

氏名	まえかわ ともや 前川 智哉
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	富理工博甲第116号
学位授与年月日	平成29年3月23日
専攻名	数理・ヒューマンシステム科学専攻
学位授与の要件	富山大学学位規則第3条第3項該当
学位論文題目	無線機器におけるイントラ EMC 評価法に関する研究
論文審査委員 (主査)	大路 貴久 中島 一樹 小川 晃一 前澤 宏一

学位論文の要旨

学位論文題目

無線機器におけるイントラ EMC 評価法に関する研究

数理・ヒューマンシステム科学専攻

氏名 前川 智哉

総務省の 2016 年 3 月末の資料によると、携帯電話の契約数は 1 億 5468 万件と報告され、1 人 1 台以上の普及率となっている。一方で、デジタル無線機器の高機能化、高性能化に伴い、機器内で発生した微弱なノイズの影響により受信感度が劣化する問題が増加の一途をたどっている。本問題は、「イントラ EMC 問題」と呼ばれ、通信品質担保へ向けて、機器開発の設計難易度が大幅に高くなっている。しかしながら、現状の開発では試行錯誤的な方法による事後的なノイズ対策が中心となるため、開発期間が長期化し、対策コストの増加が企業にとって深刻な課題となっている。

このような背景を踏まえ、本論文では、イントラ EMC 問題を解決するための設計手法を提案するものであり、携帯電話を模擬した評価モデルを用いて提案手法の妥当性を検証し、有効性を示す実証結果を報告するものである。

第 1 章「序論」では研究の背景として、デジタル無線機器の高機能化・小型化を実現するために発生する課題について述べ、本研究の位置づけと目的、本研究の全体の構成を示した。

第 2 章「アンテナとノイズ源の磁界分布相関を用いたノイズ源最適配置法」では、ノイズ源を放射ノイズの発生源であるアンテナとみなすことで無線通信アンテナとの 2 つのアンテナの電磁結合問題と考えた。2 つのアンテナ間の結合特性と近傍磁界分布の重なりに関係に着目し、アンテナとノイズ源の近傍磁界分布から計算した相関係数により、ノイズ源の最適配置場所を推定する設計手法を提案し、本手法の妥当性について携帯電話を模擬した評価モデルを用いて検証し、有効性を実証した。

第 3 章「ノイズ源偏波を考慮した重み付け磁界相関を用いた評価法」では、ノイズ源の偏波が変化した場合にも適用できる設計手法として、各成分のノイズ量をノイズ電力の総量で割った係数によって重み付けすることにより、磁界成分の中で支配的な偏波成分（主要影響因子）の影響を考慮した重み付け磁界相関を提案し、アンテナとノイズ源の偏波が異なる場合であっても、ノイズ源の最適配置場所が推定できることを示した。

第 4 章「ビット誤り率評価に基づく通信性能評価法」では、前章までで述べ

た重み付け磁界相関が相対的な評価指標である課題を克服するために、アンテナとノイズ源の重み付け磁界積を用いてアンテナ干渉電力の定量化を行い、通信性能指標であるビット誤り率を用いて、ノイズ源の最適配置場所を推定する設計手法を提案した。更に、携帯電話を模擬した評価モデルでの検証から所定のビット誤り率に必要な C/N 比を計算することにより、ノイズ源の最適配置場所の推定が可能であることを示した。

第5章「減結合技術による内部干渉ノイズ低減法」では、イントラ EMC 問題に対して MIMO アンテナの結合除去方法として研究されている平行近接した 2 素子のモノポールアンテナ間に集中定数素子を接続することによって電磁結合を低減する方法を応用した。イントラ EMC への応用に対して、近接素子間の減結合を取り扱う MIMO アンテナとは異なり、アンテナとノイズ源の空間距離が大きいいため、イントラ EMC に適した減結合回路を提案し、その設計手法を定式化した。減結合回路の最適化により、アンテナとノイズ源の電磁結合を低減することができることを示した。

第6章「結論」では、本研究のまとめを述べた。

第7章「今後の研究」では、本研究の課題と今後の技術的な展望を述べた。

これらの研究によって、デジタル無線機器内で発生するイントラ EMC 問題に関して、ノイズ源の最適配置場所を推定する設計手法、及び機器内部での干渉ノイズを低減する設計手法を構築することにより、スマートフォンを代表とするデジタル無線機器開発の高効率化を図り、通信品質の優れた機器の開発に大きく貢献するものと考えられる。

【審査の結果の要旨】

当学位論文審査委員会は申請論文「無線機器におけるイントラ EMC 評価法に関する研究」を詳細に査読し、また、平成 29 年 2 月 10 日に学位論文公聴会を開催し、その発表及び質疑応答を含めた審査を行った。以下に審査結果の要旨を記す。

総務省の 2016 年 3 月末の資料によると、携帯電話の契約数は 1 億 5468 万件と報告され、1 人 1 台以上の普及率となっている。一方で、デジタル無線機器の高機能化、高性能化に伴い、機器内で発生した微弱なノイズの影響により受信感度が劣化する問題が増加の一途をたどっている。本問題は、「イントラ EMC (Electromagnetic Compatibility) 問題」と呼ばれ、通信品質担保へ向けて、機器開発の設計難易度が大幅に高くなっている。しかしながら、現状の開発では試行錯誤的な方法による事後的なノイズ対策が中心となるため、開発期間が長期化し、対策コストの増加が企業にとって深刻な課題となっている。

このような背景を踏まえ、本論文では、イントラ EMC 問題を解決するための設計手法を提案するものであり、携帯電話を模擬した評価モデルを用いて提案手法の妥当性を検証し、有効性を示す実証結果を報告するものである。

第 1 章「序論」では研究の背景として、デジタル無線機器の高機能化・高性能化を実現するために発生する課題について述べ、本研究の位置づけと目的、本研究の全体の構成が示されている。

第 2 章「アンテナとノイズ源の磁界分布相関を用いたノイズ源最適配置法」では、ノイズ源を放射ノイズの発生源であるアンテナとみなすことで無線通信アンテナとの 2 つのアンテナの電磁結合問題と考え、2 つのアンテナ間の結合特性と近傍磁界分布の重なり関係に着目し、アンテナとノイズ源の近傍磁界分布から計算した相関係数により、ノイズ源の最適配置場所を推定する設計手法を提案している。本手法の妥当性について携帯電話を模擬した評価モデルを用いて検証し、有効性が実証されている。

第 3 章「ノイズ源偏波を考慮した重み付け磁界相関を用いた評価法」では、ノイズ源の偏波が変化した場合にも適用できる設計手法として、各成分のノイズ量をノイズ電力の総量で割った係数によって重み付けすることにより、磁界成分の中で支配的な偏波成分（主要影響因子）の影響を考慮した重み付け磁界相関を提案している。アンテナとノイズ源の偏波が異なる場合であっても、ノイズ源の最適配置場所が推定できることが示されている。

第 4 章「ビット誤り率評価に基づく通信性能評価法」では、前章までで述べた重み付け磁界相関が相対的な評価指標である課題を克服するために、アンテナとノイズ源の重み付け磁界積を用いてアンテナ干渉電力の定量化を行い、通信性能指標であるビット誤り率を用いて、ノイズ源の最適配置場所を推定する設計手法を提案している。携帯電話を模擬した評価モデルでの検証から所定のビット誤り率に必要な C/N 比 (Carrier to Noise Ratio) を計算することにより、ノイズ源の最適配置場所の推定が可能であることが示されている。

第 5 章「減結合技術による内部干渉ノイズ低減法」では、イントラ EMC 問題に対して MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) アンテナの結合除去方法として研究されている

平行近接した 2 素子のモノポールアンテナ間に集中定数素子を接続することによって電磁結合を低減する方法の応用について検討している。近接素子間の減結合を取り扱う MIMO アンテナとは異なり、アンテナとノイズ源の空間距離が大きいイントラ EMC に適した減結合回路を提案し、その設計手法が定式化されている。減結合回路の最適化により、アンテナとノイズ源の電磁結合を低減することができることが示されている。

第 6 章「結論」では本研究のまとめと今後の技術的な展望が述べられている。

以上、本論文は、無線機器内イントラ EMC 問題に関して、アンテナとノイズ源の磁界分布から算出した重み付け磁界積を用いたビット誤り率に基づき、ノイズ源の最適配置場所を推定する設計手法、及びアンテナとノイズ源の電磁結合を低減する設計手法を提案するものであり、イントラ EMC 問題を解決に導く道筋が記されている。これにより、デジタル無線機器におけるイントラ EMC 問題に関する研究開発に大きく貢献できるものと考えられる。これらの結果より、本審査委員会は、博士（工学）の学位を授与するに十分な内容をもつものと認めた。

【審査の結果の要旨】（抜粋）

当学位論文審査委員会は申請論文「無線機器におけるイントラ EMC 評価法に関する研究」を詳細に査読し、また、平成 29 年 2 月 10 日に学位論文公聴会を開催し、その発表及び質疑応答を含めた審査を行った。

本論文では、イントラ EMC 問題を解決するための設計手法を提案するものであり、携帯電話を模擬した評価モデルを用いて提案手法の妥当性を検証し、有効性を示す実証結果を報告するものである。

無線機器内イントラ EMC 問題に関して、アンテナとノイズ源の磁界分布から算出した重み付け磁界積を用いたビット誤り率に基づき、ノイズ源の最適配置場所を推定する設計手法、及びアンテナとノイズ源の電磁結合を低減する設計手法を提案するものであり、イントラ EMC 問題を解決に導く道筋が記されている。これらの成果は、デジタル無線機器におけるイントラ EMC 問題に関する研究開発に大きく貢献できるものと考えられる。以上の結果、本審査委員会は、博士（工学）の学位を授与するに十分な内容を有するものと認めた。