

ミリ波振動可視化レーダーの研究開発 (175003007)

Development of millimeter wave radar

研究代表者

能美 仁 アルウエットテクノロジー株式会社
Hitoshi Nohmi Alouette Technology inc.

研究分担者

坂井滋和 Shigekazu Sakai† 小野沢完 Tamotsu Onozawa†† 九十歩修 Osamu Kujubu††
森山康平 Kouhei Moriyama†† 白井郁夫 Ikuo Shirai††
†早稲田大学 WASEDA University
††アルウエットテクノロジー株式会社 Alouette Technology inc.

研究期間 平成 29 年度～平成 30 年度

概要

Ku バンド (17GHz 帯) のインフラモニタリング用振動可視化レーダー (製品名 VirA) をベースに、さらに高精度で数 10cm～数 10m の距離から数 cm 程度の空間分解能で、観測対象の面的な動揺や振動を観測可能なミリ波帯の振動可視化レーダーの開発を行った。開発は、高純度ミリ波チャープ信号の生成、ミリ波振動可視化レーダーの開発試作、及び可視化ソフトウェアの作成を目標に開発を行った。

1. まえがき

Ku バンド (17GHz 帯) のインフラモニタリング用振動可視化レーダー (製品名 VirA) をベースに、さらに高分解能、高性能化したミリ波振動可視化レーダーを開発した。これにより、革新的な機能性能、計測の効率化が実現でき、インフラ点検だけでなくより広範な社会の安全安心に貢献することが可能となる。従来の VirA では困難であった数 10cm～数 10m の距離から数 cm 程度の空間分解能で、面的な動揺や振動を観測する手段の実現を目標とした。例えば、橋梁の各構造部材の詳細検査、大型工作機械や工場の振動の観測、建物の揺れやたわみの計測、コンクリート製のカルバート上を重量物が通過した場合の振動やたわみ量調査、トンネルや鉱山の掘削現場において切り刃面の崩壊予兆を検知するための面的振動検知等、観測対象の近傍で振動や微小変位を詳細に計測し、把握する手段の提供を目指す。

2. 研究開発内容及び成果

(1) 高純度ミリ波チャープ信号の生成

平成 29 年度に Frac.PLL による方法、DDS と通倍を組み合わせた方法等、各種のチャープ信号生成方式の検討を行った。その結果、OCXO & DDS 方式でチャープ信号を生成し、所要周波数に通倍する方法が位相雑音特性に優れていることが分かった。今回の開発では 5GHz 帯チャープ信号を DDS で生成し 16 通倍してミリ波帯の 79GHz 信号を生成した。図 1-a にミリ波帯 CW 信号を生成した時の位相雑音特性を示す。A から F は海外も含めた論文に発表された位相雑音特性である。既発表のいずれの方式よりも低位相雑音が実現されている。図 1-b にミリ波チャープ信号の位相雑音特性を示す。青は PLL を用いた場合、赤は DDS による位相雑音特性を示す。ミリ波チャープ信号の位相雑音を測定するには、被測定信号を高精度 75GHz ローカル信号で 4GHz に周波数変換し、デジタルオシロスコープでデジタルデータに変換、MATLAB で解析を行った。解析結果は、PLL による場合に比べて 1MHz オフセットで約 20dB 低い -110dBc/Hz を達成することができた。

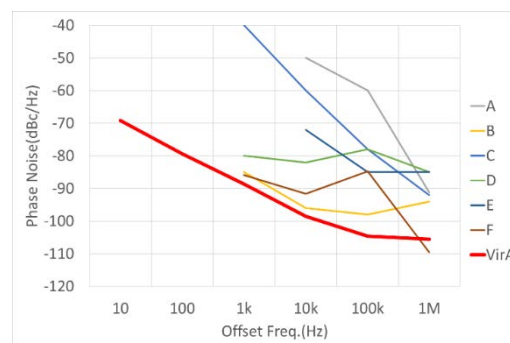


図 1-a ミリ波 CW 信号の位相雑音特性

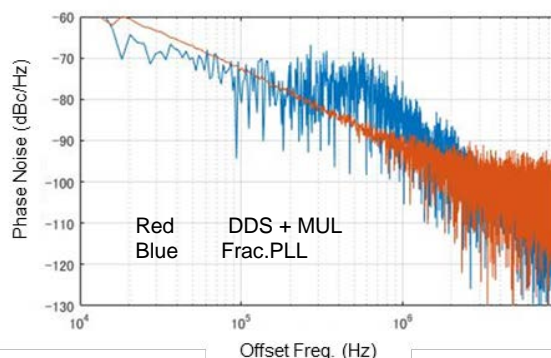


図 1-b: ミリ波チャープ信号の位相雑音特性

(2) ミリ波振動可視化レーダーの開発

ミリ波振動可視化レーダーを構成する下記に示す各ハードウェアの試作・評価を行った。

- (a) 信号生成・分配部
- (b) ミリ波モジュール
- (c) DBF バックエンド部

試作した構成品の写真を、図 2 に示す。送信系は、DDS 方式の信号生成部で生成した 20GHz のチャープ信号をミリ波モジュールで 79GHz に通倍して送信する。また、送信されたミリ波が計測対象から反射した信号を受信して DBF バックエンド部で DBF 処理、及び画像化処理を行う。

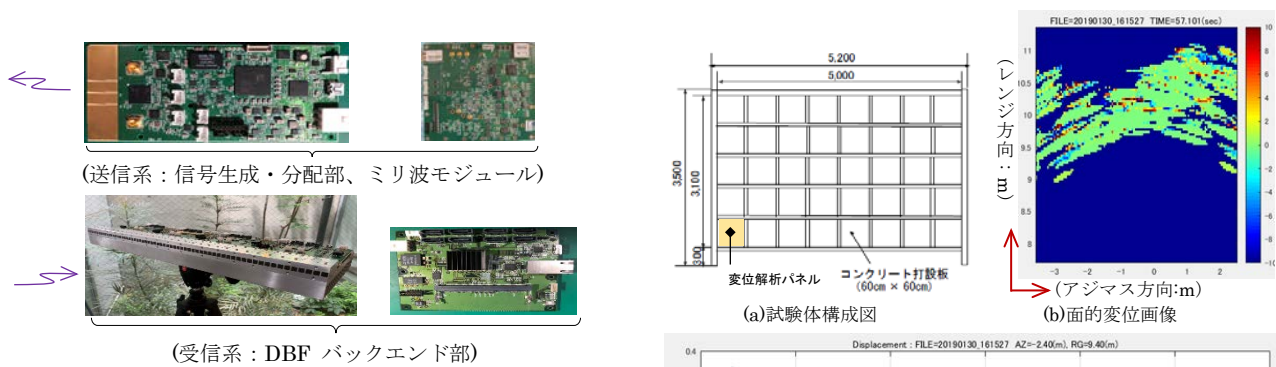


図2 ミリ波振動可視化レーダーの開発構成

(3) 可視化ソフトウェアの開発

フィールドにおけるレーダー計測では、アンテナ位置と計測対象の高精度な位置情報を収集することが困難な場合が多く、こうした場合は2地点からのレーダー計測結果に基づく被測定物の振動の正確な3次元復元が困難である。そこで、このような場合にDNN(深層学習)を利用して大量の計測結果を学習データとして用いることで問題解決が図れるのではないかと考え検討を行った。その結果、DNNの適用が可能なケースがあることが判った。

また、2次元レーダー画像は、水平・奥行きを各軸に持つため、これがレーダ画像の視認性を妨げる大きな要因となっている。そこで、視認性と画像理解の容易さの側面から、計測データの表示方法に関する検討を行い、可視化ソフトウェア開発を行った。開発したソフトウェア画面を図3に示す。左半分が通常の2次元レーダー画像(ビルの振動を計測中の画面)で、画面右半分ではレーダー画像の各ピクセルが3次元CADデータ上に再配置される。こうした表現によって、レーダー画像の各輝点が3次元空間中のどの点に該当するかが直感的に判別可能となる。

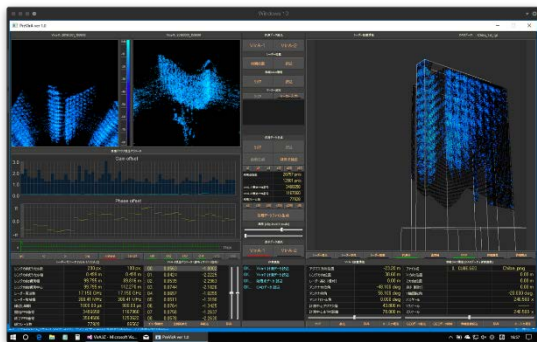


図3 開発ソフトウェアの処理画面例

(4) 総合評価試験

総合評価試験として図4-aに示す約600x600mmのコンクリート板を縦5枚、横8枚で構成したパネル裏面の支柱をかけやで打振してパネルの振動状況を約10m手前から計測した。試験は向かって左→中央→右の順に各3回打振した時の振動を計測した。試験結果の評価は、試験体の振動挙動を面的に変化した画像を、図4-bに示す。また、各打振による左下のパネルの時間経過による変化をプロットした図を、図4-cに示す。図4に示すように各打振に伴う左下パネル振動を明確に捉えており、中央、右側支柱の打振と共に振動の振幅が小さくなっている。なお試験は、試験体の準備、及び試験場所の提供を清水建設(株)に支援して頂き共同評価試験として実施した。

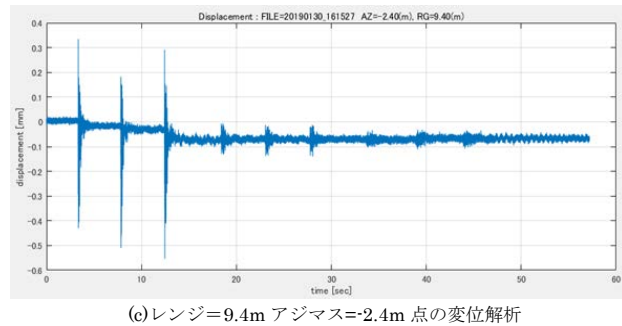


図4 総合評価試験結果

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取組

今後、開発したミリ波振動可視化レーダーをフィールドで試験を実施する計画である。フィールド試験は、橋梁のハンガーワイヤーの分離計測の他、トンネル切羽面の安全管理、及び地震による建設面の揺れ計測などへの展開を想定している。今後、更に各フィールドでの計測評価を行い、ユーザビリティの向上、及び性能向上に向けた改良を実施する予定である。また、本研究成果を基に公共スペースのセキュリティ対策のためのW帯レーダーおよびイメージャに繋げる新技術を確立する予定。また、性能向上を図り高性能イメージャを開発して、安心・安全な社会の構築に資することを旨とする予定である。

4. むすび

平成29年度の部分試作に使用した主要部品が製造中止となり、再度部品選定、設計、試作・評価に時間を要し、十分な評価試験の実施が出来なかった。また、開発ソフトウェアとの整合性の評価も実施する予定である。なお、総合評価支援で得られた計測結果は当初推定性能を十分満足していることから、各フィールドで開発ソフトウェアと組み合わせて計測したいと考える。

【誌上発表リスト】

- [1]能美 仁、“振動可視化レーダ(VirA)によるインフラ等大規模建造物の振動・微小変位計測”、第18回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2017)(宮城県 仙台国際センター)(2017年12月20日)
- [2]能美 仁、“振動可視化レーダ(VirA)”、安心・安全ICT講演会 ICTを活用した新たなセンシング技術(東京都道府県会館)(2018年7月6日)
- [3]能美 仁、“Development of Vibration-Imaging Radar(VirA)”、IEEE Radar Conference 2019 22-26 April 2019 Westin Waterfront Hotel Boston, Massachusetts USA(2019年4月23日)