

学 位 論 文 題 名

ワイヤレス構内通信における
周波数有効利用に関する研究

学位論文内容の要旨

近い将来、屋内から構内・ホットスポットをカバーする高速無線アクセスシステムがセルラーシステムとの親和性を高め、相互に補完する形で機能的に融合していく新世代移動通信の時代を迎えると予想される。ワイヤレス構内通信は、建屋内など比較的狭いサービスエリアを対象としたことから、ネットワークをより簡易に構成できる、高速変動のない電波伝搬路となるなど、セルラーシステムにない特長を持ったシステムであり、IMT-2000 登場以前から将来方式に発展する可能性を持った候補の一つに位置付けられている。しかしその反面、有線システムと同等のレベルの高い通信速度が求められる、屋内・構内での平均 10mW 程度の低送信電力を前提とする電波伝搬環境を考慮したシステム制御とシステム設計が必要となるなど、新たな技術課題も存在する。ワイヤレス構内通信の研究開発において、これらの特徴的な条件を総合的に考慮し、基本特性としての周波数有効利用を達成することが重要である。本研究は、こうしたワイヤレス構内通信における周波数有効利用に関して、1. ワイヤレス構内通信を実現する基本的なシステム構成法を具体的に提案すること、2. 自律分散制御下でのハンドオーバを可能とする制御方式を確立すること、3. 1bit/Hz 以上の周波数利用効率を達成するデジタル信号伝送方式を実現する変復調技術を確立し、GFSK などのデジタル FM の実用性を明らかにすること、4. 屋内など閉空間における電磁界分布に関する数値解析手法を確立し、人体吸収効果を始めとするレベル変動要因を定量的に取り扱う無線回線設計法の確立に向けた基礎検討を行うこと、を目的として取り組んだものである。その成果における主要な点は、自律分散制御の下で制御完了率の高いハンドオーバを実現する新しい信号アーキテクチャ (THREP) を考案し、その効果を理論的に実証したこと、狭帯域デジタル伝送に適したマルチレベル識別判定法を考案し、実験、理論によってその特性解析を行い、大きな特性改善が見込めることを明らかにしたこと、及び屋内など閉空間における電磁界分布を高精度で推定する数値解析法を確立し、無線回線設計法に応用可能な実際の統計手法を見出したことである。また、本研究の成果は DECT や PHS というコードレス電話から発展したマイクロセル型ワイヤレス通信の発展に大きく貢献し、特に PHS を基本とするワイヤレス PBX システムの実用化において多くの検討結果が実際の技術仕様に反映されている。また、今後発展が望まれる IP ネットワークを基本とした無線 LAN や WiMAX などを検討する場合においても、本研究成果は一般性を失うことはなく、その発展を支える基盤技術であり続けるものと期待される。

第 1 章においては、本研究を取り巻く背景と本研究の位置及び意義について詳述する。

第 2 章ではワイヤレス構内通信の具体化としてワイヤレス PBX の実用化を目的に検討したシステム構成法に関する研究成果をまとめる。その中で無線アクセス制御、無線伝送に関する実装結果

について詳述し、新しく提案する信号アーキテクチャの効果によって、専用の無線制御装置を設けることなくハンドオーバーを実現し、PBX の豊富な付加サービスの実装を可能とするシステムの実用化が達成されたことを示す。特に、TDMA と FDMA を融合させたマルチキャリアスイッチング TDMA について検討し、自律分散制御によるワイヤレス構内通信システムの構成法を確立し、実際の商用装置を用いた特性の検証から構成法の有効性を示す。

第 3 章では、無線アクセス制御に関して第 2 章の実用化システムに採用した新しい信号アーキテクチャである THREP (THREe phase link set-up Process) について、その特性を理論的に示す。オフィス想定した高トラヒックエリアでこの提案方式が、アーラン B 式に基づく理想的チャネル利用効率を達成し、トラヒック集中による制御完了率劣化の少ない特性を有していることをチャネル利用効率とハンドオーバー制御完了率の比較検討から明らかにした。また、実際の商用システムにおける実験からその有効性を示した。

第 4 章、第 5 章では、無線伝送に関して GMSK や GFSK に対して非同期検波を用いた場合の誤り率特性を大きく改善する識別判定法を提案し、その特性を実験的、理論的に解析した。第 4 章では GMSK 遅延検波の特性が考案した識別判定法と誤り訂正法によって誤り率静特性で 10dB 程度と大幅に改善されることを実験によって明らかにした。また、第 5 章の周波数検波を用いたデジタル FM 伝送特性の検討においては、第 4 章で考案した 2 値識別判定法を多閾値識別判定法に拡張し、狭帯域デジタル FM に適用した際の詳細な伝送路パラメータについて、理論解析を基に行った検討結果を示す。その結果、従来の復調方式に比べ誤り率静特性で 10dB 以上の改善効果を達成している。さらに送信スペクトル特性と隣接漏洩電力の関係について、受信帯域制限フィルタ関数を考慮した誤り率特性解析を適用して、実用的な伝送系パラメータ設計法を提示した。

第 6 章、第 7 章では、屋内電波伝搬特性に関して FDTD (Finite Difference Time Domain) 法を用いた電磁界分布の数値解析法について述べる。FDTD 法が高精度な電磁界分布の推定を可能とすることを二つの場合について具体的なモデルを用いて検討した。電車内での伝搬特性の解析とオフィス内における伝搬特性の解析である。それぞれこの推定法の実用性を実証するため、心臓ペースメーカーに対する影響と人体による吸収効果を実際に解析モデルに盛り込んだ解析結果を示す。電車内の解析結果では、携帯電話を 1 人が使用した場合と 5 人が同時に使用した場合の心臓ペースメーカーに与える EMI に明らかな差があることを示し、その際同時に人体による吸収効果の影響についても計算結果から定量化を行う。オフィス内での解析においては無線 LAN を使用することを想定し、オフィス内に人が存在する場合と無人の場合の電界強度分布に大きな差が現れることを確認する。また、オフィス内の送信アンテナと人の配置の位置関係によって生ずる電界強度分布を解析できることを示す。これからの結果から、本解析法が、無線回線設計における重要なパラメータの一つである劣化率に影響を与える受信レベルの場所的、時間的変動マージンを推定する有効な手法になりえることを明らかにした。

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

ワイヤレス構内通信における 周波数有効利用に関する研究

ワイヤレス構内通信は、建屋内など比較的狭いサービスエリアを対象としたことから、ネットワークをより簡易に構成できる、高速変動のない電波伝搬路となるなど、セルラーシステムにない特長を持ったシステムであり、IMT-2000 登場以前から将来方式に発展する可能性を持った候補の一つに位置付けられている。その反面、有線システムと同等のレベルの高い通信速度が求められる、屋内・構内での平均 10mW 程度の低送信電力を前提とする電波伝搬環境を考慮したシステム制御とシステム設計が必要となるなど、新たな技術課題も存在する。ワイヤレス構内通信の研究開発において、これらの特徴的な条件を総合的に考慮し、基本特性としての周波数有効利用を達成することが重要である。

本論文は、自律分散制御の下で制御完了率の高いハンドオーバーを実現する新しい信号アーキテクチャ (THREP) を考案し、その効果を理論的に実証している。また、狭帯域デジタル伝送に適したマルチレベル識別判定法を考案し、実験、理論によってその特性解析を行い、大きな特性改善が見込めることを明らかにしている。さらに、屋内など閉空間における電磁界分布を高精度で推定する数値解析法を確立し、無線回線設計法に応用可能な実的な統計手法を見出している。本研究の成果は、今後発展が望まれる IP ネットワークを基本とした無線 LAN や WiMAX などの発展を支える基盤技術としても有効である。

第 1 章においては、本研究を取り巻く背景と本研究の位置及び意義について詳述している。

第 2 章ではワイヤレス構内通信の具体化としてワイヤレス PBX の実用化を目的に検討したシステム構成法に関する研究成果をまとめている。無線アクセス制御、無線伝送に関する実装結果について詳述し、提案する信号アーキテクチャの効果により、専用の無線制御装置を設けることなくハンドオーバーを実現し、豊富な付加サービスの実装を可能とするシステムの実用化が達成されたことを示している。TDMA と FDMA を融合させたマルチキャリアスイッチング TDMA について検討し、自律分散制御によるワイヤレス構内通信システムの構成法を確立し、実際の商用装置を用いた特性の検証から構成法の有効性を示している。

第3章では、無線アクセス制御に関して第2章の実用化システムに採用した新しい信号アーキテクチャである THREP(THREe phase link set-up Process) について、その特性を理論的に示している。高トラヒックエリアで提案方式が、理想的チャネル利用効率を達成し、トラヒック集中による制御完了率劣化の少ない特性を有していることをチャネル利用効率とハンドオーバー制御完了率の比較検討から明らかにしている。また、実際の商用システムにおける実験からもその有効性を示している。

第4章、第5章では、無線伝送に関し、非同期検波を用いた場合の誤り率特性を大きく改善する識別判定法を提案し、その特性を実験的、理論的に解析している。第4章では GMSK 遅延検波の特性が考案した識別判定法と誤り訂正法によって誤り率特性で 10dB 程度と大幅に改善されることを実験によって明らかにしている。また、第5章の周波数検波を用いたデジタル FM 伝送特性の検討においては、第4章で考案した2値識別判定法を多閾値識別判定法に拡張し、狭帯域デジタル FM に適用した際の詳細な伝送路パラメータについて、理論解析を基に行った検討結果を示している。さらに送信スペクトル特性と隣接漏洩電力の関係について、受信帯域制限フィルタ関数を考慮した誤り率特性解析を適用し、実用的な伝送系パラメータ設計法を提示している。

第6章、第7章では、屋内電波伝搬特性に関して FDTD(Finite Difference Time Domain) 法を用いた電磁界分布の数値解析法について述べている。FDTD 法が高精度な電磁界分布の推定を可能とすることを具体的なモデルを用いて検討している。電車内の解析結果では、人体による吸収効果の影響について計算結果から定量化を行っている。オフィス内での解析においては無線 LAN を使用することを想定し、オフィス内に人が存在する場合と無人の場合の電界強度分布に大きな差が現れることを確認している。また、オフィス内の送信アンテナと人の配置の位置関係によって生ずる電界強度分布を評価できることを示している。これら結果から、解析法が、無線回線設計における重要なパラメータの一つである劣化率に影響を与える受信レベルの場所的、時間的変動マージンを推定する有効な手法になりえることを明らかにしている。

これを要するに、著者は、無線通信装置の特性改善に貢献するとともに周波数利用効率向上に寄与する基盤技術に関する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。