

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本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、これらの複数の送受信ユニットが光ファイバネットワークで接続されたシステムの、設計理論、動作原理の詳細の解明などに注力し、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

今年度は、ミリ波帯伝搬特性評価装置の開発を行った。その基本特性を評価するために、30、60、90GHz 帯域の OFDM レーダーを構成し、その距離分解能を測定し、搬送波周波数による性能の違いを比較した。測定を容易にするためにフレキシブルタイプ導波管を用いたが、この導波管を含む実験系の周波数特性の補正機能を実装し、その効果を確認した[1]。

図 1 に実験系を示す。90GHz 帯の場合を例として、各部における信号周波数を示した。任意波形発生器(AWG)を用いて、中心周波数 3.28GHz 帯域幅 2.16GHz の信号を生成し、周波数変換器で中間周波数帯(IF)信号 14.08GHz に変換する。さらに、19.78GHz の局部発振器(LO)信号を 4 通倍したものとミキサーで掛け合わせを 93.20GHz の RF 信号を生成し、それをホーンアンテナで送信した。同様にホーンアンテナで受信された信号は、LO 信号を 4 通倍したものと混合し、IF 信号に変換した後に、さらに周波数変換した後にデジタルオシロスコープで観測した。

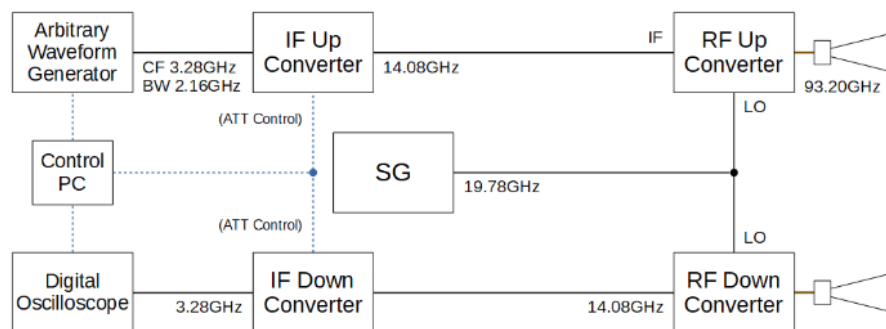


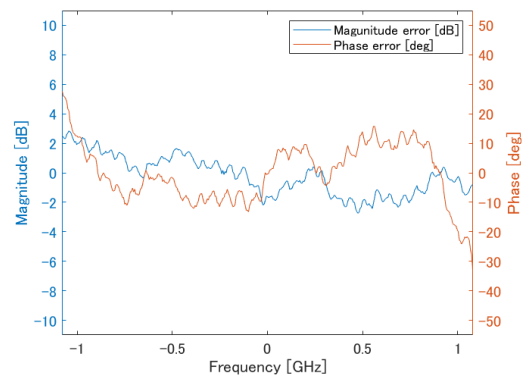
図 1 90GHz 帯 OFDM レーダ実験系

表 1 使用周波数

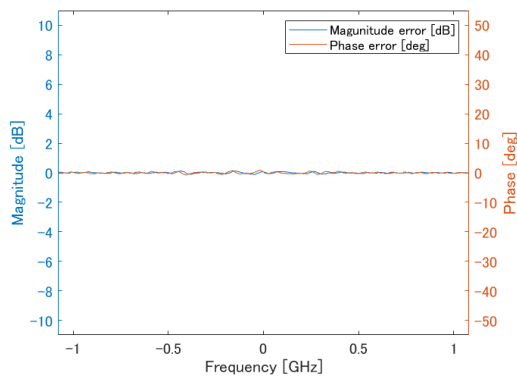
搬送波周波数 [GHz]	AWG 出力 [GHz]	IF [GHz]	LO [GHz]	RF [GHz]
90	3.28	14.08	19.78	93.20
60	3.28	14.08	12.14	62.64
30	7.00	-	24.00	31.00

60、30GHz 帯の測定実験では、表 1 に示した周波数を用いた。AWG の出力信号を直接 RF 信号へアップコンバートしている。

今回の実験で用いた周波数特性の影響を打ち消すための補正方法について述べる[2]。まず、送信アンテナと受信アンテナを 2m 離して対向させ、校正用の OFDM 信号を送信する。オシロスコープで受信した信号と理想信号を比較することで伝送特性である S_{21} パラメータを取得することができる。図 2 (a) S_{21} パラメータの測定例を示す。この伝送特性の逆特性を AWG で生成する送信信号に掛け合わせることで周波数特性の補正が可能である。送信信号補正後に取得した S_{21} パラメータを図 2(b)に示す。振幅のずれは 1dB 以下、位相のずれは 5° 以下に補正されている。図 3 に補正前後における OFDM 信号の遅延プロファイルを示す。

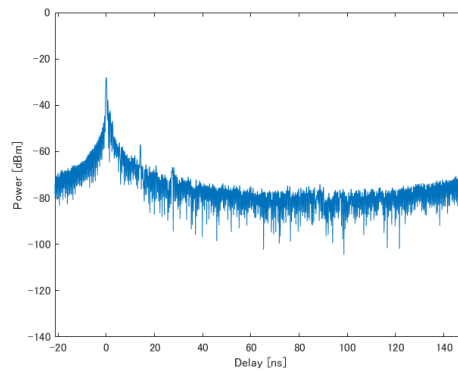


(a)

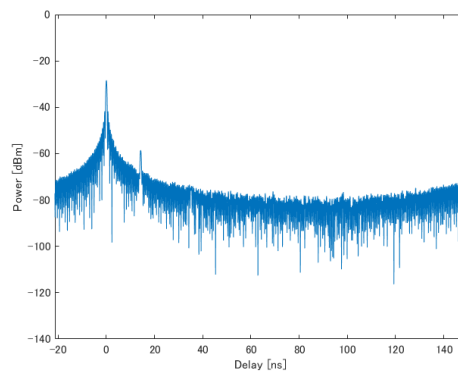


(b)

図 2 (a) 補正前、(b) 補正後の S_{21} パラメータ



(a)

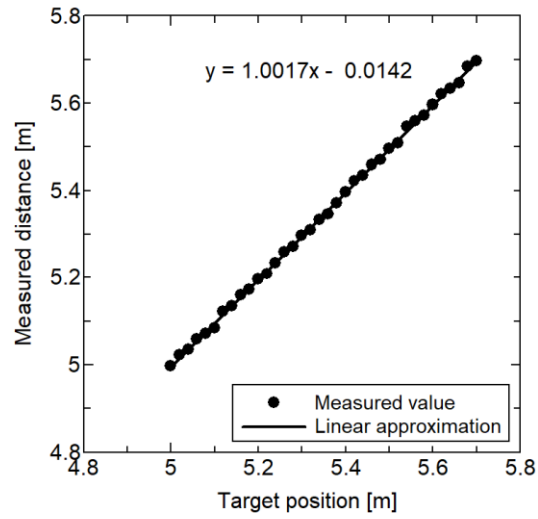


(b)

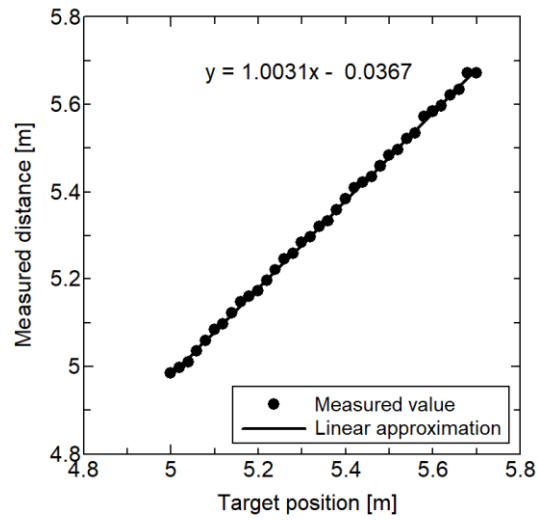
図3 (a) 補正前、(b) 補正後の遅延プロファイル

上記の方法で校正された実験系を用いて、レーダーとしての特性評価を行った。送信アンテナと受信アンテナは平行に近接させ、同じ方向に設置する。ビーム方向に **5m**～**5.7m** 離れた地点にコーナリフレクタを1つ設置し、実際の距離とレーダー測距で得られた距離との関係を測定した。図4に測定結果と最小二乗法による近似直線を示す。測定値と実際の距離との差の標準偏差は 90、60、30GHz 帯のどの帯域でも **1cm** 以下であった。

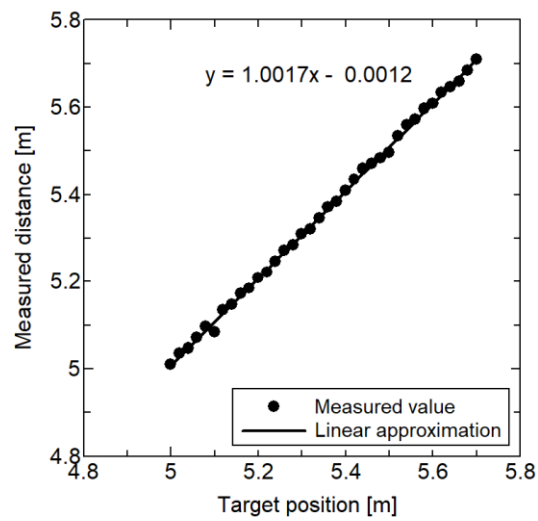
コーナリフレクタを用いて、距離分解能測定を行った。アンテナの開口面から **5m** 離れた点に1つのコーナリフレクタを固定し、もう一方のコーナリフレクタを **5m**～**5.4m** の範囲で移動させ、距離分解能を測定した。図5に各帯域における実際のコーナリフレクタ間隔とレーダー測距で得られた2点間の距離との関係を示す。すべての帯域でコーナリフレクタ間隔が **10cm** に近づくまで2点を分離することができた。分離できた測定点における実距離と測距結果の差の標準偏差は 90、60、30GHz 帯においてそれぞれ **0.44cm**、**1.10cm**、**0.67cm** であった。



(a) 90GHz 帯

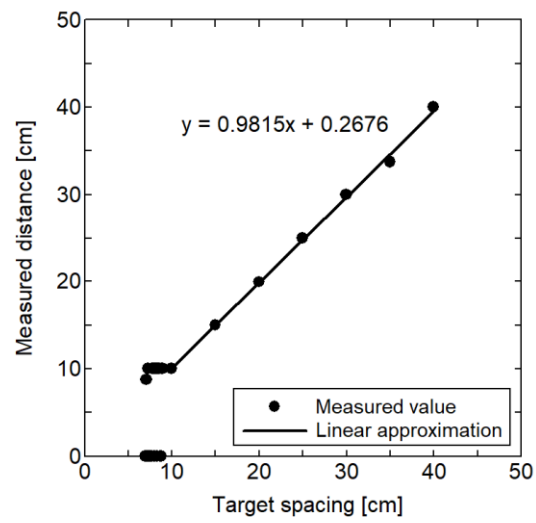


(b) 60GHz 帯

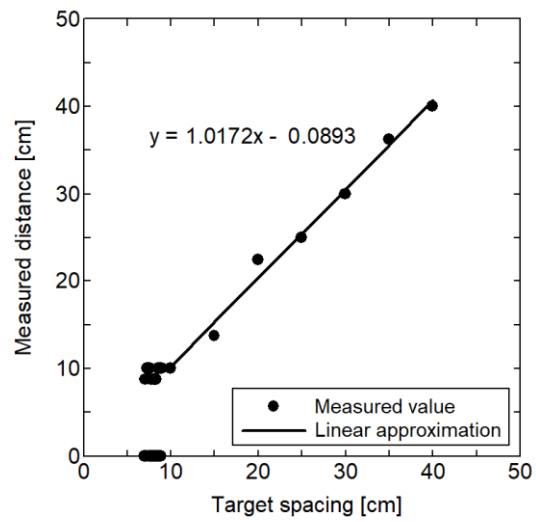


(c) 30GHz 帯

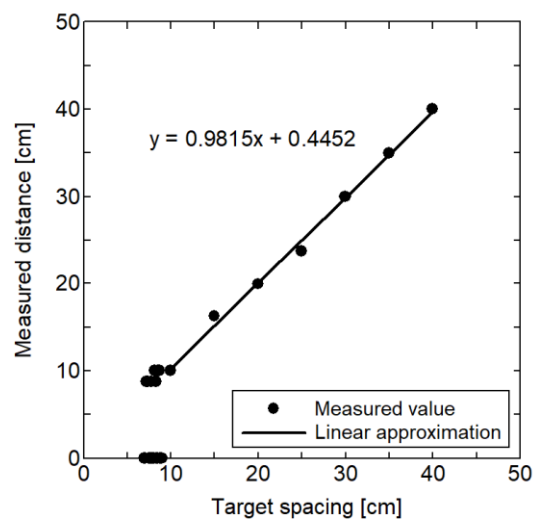
図 4 各周波数帯におけるレーダー測距結果



(a) 90GHz 帯



(b) 60GHz 帯



(c) 30GHz 帯

図 5 各周波数帯における二点間距離分解能

文献

- [1] 金谷 等, 広帯域伝搬特性評価に向けたミリ波帯レーダ特性校正についての一検討, 電子情報通信学会 技術報告 MWP2021-39 (2022 年 1 月 27 日)
- [2] Y. Akita et al., "An investigation of frequency characteristic correction at 60GHz band for millimeter-wave communication devices," GSMM2013, Sendai, Japan, 2013

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

4. 研究業績

4.1 学術論文

Z. -K. Weng et al., "Millimeter-Wave and Terahertz Fixed Wireless Link Budget Evaluation for Extreme Weather Conditions," in IEEE Access, vol. 9, pp. 163476-163491, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3132097.

4.2 総説・著書

T. Kawanishi, Electro-optic Modulation for Photonic Networks: Precise and high-speed control of lightwaves, Springer Nature 2022

4.3 招待講演

Tetsuya Kawanishi, Terahertz communication systems for future access networks, The 14th Regional Conference on Electrical and Electronics Engineering (RC-EEE 2021)

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。