

氏名	かめだすぐる 亀田卓
授与学位	博士(工学)
学位授与年月日	平成13年9月12日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科(博士課程)電子工学専攻
学位論文題目	スペクトラム拡散通信ネットワークシステムの研究
指導教官	東北大学教授 坪内 和夫
論文審査委員	主査 東北大学教授 坪内 和夫 東北大学教授 澤谷 邦男 東北大学教授 安達 文幸 東北大学教授 高橋 研

論文内容要旨

1 序論

携帯電話の爆発的な普及などに見られるように、移動体通信への要望はますます高まっている。特に、今後通信ネットワークのユビキタス化が進むと考えられ、利用者自身がセルラ方式無線通信ネットワークを敷設できる自営網は、需要創出が大きく期待できるネットワークの形態である。自営網向けネットワークに必要な条件としては、初期投資額の削減、容易な設置の実現、チャンネル数、データレートの自由度の高い設計が挙げられる。しかし、無線 LAN など、2.4GHz ISM 帯を用いた従来の自営網向け無線通信システムでは、セルラ方式による運用が考慮されていない。また、PHS は、有線基幹ネットワークを必要とするため、容易な設置が困難である。よって、自営網向けネットワークに必要な条件を満たすような無線通信システムは、いまだに実用化されていない。本論文では、これらの条件を満たすことができる、自営網向けセルラ方式無線通信ネットワークとして、SS-CDMA フレキシブルワイヤレスネットワークを提案する。本論文では、特にセル内無線通信方式の開発を行う。まず、セル内通信上り回線方式として、近似同期 CDMA 方式の提案と評価を行い、その特性を明らかにし、モデムの開発を行う。次に、セル内通信双方向回線の設計指針を提案し、その具体的な仕様を決定する。以上の成果により、SS-CDMA フレキシブルワイヤレスネットワークの実用化を目指す。

2 SS-CDMA フレキシブルワイヤレスネットワーク

本章では、SS-CDMA フレキシブルワイヤレスネットワークの基本概念について述べた。自営網向けセルラネットワークに必要な条件である、初期投資額の削減、容易な設置の実現、チャンネル数、データレートの自由度の高い設計を満たすことができる設計指針を以下のように示した。

(1) 数 10M ~ 100 Mbit/s 程度の大容量無線リンクによって基地局間通信を実現することで、有線設置コスト

- を削減する。(投資額の削減, 容易な設置の実現)
- (2) ルーティング機能を各基地局に自律分散させて行うことを可能とする。また基地局のコスト削減のために、安価な基地局を実現する。(投資額の削減, 容易な設置の実現)
- (3) セル内通信では、運用免許不要である 2.4GHz ISM 帯を使用帯域に採用する。
(投資額の削減, 容易な設置の実現)
- (4) 本設計では基本的な通信形態を (a) 上下回線 等トラフィック量, (b) 回線交換方式, (c) 移動速度は最大で歩行者程度, と仮定した場合の回線容量とした。その上で 1 チャネルあたり総合デジタル通信網 (ISDN) 回線と同じ 64kbit/s の情報伝送速度を実現できる回線を半径 150m 程度のセルあたり 24ch 確保する。
(チャネル数, データレートの自由度の高い設計)

次に、以上の設計指針を満たすために応用できる基盤技術について説明した。

まず、基地局間通信に関しては、直交周波数分割変調 (OFDM) 通信方式を用いて、大容量基幹ネットワークが実現可能であることを示した。また自律分散型レイヤ 2 転送ルーティング技術を用いることで、基地局・基幹ネットワーク設置の自由度が高く、TCP/IP との親和性を持ったネットワークが構築可能であることを示した。

また、セル内通信に関しては、運用免許不要で 2.4GHz ISM 帯を利用できるスペクトラム拡散通信方式の技術概要について示した。さらに、セル内通信下り回線として、端末の低消費電力化・低コスト化・伝送レートの高速化が可能なパケット SS-CDMA 方式を提案した。試作モデムの特性評価により、26 チャネル多重通信可能であることを示した。

3 近似同期 CDMA 方式の設計と評価

本章では、SS-CDMA フレキシブルワイヤレスネットワークのセル内通信上り回線方式として用いている近似同期 CDMA 方式の提案と評価について述べた。

CDMA 方式上り回線においては、各移動局・基地局間距離差に起因する受信電力誤差や受信タイミング誤差によって、遠近問題と呼ばれる深刻なチャネル間干渉が発生する。従来の公衆網 CDMA 方式では、遠近問題を解決するために、送信電力 1dB 単位で制御段数 70 程度の厳密な送信電力制御を行っている。しかし、複雑な制御信号系が必要であること、高価な高精度送信用パワーアンプが必要であることから、基地局・端末コストを考えると、自営網向けシステムには不向きであった。

そこで、SS-CDMA フレキシブルワイヤレスネットワークのセル内通信上り回線では、拡散符号の設計を行うことで、理論的に、遠近問題を回避できる近似同期 CDMA 方式の提案を行った。

まず、計算機シミュレーションを用いて評価を行った。評価は、(1) 移動端末の基準クロック発振器の安定度に起因するキャリア周波数偏差の影響、(2) アナログ・デジタル変換器による量子化誤差の影響、(3) 遅延波・レイリーフェージング環境の影響の三点について行った。その結果、近似同期 CDMA 方式は、その伝送特性が基準クロック発振器の安定度に大きく起因することを明らかにした。また、従来の回路技術でも容易に実現可能な、安定度 0.3ppm 程度の基準クロック発振器と 10bit 出力のアナログ・デジタル変換器を用いても、制御

段数 4 段階の緩やかな送信電力制御で上り回線が実現可能であることを示した。

次に、近似同期 CDMA モデムを開発し、その評価を行った。相関器には、弾性表面波 (SAW) コンボルバを用いた。白色ガウス雑音環境下における伝送特性を評価した。その結果、 E_b/N_0 対 BER 理論特性から、 E_b/N_0 1.0 dB 程度の劣化のみで、モデムが実装可能であることを示した。さらに、現状使用可能なデバイスを用いても、制御段数 4 段階の緩やかな送信電力制御で上り回線が実現可能であることを示した。

以上より、近似同期 CDMA 方式が SS-CDMA フレキシブルワイヤレスのセル内通信上り回線に適用可能であることを実証した。

4 SS-CDMA フレキシブルワイヤレスネットワークの設計と運用

本章では、セル内双方向通信の実現のための設計手法を提案し、仕様案を述べた。

まず、周波数分割でセル分割を行う際のセル間干渉を計算機シミュレーション、および理論値計算により評価することで、クラスタサイズの決定を行った。レイリーフェージング環境においては、アンテナ数 2 で最大比合成を行う、アンテナダイバーシチを導入することで、クラスタサイズ 7 でセルラ方式が実現できることを示した。これより、1 セルあたりの周波数割り当て帯域を 13.9 MHz と決定し、拡散符号チップレートを 12.288 Mchip/s とした。

次に、近似同期 CDMA 方式における、最大多元接続数を計算機シミュレーションで評価した。その結果、第 3 章で示した制御段数 4 段階の緩やかな送信電力制御を用いることで 8 チャンネル多元接続通信が可能であることを示した。

上下回線分離方式は 1 フレーム当たり 4 スロットの非対称時間分割二重化 (ATDD) を行い、下り回線に 1 スロット、上り回線に 3 スロット割り当てすることで、上下回線ともに、24 チャンネル確保できることを示した。さらに、4 拡散符号を用いた M-ary 変調と QPSK 変調を用いることで、上下回線ともに、チャンネル当たり、最大 96 kbit/s の伝送レートを確保できることを示した。これより、チャンネル内に、ガードタイム、制御用信号、誤り訂正を含めても、1 チャンネル当たり 64 kbit/s の伝送レートが実現できる。

その結果、セル内通信においては、1 チャンネル当たり ISDN と等しい伝送レートの 64 kbit/s の双方向通信チャンネルを 24 チャンネル確保することが可能であることを示し、目標諸元が実現可能であることを示した。これらの結果は、種々の自営網向けセルラネットワーク構築の際に設計方針として用いることができる。

5 結論

本研究の成果により、近似同期 CDMA 方式が自営網向けセルラネットワークセル内通信上り回線として実現可能であることを示した。また、セル内通信の双方向通信方式の設計手法を確立することで、自営網向けセルラネットワークである SS-CDMA フレキシブルワイヤレスネットワーク構築が可能であることが示された。

論文審査結果の要旨

携帯電話の爆発的な普及など、移動体通信への要望はますます高まっている。特に、ネットワークのユビキタス化に向けて、利用者自身が無線通信ネットワークを敷設できる自営網の要求が大きい。

本論文は、自営網向けセルラ方式無線通信ネットワークとして、SS-CDMA(Spread Spectrum Code Division Multiple Access) フレキシブルワイヤレスネットワークを提案し、その構成技術としての上り回線方式に関して、近似同期 CDMA 方式の提案、シミュレーションによる特性評価、モデムの試作・特性評価により通信技術を確立し、この技術を基にセル内双方向通信回線の設計手法を確立したもので、全文 5 章よりなる。

第 1 章は序論である。

第 2 章では、SS-CDMA フレキシブルワイヤレスネットワークの基本概念について述べている。基地局間通信は OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplex)による大容量無線接続として、基地局設置の容易性を高めるとともに、分散型レイヤ 2 転送ルーティング技術の採用により IP ネットワークと整合性のよいネットワーク構成を提案している。さらに、無線通信ネットワークのセル内無線通信として、運用免許不要な 2.4GHz ISM(Industrial, Science and Medical)帯 SS-CDMA 技術を用いる方法を提案し、その技術概要に関して述べている。

第 3 章では、セル内無線通信の上り回線方式として、近似同期 CDMA 方式の提案と評価について述べている。拡散符号の設計により理論的に遠近問題を回避できる近似同期 CDMA 方式に関して、計算機シミュレーションを用いた評価の結果、その特性が干渉局の周波数誤差に依存することを明らかにした。その結果を踏まえて、従来の回路技術でも容易に実現可能な、0.3ppm の周波数安定度と 10bit のアナログ・デジタル変換器を用いることで、制御段数 4 段の緩やかな送信電力制御で上り回線が実現可能であることを示した。また、近似同期 CDMA モデムを開発・評価した結果、本技術が上り回線方式として実用上有用であることを実証した。この結果は、近似同期 CDMA の特性をシミュレーション及び実測により初めて明らかにしたもので、非常に重要な成果である。

第 4 章では、セル内双方向通信の実現のための設計手法を示し、仕様案を述べている。まず、周波数分割でセル分割を行う際のセル間干渉を計算機シミュレーションにより評価し、最適なセルクラスサイズを決定し、ISM 帯の帯域幅から 1 セルあたりの周波数割り当て帯域を決定した。さらに、近似同期 CDMA 方式で 8 チャンネル多重通信が可能であることを示した上で、セル内のチャンネル割り当て方法を決定した。その結果、セル内通信が TDD(Time Division Duplex)方式との併用により 1 チャンネルあたり 64kbit/s の双方向通信チャンネルを 24 チャンネル確保できることを示した。この結果は、自営網向けセルラネットワーク構築の設計方針として極めて有用な成果である。

第 5 章は結論である。

以上要するに本論文は、近似同期 CDMA 方式のセル内通信上り回線への適用の可能性を示し、さらにセル内通信の双方向通信方式の設計手法を確立することで、自営網向けセルラネットワークである SS-CDMA フレキシブルワイヤレスネットワーク構築技術を確立したもので、無線通信工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。