

## 論文の内容の要旨

氏名：布 施 匡 章

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：スペクトラム解析装置における高ダイナミックレンジ化と 100 GHz 超解析技術に関する研究

ユビキタスネットワーク社会を迎え、モバイルデータトラフィックは増加の一途をたどり、近年では、1.5 倍/年の率で増加し続けている。2020 年代には、2010 年と比較し 1000 倍超のトラフィックとなる可能性があるといわれ、モバイル通信システムのさらなる高速化・大容量化を実現するため、より高い周波数帯の活用が検討されている。モバイル通信以外でも、WPN (Wireless Personal Area Network) や、安全・安心な運転をサポートする自動車レーダ等において、高周波化が進み、100 GHz を超える周波数を無線通信に利用する 100 GHz 超無線システム実現への取組も積極的に行われてきている。

一方、周波数をより有効に利用するため、ITU (International Telecommunication Union) においてスプリアス発射の規定が見直され、従来よりも、厳格な測定を行うことが求められており、RR (Radio Regulation) では、2 次高調波までのスプリアス評価が勧告されている。

このような状況において、電波資源の有効利用を促進するためには、周波数共用を促し、より周波数利用効率の高い新たな無線システムの市場投入が必要となる。

本研究は、スペクトラム解析装置の高性能化により、今後爆発的に増大するモバイルデータトラフィックを支える新たな無線システムの研究開発に貢献するとともに、国内の電波利用環境を適切に維持するための環境整備に寄与し、限りある電波資源の有効利用促進に貢献することを目的としている。

本論文では、スペクトラム解析装置の高性能化に関して、以下の 2 つの研究テーマについて論じる。

第 1 のテーマは、インタリーブ技術によるスペクトラム解析装置の高ダイナミックレンジ化に関する研究である。近年の複雑な無線システムの研究開発に欠かすことのできない FFT (Fast Fourier Transform) 方式のスペクトラム解析装置の構成において、欠かすことの出来ない機能デバイスである AD (Analog to Digital) 変換器と周波数変換器について、インタリーブ技術を用いてダイナミックレンジの改善を計る。

第 2 のテーマは、100 GHz を超える信号のスペクトラム解析技術に関する研究である。近年加速する無線システムの高周波化に向けて、これまで 100 GHz を超える周波数帯の解析において、用いられていなかった基本波ミキシング技術に関して検討を実施し、基本波ミキシング技術を用いた 100 GHz を超える周波数のスペクトラム解析を実現する。

本論文は 7 章から構成されている。以下に本研究の各章における概要について説明する。

「第 1 章 序論」においては、研究の目的、背景について述べた。

「第 2 章 時間インタリーブ方式 AD 変換器のダイナミックレンジの改善」は、FFT 方式のスペクトラム解析装置を構成する AD 変換器 (部) の性能改善に関する研究である。高速な AD 変換器を構成する手法として用いられる時間インタリーブ方式の AD 変換器では、使用する複数の AD 変換器の特性の不整合 (ミスマッチ) により発生するスプリアスによりダイナミックレンジが低下する問題がある。本章ではこの問題を解決する手段として、推定補正方式インタリーブ AD 変換器を提案した。まず提案した推定補正方式インタリーブ AD 変換器の基本原理について記述した。あわせてシミュレーションにより 4 個の AD 変換器により構成される、4CH インタリーブ AD 変換器において提案方式の効果を検証した。その結果、従来方式で発生していたスプリアス成分が、提案手法を適用することで 20dB 以上低減することを確認した。さらに、原理検証装置として 4CH で構成される 200Mps のインタリーブ AD 変換器を構築し検証を行い、シミュレーションの結果と同様に、提案手法を適用することで、発生していたスプリアス成分が、20dB 以上低減することを確認した。このことから、提案する推定補正方式インタリーブ AD 変換器が、スペクトラム解析装置の高ダイナミックレンジ化に有効な手法であることを確認した。

「第 3 章 周波数インタリーブ技術による周波数変換器のダイナミックレンジの改善」は、FFT 方式のスペクトラム解析装置を構成する周波数変換器 (部) の性能改善に関する研究である。一般的に周波数変換器において発生する歪みの大きさは、入力される信号電力に依存する。そのため、FFT 方式スペクトラム解析装置のダイナミックレンジは、使用する周波数変換器の性能で制限されてしまう問題があ

る。本章ではこの問題を解決する手段として、入力信号を複数の周波数帯に分波し、分波後の信号をそれぞれ周波数変換する周波数インタリーブ方式周波数変換器（アレイ化周波数変換器）を提案した。まず、提案した周波数インタリーブ方式周波数変換器の基本原理について記述した。数式により、提案方式においてダイナミックレンジが改善される原理と、そのための動作条件を明らかにした。あわせてシミュレーションにより4CHのアレイ化周波数変換器が正しく動作し、分波し周波数変換した信号が正しく再生されることを検証した。さらに、原理検証装置として、3CHのアレイ化周波数変換器を構築し検証を行い、ダイナミックレンジが5 dB以上改善することを示した。このことから、提案する周波数インタリーブ方式周波数変換器が、スペクトラム解析装置の高ダイナミックレンジ化に有効な手法であることを確認した。

「第4章 高ダイナミックレンジスペクトラム解析装置」は、第3章で提案した周波数インタリーブ方式周波数変換器を用いたスペクトラム解析装置の開発に関する研究である。分波器の帯域よりも狭帯域な信号が入力された場合にダイナミックレンジの改善効果が得られない問題について、本章では、周波数インタリーブ方式周波数変換器の分波後の信号をさらに信号分配し、分配後の信号をそれぞれ周波数変換する方式を新たに提案した。提案方式を用いた高ダイナミックレンジスペクトラム解析装置を構築し検証を行った。結果、既存FFT方式スペクトラム解析装置と比較し、50 MHz以上広帯域で、かつ10 dB以上高いダイナミックレンジで測定が行えることを実証した。さらに、構築した装置によるスプリアス測定を行い、掃引式スペクトラムアナライザと同等の性能で、FFT方式スペクトラム解析装置が実現できることを確認した。

「第5章 100 GHz超基本波ミキシングによる高ダイナミックレンジ測定」は、100 GHzを超える周波数帯における基本波ミキシングによる周波数解析技術に関する研究である。60 GHzを超える周波数帯のスペクトラム解析では、高調波ミキサを使用した測定が一般的となっている。この場合、本来の信号成分に加え、高調波ミキサで発生するマルチプルレスポンスも同時に観測されるため、本来の信号成分を正しく観測することが出来ない問題がある。本章では、従来の高調波ミキサを使用した測定に比べ、不要な信号成分が少なく、かつダイナミックレンジが大きい測定を実現できる100 GHz超基本波ミキシング評価装置を構築し検証を行い、高調波ミキサを使用した従来方式の測定に比べ、20dB以上ダイナミックレンジが広くかつ、マルチプルレスポンスを大幅に抑制した測定が可能となることを実証し、100GHzを超える周波数帯のスペクトラム解析において、基本波ミキシングがスペクトラム解析装置の高ダイナミックレンジ化に有効な手法であることを確認した。

「第6章 100 GHz超プリセクタ搭載スペクトラムアナライザ」では、新構造のプリセクタを汎用スペクトラムアナライザと組み合わせ、プリセクタの帯域幅を考慮した制御をすることで、世界発のプリセクタを搭載した100 GHzを超えるミリ波帯スペクトラムアナライザを開発した。さらに、開発したスペクトラムアナライザの評価を実施し、従来手法による測定に対して、ダイナミックレンジが20 dB以上改善していることを実証した。また、変調帯域10 GHzを超える広帯域変調信号の測定を行い、従来手法による測定に対し、イメージ信号成分や、スプリアス信号成分のない測定が実現できることを実証し、本スペクトラムアナライザの有効性を示した。

「第7章 結論」においては、研究の成果を総括し、今後に残された課題について述べた。

本研究の成果は、スペクトラム解析装置のみならず、その他の無線通信装置の測定技術に広く応用が可能で、工学的に有用な成果である。