

14 97-18

早稲田大学大学院理工学研究科

博 士 論 文 概 要

論 文 題 目

単一の拡散符号を使用する
スプレッドアロハ通信システム
に関する研究

申 請 者

菊 田 徹
Tohru Kikuta

電子・情報通信学専攻
無線・衛星通信研究

1997 年 11 月

幾つかの優れた特徴を有するスペクトル拡散技術を、パケット無線アクセス方式の代表的方式の一つであるアロハ通信方式へ適用したものが、直接拡散スプレッドアロハ通信方式である。その基本動作は、送信側において拡散符号により直接拡散されたパケット信号を受信側においてマッチドフィルタを用いて逆拡散するものであり、各送信局にそれぞれ異なった拡散符号を与える方式と全送信局で単一の拡散符号を使用する方式とが考えられる。前者の方式は秘匿性に優れていることから、同一周波数上で符号分割多元接続 (CDMA: Code Division Multiple Access) に基づく回線交換により複数の局が 1: 1 のリンクを複数設定するような用途にむいている。また、後者の方式は複数の局が単一の局にランダムにアクセスする用途において、単一の受信機ですべての局からの信号を受信できるという特徴を有している。このことから後者の単一の拡散符号を使用するスプレッドアロハ通信方式は、CDMA トラフィックチャネルの回線割り当ての一方式である符号割り当て要求方式 (CDMA-DAMA; CDMA - Demand Assignment Multiple Access) における DAMA 制御回線や、インターネットに代表されるクライアント・サーバ型のコンピュータネットワークなど、1: N のランダムアクセス回線への適用が有効であると考えられる。しかし、単一の拡散符号を使用した直接拡散スプレッドアロハ通信方式は、その実用化に当たってまだ多くの課題を残している。その中の一つに復調器の構成に関する幾つかの課題があり、また別の課題として、伝送特性のモデル化に関する課題がある。

単一の拡散符号を使用する直接拡散スプレッドアロハ通信方式において必要とされる復調器を実現するためには、2つの大きな課題を解決する必要がある。一つは変調方式としてスペクトル拡散を採用することによってマッチドフィルタから出力されるパルス状の信号に対する復調方式の検討である。復調器に関する2番目の課題として、伝送路で衝突し同時に受信されるパケットを分離復調するアルゴリズムの開発があげられる。本論文では、パケット信号の先頭部に付加された全"1"の短いプリアンプルの電圧ディメンジョンにおける巡回加算による SN 改善効果を利用した高精度なシンボルタイミング検出およびキャリア周波数の推定アルゴリズムを採用することによって、衝突パケットの分離と復調が可能となる復調アルゴリズムを提案することで、上記2つの課題を解決する。また計算機シミュレーションによって、実際に複数のパケットが同時に受信される状況で復調を実行することによって、提案した復調アルゴリズムの実用性を定量的に明らかにする。

もう一つの大きな課題である単一の拡散符号を使用する直接拡散スプレッドアロハ通信方式の伝送効率を近似的に導出するためには、対象とする信号波形の差異から異なる拡散符号を使用する方式とは異なるモデル化の提案が必要である。本論文では、マッチドフィルタ出力に現れる相関パルスに対してモデル化を行うことにより、単一の拡散符号を使用するスプレッドアロハ通信方式に関するパケット成功率およびスループット特性を近似的に導出する方法を提案し、先の復調器により求められる復調シミュレーションより得られる伝送特性との定量的比較を行う。その結果、2つの異なる手法で得られる伝送特性の結果が良好に一致することから、提案した近似方法の有効性を明らかにする。

本論文は、単一の拡散符号を用いた直接拡散スプレッドアロハ通信方式に関する一連の研究結果をまとめたもので、直接拡散スプレッドアロハ通信方式に適した復調方式を提案するとともに、その伝送特性について検討を行い、シミュレーションによる手法と近似による手法の両

面から直接拡散スプレッドアロハ通信方式の伝送特性について明らかにする。各章の要点は次の通りである。

第1章は序論であり、研究の目的を明らかにした後、従来の研究の歴史と課題を明確にする。

第2章「スプレッドアロハ通信システムの概要」では、本研究で想定するネットワークの構成を明らかにし、そのネットワーク中の DAMA 制御回線へ、単一の拡散符号を使用した直接拡散スプレッドアロハ通信方式を適用することが、システムの装置規模的メリットの見地から有効であることを示す。次に、スプレッドアロハ通信の多重化の原理を、単一の拡散符号を使用する場合と、異なった拡散符号を使用する場合とに分けて説明した後、スプレッドアロハ通信方式に適した復調方式を検討するための準備段階として、スプレッドアロハ通信の復調のために必要な信号処理についてまとめる。最後に、伝送特性の近似モデルを導く基礎知識として必要になる従来の研究で明らかになっている一般的な近似方法について説明する。

第3章「スプレッドアロハ通信用復調器の構成と特性」では、直接拡散スプレッドアロハ通信方式をランダムアクセス回線に適用することを想定して復調の対象とする回線のシステムモデルを明確にし、幾つかの仮定を設定している。次に、パケット信号の先頭部に付加された全"1"の短いプリアンプルの電圧ディメンジョンにおける巡回加算による SN 改善効果を利用した高精度なシンボルタイミング検出およびキャリア周波数の推定アルゴリズムを採用することによって、衝突パケットの分離と復調が可能となる復調器の構成を提案する。最後に、提案した復調特性を単一パケット受信、2パケット受信、複数パケット受信の場合に分けて明らかにし、提案した復調アルゴリズムが特性的にも十分な実用性を有することを示す。復調器に関する研究の主な成果として、以下の4項目が挙げられる。

- ① $E_b/N_0=4\text{dB}$ 程度の低 C/N 条件下まで良好に復調が可能である。
- ② キャリア周波数オフセットの範囲が $\pm 0.15f_b$ (f_b : シンボル周波数) まで引き込み可能である。
- ③ 同時受信された複数パケットの分離復調が可能であることを、同時受信パケット数を2波の場合、2波以上の場合に分けて特性を取得することで明らかにした。
- ④ 複数パケットを同時受信する条件において、帯域制限の影響およびサンプリング周期の影響を検討し、送受の帯域制限フィルタのロールオフ率に応じてパケット成功率が変動すること、サンプリング周期が 4sample/chip 以上であれば帯域制限を行う条件下ではパケット成功率に変化がみられないこと、をそれぞれ明確にした。

第4章「スプレッドアロハ通信における伝送特性のモデル化」では、等価パルスの概念を新たに導入することにより、簡易なモデル化を行い、単一の拡散符号を使用するスプレッドアロハ通信方式におけるパケット成功率およびスループットを算出する方法を提案する。次に、第3章で提案した復調アルゴリズムを用いて同一回線上に複数のパケットが同時に存在する条件下で復調シミュレーションを実行することによって、復調特性を考慮した伝送特性を示す。また復