいており、変調形式、周波数割り当て、およびパケット構造は IEEE 802.15.3d に準拠している。

西早稲田キャンパス内の屋上に 2 つの屋外無線ユニットを設置し、風速、降水量、温度などの天候パラメータとともに、通信品質の連続測定を実施中である。晴天条件下では、二つのユニット間の距離が約 45 メートルで、安定した通信が可能である。図 4 は、2024 年 2 月 5 日に東京で発生した大雪の下で測定された受信電力(RSSI: Received Signal Strength Indicator)を示している。水平軸は日本標準時を示している。RSSI の変動は、アンテナ上の積雪と滑りによるものであると推測される。類似の現象が E バンド無線伝送で報告されている。

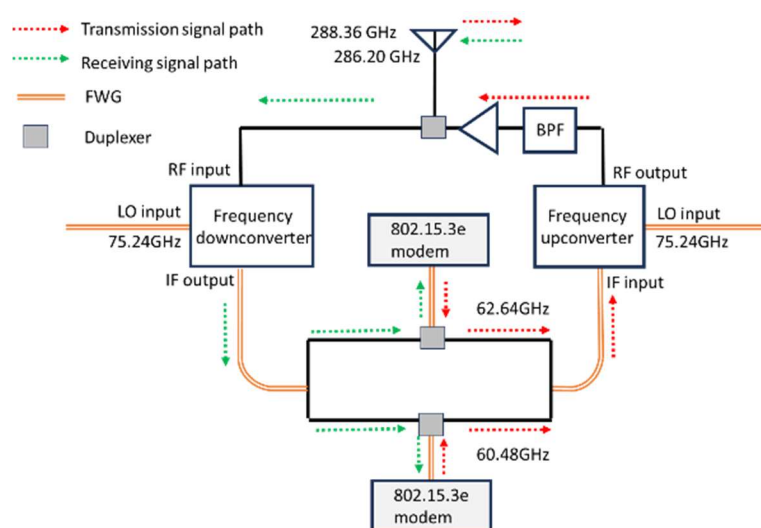


図 1 300GHz 帯送受信器の構成

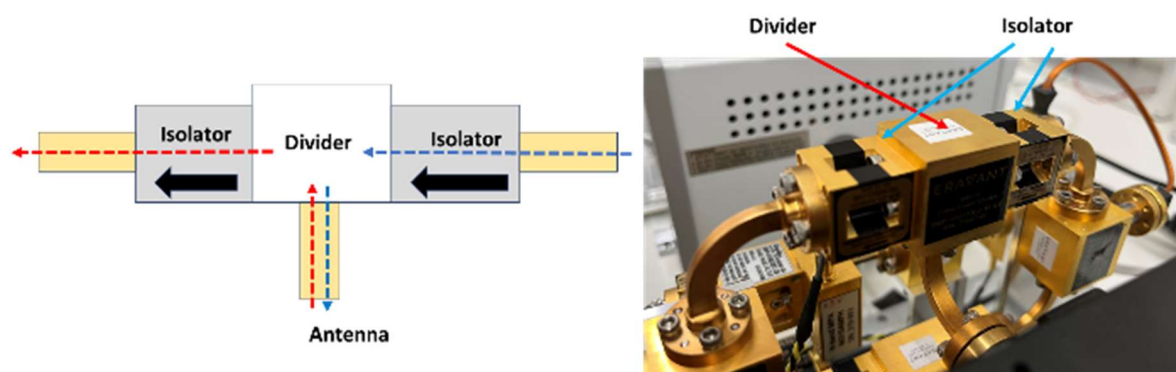


図 2 送受共用アンテナためのデュプレクサー

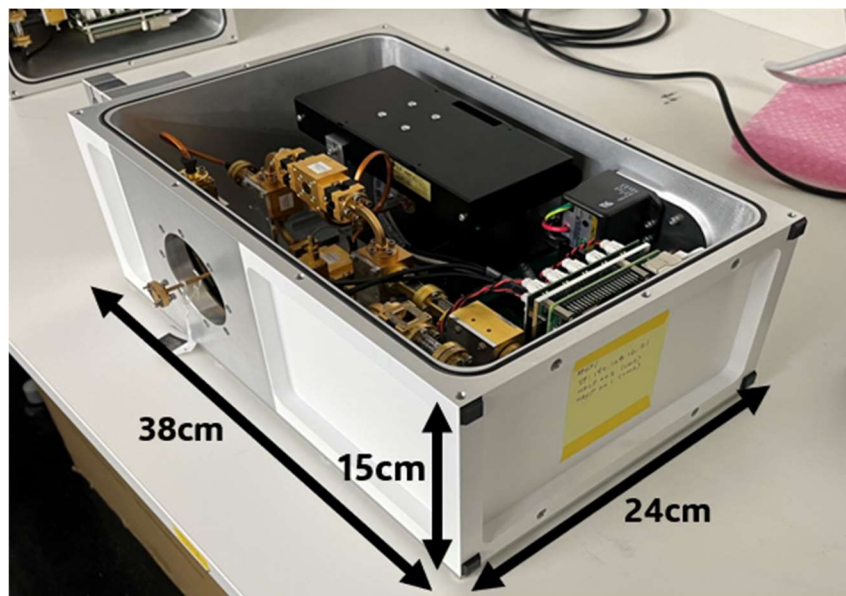


図 3 300GHz 帯屋外ユニット外観

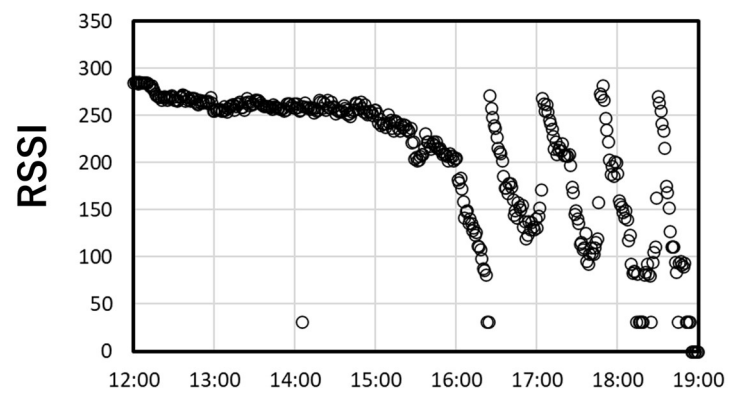


図 4 降雪時に測定した受信電力

3. 共同研究者

理工学術院総合研究所 招聘研究員 稲垣恵三

理工学術院総合研究所 嘱託研究員 実野邦久

4. 研究業績

4.1 学術論文

Y. Yi, T. Umezawa, K. Akahane and T. Kawanishi, "High-Responsivity Unitraveling Carrier-Type Photodetector Using Avalanche InAlAs as a Collector at a High-Frequency Range," IEEE Access, vol. 12, pp. 22813-22820 (2024)

R. Yoshino, Y. Asakura, K. Inagaki and T. Kawanishi, "300GHz Terahertz Wave Scattering Experiment and Simulation from Slightly Rough Surfaces on Dielectrics," IEICE Communications Express, vol. 13, no. 2, pp. 43-47 (2024)

Zu-Kai Weng, Pham Tien Dat, Atsushi Kanno, Kouichi Akahane, and Tetsuya Kawanishi, "Robust Dual-Wavelength DRoF Link by Quasi-2-bit 256-QAM OFDM With Delta-Sigma Modulation," J. Lightwave Technol. vol. 41, pp. 7067-7074 (2023)

Yu Zhou, Zu-Kai Weng, Keizo Inagaki, Tetsuya Kawanishi, FPGA-driven random walk noise generation for tunable laser linewidth control, IEICE Electronics Express, vol. 20, no. 15, p. 20230245 (2023)

A. Bilal et al., "5G-NR Radio- and Power-Over-Fiber System Employing Multicore Fiber for Reconfigurable Metasurface Antenna Beam Steering," Journal of Lightwave Technology, vol. 41, no. 23, pp. 7260-7267 (2023)

Yu Zhou, Chen Zheng, Zu-Kai Weng, Keizo Inagaki, and Tetsuya Kawanishi, "Effects of a variable linewidth laser and variable linewidth shape laser on coherent FMCW LiDAR," Opt. Continuum 2, 1122-1136 (2023)

4.2 総説・著書

特になし

4.3 招待講演

Tetsuya Kawanishi, Seamless networks for rural and remote areas, The International Conference on Ocean Engineering Technology and Informatics 2023

4.4 受賞・表彰

特になし

4.5 学会および社会的活動

特になし

5. 研究活動の課題と展望

来年度以降も、干渉抑圧方式、光による無線波形伝送に関する研究に加えて、様々な環境下での電波伝搬に関する調査も平行して行う予定である。国際標準化への貢献も継続し、研究成果の社会実装を目指す。