

学位論文題名

モバイル通信における統計的手法に基づく干渉ノイズ影響 評価法の研究

学位論文内容の要旨

統計的手法は、変復調方法などのモバイル通信の基本特性を解析し、周波数配置や多重化方法などのシステム設計を最適化する最も有効な方法の一つに位置づけられる。特にガウス分布にモデル化できる熱雑音による伝送特性評価、他システムからの干渉ノイズを考慮したシステム容量設計などの分野では統計的処理が従来必須であり、さらに非線形素子に起因する各種のひずみ成分などのノイズによる伝送特性評価、電磁界両立性における電磁干渉影響の定量的評価などの分野では近年その重要性が増している。一方、モバイル通信の進展に伴い、同一地域で複数のシステムが提供される状況において、複数のシステムと機器間の干渉ノイズ影響を効率よく評価する必要があり、個々のシステムに依存することなく干渉ノイズ影響を統計的に評価する方法が必要になる。本研究の目的は、モバイル通信における統計的手法を適用した干渉ノイズ影響評価法を確立することにある。具体的には、干渉ノイズ影響を考慮した無線回路設計法および電磁干渉評価法を確立することにある。

第1章では、序論を述べた。

第2章では、統計的手法を用いたシステムと無線回路に係わるパラメータ決定法を提案し、事業者間ガードバンドを考慮した電力増幅器など無線回路の所要特性を明らかにした。電力増幅器で発生する相互変調ひずみ成分を 66dB 以上抑圧できれば、ガードバンドが不要となることを示した。また、相互変調ひずみ成分による伝送特性への影響を評価するために、相互変調ひずみ成分の統計的性質がガウス分布と異なることを明らかにした。さらに、相互変調ひずみ成分を考慮した伝送特性評価法を提案し、計算機シミュレーションによりその妥当性を示した。これらにより、同一地域で複数システムが混在する環境における干渉ノイズ影響評価法を提案するとともに、無線回路設計の考え方を示した。これに基づき、電力増幅器構成法(第3章から第5章)、受信増幅器構成法(第6章)、電磁干渉影響評価法(第7章)に研究成果を応用した。

第3章では、広帯域電力増幅器の線形化と高効率化を同時に達成することを目的とし、動作帯域幅を制限した包絡線追従技術を提案した。従来の包絡線追従技術は送信波の数倍の動作帯域幅を必要としたが、統計解析により動作帯域幅を送信波の 1/2 に制限しても帯域外ひずみ成分に影響を与えないことを明らかにした。従来、包絡線追従制御法において動作帯域幅の広帯域化に課題があったが、提案法は IMT(International Mobile Telecommunications)-Advanced 方式などの広帯域変調波を用いる電力増幅器に応用できることを示した。

第4章では、基地局用電力増幅器として広帯域高効率フィードフォワード増幅器構成を提案した。フィードフォワード増幅器の主増幅器にドハティ増幅器とハーモニックリアクション形増幅器を適用することで研究レベルにて世界最高水準の動作効率 20 パーセントを達成するとともに

に、ひずみ補償帯域幅について理論解析と実験により 5MHz 帯域幅の LTE(Long Term Evolution) 方式 1 波、隣接チャネル漏洩電力比-45dBc にて、最大ひずみ補償帯域幅 160MHz を達成できることを明らかにした。また、IMT-Advanced 方式で検討されているキャリアアグリゲーションに対応できる 1.7GHz/2.1GHz デュアルバンドフィードフォワード増幅器構成を提案するとともに、1.7GHz/2.1GHz にて同時にひずみ補償が可能であることを理論解析と 20W 級実験回路により実証した。今日、ドハティ増幅器は基地局用電力増幅器に適用されているが、研究成果は世界にさきがけてその有効性を示した。また、フィードフォワード増幅器がキャリアアグリゲーションに対応できることから、フィードフォワード増幅器は IMT-Advanced 方式での基地局用広帯域電力増幅器として適用可能であることを示した。

第 5 章では、基地局用電力増幅器の線形化技術としてフィードフォワードに比べ簡素な構成であるプリディストータに着目し、ひずみ補償の広帯域化を可能にする構成を提案した。従来のプリディストータでは相互変調ひずみ成分の周波依存性のためひずみ補償の広帯域化に課題があったが、提案構成は相互変調ひずみ成分の周波数依存性を補償するフィルタをひずみ発生経路に設けることで、ひずみ補償の広帯域化を可能にした。実験により、周波数依存性をもつ 3 次および 5 次相互変調ひずみ成分を測定限界まで抑圧できることを示した。これにより、提案構成にて広帯域ひずみ補償が可能であることを示した。

第 6 章では、高感度化と高選択度化を可能にする基地局用極低温受信フロントエンドの受信増幅器に関して、窒化ガリウム高電子移動度トランジスタ (Gallium Nitride High Electron Mobility Transistor: GaN HEMT) を用いた受信増幅器構成を提案するとともに、2GHz 帯実験回路にてその特性を評価した。60K にまで冷却することで、最大電力付加効率を 5 パーセント改善し、3 次相互変調ひずみ成分を 4dB 抑圧した。さらに、極低温冷却時の静特性での動作安定化技術を提案するとともに、2GHz 帯実験回路によりその有効性を実証した。GaN HEMT のバンドギャップに相当するエネルギーをもつ青色光を GaN HEMT に注入することで、極低温冷却時の静特性安定化を可能にし、最大電力付加効率を 10 パーセント改善した。研究成果は極低温受信フロントエンド用受信増幅器の低消費電力化に有効であることを明らかにした。

第 7 章では、携帯電話電波による植込み型心臓ペースメーカーへの電磁干渉について、統計的手法を応用した電磁干渉影響評価法を提案した。900MHz 帯および 1.5GHz 帯 PDC(Personal Digital Cellular) 方式携帯電話機と植込み型心臓ペースメーカーを用いた電磁干渉実験結果から、携帯電話電波により植込み型心臓ペースメーカー動作に影響を及ぼす干渉距離の分布がレイリー分布に近似できることをカイ二乗検定で明らかにした。さらに、電磁干渉のリスクを定量的に評価するために、干渉距離における植込み型心臓ペースメーカー動作に影響が発生する確率を定義した。900MHz 帯と 1.5GHz 帯にて干渉距離 15cm での確率を 5.0×10^{-4} と 6.0×10^{-4} と求めた。さらに、干渉距離分布がレイリー分布に近似できる理由を植込み型心臓ペースメーカーのコネクタ部における高周波誘起電圧の数値解析により明らかにした。

第 8 章は結論であり、本研究で得られた成果を概括している。

学位論文審査の要旨

主査	教授	野島俊雄
副査	教授	宮永喜一
副査	教授	小柴正則
副査	教授	小川恭孝
副査	准教授	山本学

学位論文題名

モバイル通信における統計的手法に基づく干渉ノイズ影響 評価法の研究

本研究の目的は、モバイル通信における統計的手法を適用した干渉ノイズ影響評価法を確立することにある。統計的手法は、変復調方法などのモバイル通信の基本特性を解析し、周波数配置や多重化方法などのシステム設計を最適化する最も有効な方法の一つに位置づけられる。特にガウス分布にモデル化できる熱雑音による伝送特性評価、他システムからの干渉ノイズを考慮したシステム容量設計などの分野では統計的处理が従来必須であり、さらに非線形素子に起因する各種のひずみ成分などのノイズによる伝送特性評価、電磁界両立性における電磁干渉影響の定量的評価などの分野では近年その重要性が増している。一方、モバイル通信の進展に伴い、同一地域で複数のシステムが提供される状況において、複数のシステムと機器間の干渉ノイズ影響を効率よく評価する必要がある。個々のシステムに依存することなく干渉ノイズ影響を統計的に評価する方法が必要とされている。

第1章では、序論を述べている。

第2章では、統計的手法を用いたシステムと無線回路に係わるパラメータ決定法を提案し、事業者間ガードバンドを考慮した電力増幅器など無線回路の所要特性を明らかにしている。電力増幅器で発生する相互変調ひずみ成分を 66dB 以上抑圧できれば、ガードバンドが不要となることを示し、ひずみ成分の統計的性質がガウス分布と異なることを明らかにしている。さらに、相互変調ひずみ成分を考慮した伝送特性評価法を提案し、計算機シミュレーションによりその妥当性を示している。

第3章では、広帯域電力増幅器の線形化と高効率化を同時に達成することを目的とし、動作帯域幅を制限した包絡線追従技術を提案している。従来の包絡線追従技術は送信波の数倍の動作帯域幅を必要としたが、統計解析により動作帯域幅を送信波の 1/2 に制限しても帯域外ひずみ成分に影響を与えないことを明らかにしている。

第4章では、基地局用電力増幅器として広帯域高効率フィードフォワード増幅器構成を提案している。フィードフォワード増幅器の主増幅器にドハティ増幅器とハーモニックリアクション形増幅器を適用することで動作効率 20 パーセントを達成するとともに、5MHz 帯域幅の LTE(Long Term Evolution) 方式 1 波、隣接チャネル漏洩電力比-45dBc にて、最大ひずみ補償帯域幅 160MHz を達成できることを明らかにしている。また、IMT-Advanced 方式で検討されているキャリアアグリゲーションに対応できる 1.7GHz/2.1GHz デュアルバンドフィードフォワード増幅器構成を提案して

いる。

第5章では、基地局用電力増幅器の線形化技術としてプリディストータに着目し、ひずみ補償の広帯域化を可能にする構成を提案している。従来のプリディストータでは相互変調ひずみ成分の周波依存性のためひずみ補償の広帯域化に課題があったが、提案構成は相互変調ひずみ成分の周波数依存性を補償するフィルタをひずみ発生経路に設けることで広帯域化を可能にしている。これらにより、提案構成にて広帯域ひずみ補償が可能であることを示している。

第6章では、高感度化と高選択度化を可能にする基地局用極低温受信フロントエンドの受信増幅器に関し、窒化ガリウム高電子移動度トランジスタ (GaN HEMT) を用いた受信増幅器構成を提案するとともに、2GHz 帯実験回路にてその特性を評価している。さらに、極低温冷却時の静特性での動作安定化技術を提案するとともに、実験によりその有効性を実証している。また、GaN HEMT のバンドギャップに相当するエネルギーをもつ青色光を GaN HEMT に注入することで、極低温冷却時の静特性安定化を可能にし、最大電力付加効率を 10 パーセント改善している。研究成果は極低温受信フロントエンド用受信増幅器の低消費電力化に有効であることを明らかにしている。

第7章では、携帯電話電波による植込み型心臓ペースメーカへの電磁干渉について、統計的手法を応用した電磁干渉影響評価法を提案している。900MHz 帯および 1.5GHz 帯 PDC(Personal Digital Cellular) 方式携帯電話機と植込み型心臓ペースメーカを用いた電磁干渉実験結果から、携帯電話電波により植込み型心臓ペースメーカ動作に影響を及ぼす干渉距離の分布がレイリー分布に近似できることをカイ二乗検定で明らかにし、電磁干渉のリスクを定量的に評価するため、干渉距離における植込み型心臓ペースメーカ動作に影響が発生する確率を定義している。900MHz 帯と 1.5GHz 帯にて干渉距離 15cm での確率を 5.0×10^{-4} と 6.0×10^{-4} と求め、干渉距離分布がレイリー分布に近似できる理由を植込み型心臓ペースメーカのコネクタ部における高周波誘起電圧の数値解析により明らかにしている。

第8章は結論であり、本研究で得られた成果を概括している。

これを要するに、著者は、モバイル通信における無線回路設計法と電磁干渉のリスク評価法に関して有益な新知見を得たものであり、情報通信技術の発展に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。