(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7446550号
(P7446550)

(45)発行日　令和6年3月8日(2024.3.8)

(24)登録日　令和6年2月29日(2024.2.29)

(51)国際特許分類

		FI		
H04B	*1/7073(2011.01)*	H04B	1/7073	
H04W	*72/044(2023.01)*	H04W	72/044	110

請求項の数　11　（全19頁）

(21)出願番号　特願2023-572656(P2023-572656)
(86)(22)出願日　令和4年3月7日(2022.3.7)
(86)国際出願番号　PCT/JP2022/009768
(87)国際公開番号　WO2023/170754
(87)国際公開日　令和5年9月14日(2023.9.14)
審査請求日　令和5年11月22日(2023.11.22)
早期審査対象出願

(73)特許権者　000006013
三菱電機株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号
(74)代理人　100118762
弁理士　高村 順
(72)発明者　福間 恵
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号
三菱電機株式会社内
審査官　大野 友輝

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　受信装置、通信システム、制御回路、記憶媒体および通信方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

第１のチャープ信号でスペクトル拡散された第１のプリアンブルと、前記第１のプリアンブルよりも後に送信され、前記第１のチャープ信号と異なる第２のチャープ信号でスペクトル拡散された第２のプリアンブルとを含む受信信号と前記第１のチャープ信号との相互相関関数の値である第１の相関値を計算する第１の相関値計算部を有し、前記第１の相関値がピークとなる第１のタイミングを検出する第１のタイミング検出部と、

前記第１のタイミングと、使用される環境で想定される最大の周波数オフセット量とに基づいて、前記第２のチャープ信号と前記受信信号との相互相関関数の値である第２の相関値を計算する範囲であるサーチ範囲を計算するサーチ範囲計算部と、

前記サーチ範囲に限定して、前記第２の相関値を計算する第２の相関値計算部を有し、前記第２の相関値がピークとなる第２のタイミングを検出する第２のタイミング検出部と、

前記第１のタイミングと前記第２のタイミングとに基づいて、前記受信信号を送信した送信装置において拡散符号が乗算された拡散符号タイミングの粗推定結果を求めるタイミング粗推定部と、

を有する初期同期部を備えることを特徴とする受信装置。

【請求項２】

前記第１のチャープ信号は、時間に対して周波数が線形的に増加するアップチャープ信号であり、

前記第２のチャープ信号は、時間に対して周波数が線形的に減少するダウンチャープ信

号であり、
前記第１の相関値計算部は、前記受信信号と前記アップチャープ信号との相互相関関数の値である前記第１の相関値を計算し、
前記第２の相関値計算部は、前記受信信号と前記ダウンチャープ信号との相互相関関数の値である前記第２の相関値を計算することを特徴とする請求項１に記載の受信装置。
【請求項３】
前記第１のチャープ信号は、時間に対して周波数が線形的に減少するダウンチャープ信号であり、
前記第２のチャープ信号は、時間に対して周波数が線形的に増加するアップチャープ信号であり、
前記第１の相関値計算部は、前記受信信号と前記ダウンチャープ信号との相互相関関数の値である前記第１の相関値を計算し、
前記第２の相関値計算部は、前記受信信号と前記アップチャープ信号との相互相関関数の値である第２の相関値を計算することを特徴とする請求項１に記載の受信装置。
【請求項４】
前記第２のプリアンブルは、前記第１のプリアンブルよりも短いことを特徴とする請求項１から３のいずれか１項に記載の受信装置。
【請求項５】
前記第２のチャープ信号は、前記第１のチャープ信号と時間に対して周波数が変化する傾きが異なることを特徴とする請求項１から４のいずれか１項に記載の受信装置。
【請求項６】
前記サーチ範囲計算部は、使用される環境で想定される最大の周波数オフセット量と遅延波の遅延量とに基づいて、前記サーチ範囲を決定することを特徴とする請求項１から５のいずれか１項に記載の受信装置。
【請求項７】
前記初期同期部は、
前記第１のタイミングおよび前記第２のタイミングに基づいて、前記送信装置との間の周波数オフセット量の粗推定結果を求める周波数オフセット粗推定部、
をさらに有することを特徴とする請求項１に記載の受信装置。
【請求項８】
請求項１から７のいずれか１項に記載の受信装置と、
前記受信信号を前記受信装置に送信する送信装置と、
を備えることを特徴とする通信システム。
【請求項９】
受信装置を制御する制御回路であって、
第１のチャープ信号でスペクトル拡散された第１のプリアンブルと、前記第１のプリアンブルよりも後に送信され、前記第１のチャープ信号と異なる第２のチャープ信号でスペクトル拡散された第２のプリアンブルとを含む受信信号と前記第１のチャープ信号との相互相関関数の値である第１の相関値を計算するステップと、
前記第１の相関値がピークとなる第１のタイミングを検出するステップと、
前記第１のタイミングと、使用される環境で想定される最大の周波数オフセット量とに基づいて、前記第２のチャープ信号と前記受信信号との相互相関関数の値である第２の相関値を計算する範囲であるサーチ範囲を計算するステップと、
前記サーチ範囲に限定して、前記第２の相関値を計算するステップと、
前記第２の相関値がピークとなる第２のタイミングを検出するステップと、
前記第１のタイミングと前記第２のタイミングとに基づいて、前記受信信号を送信した送信装置において拡散符号が乗算された拡散符号タイミングの粗推定結果を求めるステップと、
を前記受信装置に実行させることを特徴とする制御回路。
【請求項１０】

受信装置を制御するためのプログラムを記憶した記憶媒体において、該プログラムは、
第１のチャープ信号でスペクトル拡散された第１のプリアンブルと、前記第１のプリアンブルよりも後に送信され、前記第１のチャープ信号と異なる第２のチャープ信号でスペクトル拡散された第２のプリアンブルとを含む受信信号と前記第１のチャープ信号との相互相関関数の値である第１の相関値を計算するステップと、
前記第１の相関値がピークとなる第１のタイミングを検出するステップと、
前記第１のタイミングと、使用される環境で想定される最大の周波数オフセット量とに基づいて、前記第２のチャープ信号と前記受信信号との相互相関関数の値である第２の相関値を計算する範囲であるサーチ範囲を計算するステップと、
前記サーチ範囲に限定して、前記第２の相関値を計算するステップと、
前記第２の相関値がピークとなる第２のタイミングを検出するステップと、
前記第１のタイミングと前記第２のタイミングとに基づいて、前記受信信号を送信した送信装置において拡散符号が乗算された拡散符号タイミングの粗推定結果を求めるステップと、
を前記受信装置に実行させることを特徴とする記憶媒体。
【請求項１１】
送信装置が、時間に対して周波数が線形的に変化する第１のチャープ信号で第１のプリアンブルをスペクトル拡散し、前記第１のチャープ信号と異なる第２のチャープ信号で前記第１のプリアンブルよりも後に送信されるプリアンブルであって前記第１のプリアンブルよりも短い第２のプリアンブルをスペクトル拡散するステップと、
前記送信装置が、前記第１のプリアンブルおよび前記第２のプリアンブルを含む信号を送信するステップと、
前記送信装置が送信した信号を受信した受信装置が、受信信号と前記第１のチャープ信号との相互相関関数の値である第１の相関値を計算するステップと、
前記受信装置が、前記第１の相関値がピークとなる第１のタイミングを検出するステップと、
前記受信装置が、前記第１のタイミングと、使用される環境で想定される最大の周波数オフセット量とに基づいて、前記第２のチャープ信号と前記受信信号との相互相関関数の値である第２の相関値を計算する範囲であるサーチ範囲を計算するステップと、
前記受信装置が、前記サーチ範囲に限定して、前記第２の相関値を計算するステップと、
前記受信装置が、前記第２の相関値がピークとなる第２のタイミングを検出するステップと、
前記受信装置が、前記第１のタイミングと前記第２のタイミングとに基づいて、前記送信装置において拡散符号が乗算された拡散符号タイミングの粗推定結果を求めるステップと、
を含むことを特徴とする通信方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本開示は、受信装置、通信システム、制御回路、記憶媒体および通信方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
同一の周波数帯で異なる複数の無線通信システムが運用される環境では、チャネル干渉への対策が必要になる。例えば、ＩＳＭ（Industry Science Medical）帯と呼ばれる周波数帯は、工業、学術、医療を目的に開放されており、免許不要で利用することができるため、複数の異なる無線通信システムにおいて利用される。近年、ＩｏＴ（Internet of Things）およびＭ２Ｍ（Machine to Machine）向けの無線通信技術として注目を集めているＬＰＷＡ（Low Power Wide Area）の無線通信規格であるＬｏＲａ（登録商標）（Long Range）、ＳＩＧＦＯＸ（登録商標）、Ｗｉ－ＳＵＮ（登録商標）（Wireless Smart Utility Network）などは、ＩＳＭ帯を利用している。ＩＳＭ帯を利用す

る場合のように、同一の周波数帯で異なる複数の無線通信システムが運用される環境において、耐干渉性、耐妨害性、通信の秘匿性などに優れる直接スペクトル拡散を適用することは有効である。以下、直接スペクトル拡散のことをＤＳ－ＳＳ（Direct Sequence Spread Spectrum）と称することがある。

【０００３】

ＤＳ－ＳＳ方式では、受信側で逆拡散を行うために、送信装置で送信情報に拡散符号が乗算されたタイミングを同期する必要がある。ＤＳ－ＳＳ方式のタイミング同期の方法として、初期同期によって送受信間の拡散符号の時間ずれを、例えば、１／２チップ以内の精度で粗同期した後、精タイミング同期によって残留したタイミング誤差を高精度に補正する方法が一般的に使用される。

【０００４】

ＤＳ－ＳＳ方式の初期同期では、逆拡散前の広い周波数帯域に拡散された信号に対して同期処理が行われる。このため、低ＳＮＲ（Signal－to－Noise Ratio）で高精度に同期できることが重要となる。また、送信装置および受信装置の局部発信機の精度が低い場合、送受信間の周波数オフセットが大きくなってしまう。例えば、ＩｏＴおよびＭ２Ｍの分野では、多数の端末に通信機器を搭載する必要がある場合に、安価な局部発信機を使用することがあり、この場合、局部発信機の精度が低く、周波数オフセットが大きくなってしまう。この場合、初期同期は周波数同期の前段で行われるため、著しく精度が低下し、同期を行うことが困難となることもある。

【０００５】

非特許文献１では、時間とともに周波数が線形変化する２種類のチャープ信号を用いてプリアンブルを半分ずつスペクトル拡散し、同期側では、２つの系列の相関ピークの中間値を検出することで、送信装置において拡散符号が乗算されたタイミングである拡散符号タイミングを捕捉する技術が開示されている。この技術によれば、１種類のチャープ信号を使用してプリアンブルをスペクトル拡散する場合と比較して、周波数オフセット耐性を向上させることが可能になる。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【０００６】

【文献】福間　恵他，“複数のチャープ信号を用いて周波数偏差耐性を向上する初期捕捉方式” IT2019-46， SIP2019-59， RCC2019-276， pp．63-68， Jan．， 2020．

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００７】

しかしながら、上記の非特許文献１に開示された技術では、２つのチャープ信号を用いて同じ長さのプリアンブルをスペクトル拡散し、同期側では２つのチャープ信号のそれぞれを独立にタイミング検出することから、初期同期の演算量が増大するという問題があった。

【０００８】

本開示は、上記に鑑みてなされたものであって、周波数オフセット耐性を向上させつつ、初期同期の演算量の増大を抑制することが可能な受信装置を得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【０００９】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本開示にかかる受信装置は、第１のチャープ信号でスペクトル拡散された第１のプリアンブルと、第１のプリアンブルよりも後に送信され、第１のチャープ信号と異なる第２のチャープ信号でスペクトル拡散された第２のプリアンブルとを含む受信信号と第１のチャープ信号との相互相関関数の値である第１の相関値を計算する第１の相関値計算部を有し、第１の相関値がピークとなる第１のタイミングを検出する第１のタイミング検出部と、第１のタイミング<u>と、使用される環境で想定される最大の周波数オフセット量と</u>に基づいて、第２のチャープ信号と受信信号との

相互相関関数の値である第２の相関値を計算する範囲であるサーチ範囲を計算するサーチ範囲計算部と、サーチ範囲に限定して、第２の相関値を計算する第２の相関値計算部を有し、第２の相関値がピークとなる第２のタイミングを検出する第２のタイミング検出部と、第１のタイミングと第２のタイミングとに基づいて、受信信号を送信した送信装置において拡散符号が乗算された拡散符号タイミングの粗推定結果を求めるタイミング粗推定部と、を有する初期同期部を備えることを特徴とする。

【発明の効果】

【００１０】

本開示にかかる受信装置は、周波数オフセット耐性を向上させつつ、初期同期の演算量の増大を抑制することが可能であるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【００１１】

【図１】実施の形態１にかかる通信システムの構成を示す図

【図２】図１に示す送信装置の機能構成を示す図

【図３】図２に示すフレーム生成部によるフレーミング後の信号の一例を示す図

【図４】図１に示す受信装置の機能構成を示す図

【図５】図４に示す初期同期部の詳細な機能構成を示す図

【図６】図５に示す閾値判定部における閾値の設定についての説明図

【図７】図２に示す送信装置の動作を説明するためのフローチャート

【図８】図４に示す受信装置の動作について説明するためのフローチャート

【図９】図８に示す初期同期の詳細な動作を説明するためのフローチャート

【図１０】図４に示す受信装置が備える処理回路をプロセッサおよびメモリで実現する場合の処理回路の構成例を示す図

【図１１】図４に示す受信装置が備える処理回路を専用のハードウェアで構成する場合の処理回路の例を示す図

【発明を実施するための形態】

【００１２】

以下に、本開示の実施の形態にかかる受信装置、通信システム、制御回路、記憶媒体および通信方法を図面に基づいて詳細に説明する。

【００１３】

実施の形態１．

図１は、実施の形態１にかかる通信システム３の構成を示す図である。通信システム３は、送信装置１と、受信装置２とを有する。通信システム３は、送信装置１と受信装置２との間で、無線信号による通信を行う。また通信システム３は、経時的に周波数が線形変化するチャープ信号を用いて信号を元の周波数帯よりも広範囲に拡散する直接スペクトル拡散を用いる。

【００１４】

図２は、図１に示す送信装置１の機能構成を示す図である。送信装置１は、変調部１１と、スペクトル拡散部１２と、プリアンブル生成部１３と、フレーム生成部１４と、送信フィルタ１５と、送信アンテナ１６とを有する。

【００１５】

変調部１１は、図示しない上位装置から取得した送信データを変調することによってデータの変調信号を生成する。変調部１１は、変調方式として、例えばＰＳＫ（Phase Shift Keying）を用いることができる。変調部１１は、生成した変調信号をスペクトル拡散部１２へ出力する。

【００１６】

スペクトル拡散部１２は、変調部１１が出力した変調信号に対してチャープ信号を拡散符号として用いて直接スペクトル拡散を行う。スペクトル拡散部１２が拡散符号として用いるチャープ信号の一例としては、Ｚａｄｏｆｆ－Ｃｈｕ系列が挙げられる。符号長Ｎｃが偶数である場合、Ｚａｄｏｆｆ－Ｃｈｕ系列Ｃのｔ番目の要素であるＣ（ｔ）は、以下

の数式（１）で表される。スペクトル拡散部１２は、例えば、数式（１）のＭ＝３として生成可能なＺａｄｏｆｆ－Ｃｈｕ系列Ｃ（ｔ）を用いることができる。

【００１７】

【数１】

$$C(t) = expj(\frac{M\pi t^2}{Nc}) \quad \cdots(1)$$

【００１８】

数式（１）のＭは系列パラメータであり、Ｎｃと互いに素な関係にある。また、Ｍは系列長Ｎｃでの最小周波数ｆｍｉｎから最大周波数ｆｍａｘまでの増加回数を示す。Ｍ＝１の場合、系列長Ｎｃにおいて、最小周波数ｆｍｉｎから最大周波数ｆｍａｘまで周波数が１回増加する。Ｍ＝２の場合、系列長Ｎｃにおいて、最小周波数ｆｍｉｎから最大周波数ｆｍａｘまで周波数が増加した後、さらに最小周波数ｆｍｉｎから最大周波数ｆｍａｘまで周波数が増加する。すなわち、Ｍ＝２の場合、系列長Ｎｃにおいて、最小周波数ｆｍｉｎから最大周波数ｆｍａｘまで周波数が２回増加する。一方、Ｍ＝－１の場合、Ｎｃにおいて、最大周波数ｆｍａｘから最小周波数ｆｍｉｎまで周波数が１回減少する。スペクトル拡散部１２は、スペクトル拡散を行った信号をフレーム生成部１４へ出力する。以降の説明において、スペクトル拡散部１２で生成された信号をデータと称することがある。

【００１９】

プリアンブル生成部１３は、既知のプリアンブル信号に対してスペクトル拡散を行い、プリアンブルを生成する。プリアンブル生成部１３は、スペクトル拡散部１２が送信データをスペクトル拡散する方法と異なる方法でスペクトル拡散を行う。プリアンブル生成部１３は、変調部１３１と、スペクトル拡散部１３２とを有する。以降の説明において、プリアンブル生成部１３で生成された信号をプリアンブルと称することがある。

【００２０】

変調部１３１は、変調部１１と同様な方法で、既知のプリアンブル信号を変調する。例えば、既知のプリアンブル信号としては、０，０，０，０，・・・のように同じ値の信号を用いることができる。変調部１３１は、変調方式として、例えばＱＰＳＫ（Quadrature Phase Shift Keying）を用いる。変調部１３１は、変調した信号をスペクトル拡散部１３２へ出力する。以降の説明において、変調部１３１で変調された変調信号の１要素をシンボルと称することがある。

【００２１】

スペクトル拡散部１３２は、変調部１３１が出力する変調信号に対して、チャープ信号を拡散符号として用いて直接スペクトル拡散を行う。具体的には、スペクトル拡散部１３２が使用するチャープ信号は、アップチャープ信号またはダウンチャープ信号である。アップチャープ信号は、時間とともに周波数が増加する信号のことであり、本実施の形態では、スペクトル拡散部１３２が使用するアップチャープ信号は、上記の数式（１）のＭの値を１として生成されるＺａｄｏｆｆ－Ｃｈｕ系列に対応する信号とする。また、ダウンチャープ信号は、時間とともに周波数が減少する信号のことであり、本実施の形態では、スペクトル拡散部１３２が使用するダウンチャープ信号は、上記の数式（１）のＭの値を－１として生成されるＺａｄｏｆｆ－Ｃｈｕ系列に対応する信号とする。

【００２２】

スペクトル拡散部１３２は、２種類のプリアンブルのそれぞれを異なるチャープ信号で拡散する。２種類のプリアンブルのうち、先に送信されるプリアンブルを第１のプリアンブルと称し、第１のプリアンブルの後に送信されるプリアンブルを第２のプリアンブルと称する。第１のプリアンブルを拡散する際に使用されるチャープ信号を第１のチャープ信号と称し、第２のプリアンブルを拡散する際に使用されるチャープ信号を第２のチャープ信号と称する。第２のチャープ信号は、第１のチャープ信号と異なるチャープ信号である。ここでは、第１のチャープ信号はアップチャープ信号であり、第２のチャープ信号はダ

ウンチャープ信号であることとする。スペクトル拡散部１３２は、第１のプリアンブルに対して第１のチャープ信号であるアップチャープ信号でスペクトル拡散を行い、第２のプリアンブルに対して第２のチャープ信号であるダウンチャープ信号でスペクトル拡散を行う。スペクトル拡散部１３２は、スペクトル拡散後の信号をフレーム生成部１４へ出力する。

【００２３】

フレーム生成部１４は、スペクトル拡散部１２が出力するスペクトル拡散後のデータと、プリアンブル生成部１３が出力するスペクトル拡散後のプリアンブルとをフレーミングする。図３は、図２に示すフレーム生成部１４によるフレーミング後の信号の一例を示す図である。フレーミング後の信号は、第１のプリアンブルと、第１のプリアンブルよりも後に送信される第２のプリアンブルと、データとを含む。第１のプリアンブルはアップチャープ信号によるスペクトル拡散であるアップチャープ拡散を実施されており、第２のプリアンブルは、ダウンチャープ信号によるスペクトル拡散であるダウンチャープ拡散を実施されている。なお、第２のプリアンブルの長さは、第１のプリアンブルの長さと同等としたり、伝搬環境や要求条件によっては第１のプリアンブルの長さよりも短くすることができる。フレーム生成部１４は、フレーミング後の信号を、順次、送信フィルタ１５へ出力する。

【００２４】

送信フィルタ１５は、フレーム生成部１４が出力するフレーミング後の信号に対して、帯域制限を行う。送信フィルタ１５は、帯域制限された複数の信号のそれぞれを送信アンテナ１６へ出力する。

【００２５】

送信アンテナ１６は、送信フィルタ１５が出力する帯域制限後の複数の信号のそれぞれを送信する。送信アンテナ１６は、受信装置２に向けて信号を無線送信する。

【００２６】

図４は、図１に示す受信装置２の機能構成を示す図である。受信装置２は、受信アンテナ２１と、受信フィルタ２２と、初期同期部２３と、フレーム同期部２４と、精同期部２５と、周波数オフセット補正部２６と、逆拡散部２７と、復調部２８とを有する。

【００２７】

受信アンテナ２１は、無線信号を受信する。受信アンテナ２１で受信される信号である受信信号は、送信装置１から送信された信号である。受信アンテナ２１は、受信信号を受信フィルタ２２へ出力する。

【００２８】

受信フィルタ２２は、受信アンテナ２１が出力する受信信号に対してフィルタ処理を行う。受信フィルタ２２は、フィルタ処理後の信号を初期同期部２３、フレーム同期部２４および周波数オフセット補正部２６のそれぞれへ出力する。

【００２９】

初期同期部２３は、受信フィルタ２２が出力するフィルタ処理後の信号に基づいて、初期同期を行う。本実施の形態において、初期同期部２３は、送信装置１において拡散符号が乗算されたタイミングである拡散符号タイミングの粗推定と、送信装置１と受信装置２との間の局部発信機の周波数ずれにより発生する周波数オフセット量の粗推定とを行う。周波数オフセット量の粗推定とは、後述する精同期部２５による周波数オフセット量の推定精度と比較して、粗い精度で行う周波数オフセット量の推定のことを指す。初期同期部２３は、拡散符号タイミングの粗推定結果と、周波数オフセット量の粗推定結果とを、フレーム同期部２４へ出力する。初期同期部２３の詳細な構成および動作については後述する。

【００３０】

フレーム同期部２４は、初期同期部２３が出力する拡散符号タイミングの粗推定結果に基づいて、フレームのタイミングを同期するフレーム同期を行う。フレーム同期部２４は、拡散符号タイミングの粗推定結果と、周波数オフセット量の粗推定結果と、フレームタ

イミングの推定結果とを精同期部２５へ出力する。
【００３１】
精同期部２５は、フレーム同期部２４が出力するフレームタイミングに基づいて、残留した拡散符号タイミングの誤差と周波数オフセット量とを補正することによって、拡散符号タイミングと周波数オフセットとを初期同期部２３よりも高精度に推定する。精同期部２５は、例えば、ＡＦＣ（Automatic Frequency Control）と呼ばれる回路を使用して、初期同期部２３よりも高精度な同期処理を行う。精同期部２５は、周波数オフセット量の推定結果を周波数オフセット補正部２６へ出力し、拡散符号タイミングの推定結果を逆拡散部２７へ出力する。
【００３２】
周波数オフセット補正部２６は、精同期部２５が出力する周波数オフセット量の推定結果に基づいて、受信フィルタ２２が出力する信号に対して周波数オフセットを補正する。周波数オフセット補正部２６は、周波数オフセットを補正後の信号を逆拡散部２７へ出力する。
【００３３】
逆拡散部２７は、精同期部２５が出力する拡散符号タイミングの推定結果に基づいて、周波数オフセット補正部２６が出力する周波数オフセットを補正後の信号に対して逆拡散を行う。逆拡散部２７は、逆拡散後の信号を復調部２８へ出力する。
【００３４】
復調部２８は、逆拡散部２７が出力する逆拡散後の信号に対して復調処理を行う。
【００３５】
続いて、受信装置２の初期同期部２３の詳細な構成について説明する。図５は、図４に示す初期同期部２３の詳細な機能構成を示す図である。
【００３６】
初期同期部２３は、第１のタイミング検出部２３１と、サーチ範囲計算部２３７と、第２のタイミング検出部２３８と、粗推定部２４０とを有する。
【００３７】
第１のタイミング検出部２３１は、受信信号と第１のチャープ信号との相互相関関数の値である第１の相関値に基づいて第１のタイミングｎ１を検出する。第１のタイミングｎ１は、第１の相関値がピークとなり、且つ、第１の相関値が閾値を超えるタイミングである。第１のタイミング検出部２３１は、第１の相関値計算部２３２と、電力値計算部２３３と、平均化部２３４と、相関電力メモリ２３５と、閾値判定部２３６とを有する。
【００３８】
第１の相関値計算部２３２は、マッチドフィルタにより、受信フィルタ２２が出力するフィルタ処理後の受信信号と、送信装置１のプリアンブル生成部１３でスペクトル拡散する際に使用した第１のチャープ信号との相互相関関数の値である第１の相関値を計算する。第１の相関値計算部２３２は、計算した第１の相関値を電力値計算部２３３へ出力する。
【００３９】
電力値計算部２３３は、第１の相関値計算部２３２が出力する第１の相関値を２乗することによって電力値を計算する。電力値計算部２３３は、計算した電力値を平均化部２３４へ出力する。
【００４０】
平均化部２３４は、電力値計算部２３３が出力する電力値を、前シンボルの同じサンプルタイミングの電力値と平均化する。本実施の形態では、１シンボル長は拡散符号長Ｎｃ×オーバーサンプル数Ｎｏｖｓとなり、サンプルタイミングは、ｋ＝１～Ｎｃ×Ｎｏｖｓの１要素とする。平均化部２３４は、平均化後の電力値を相関電力メモリ２３５に記憶させる。
【００４１】
相関電力メモリ２３５は、拡散符号長Ｎｃ×オーバーサンプル数Ｎｏｖｓに相当する数の電力値を保持できるように構成されており、平均化部２３４が出力する平均化後の電力値を拡散符号長Ｎｃ×オーバーサンプル数Ｎｏｖｓである１シンボル周期分にわたって記憶する。

平均化部２３４までの処理はサンプル時間単位で動作していた処理が、相関電力メモリ２３５以降の処理では、シンボル時間単位での動作に変わることになる。

【００４２】

閾値判定部２３６は、相関電力メモリ２３５に保持される拡散符号１周期分の電力値から、第１のタイミングｎ１を検出する。具体的には、閾値判定部２３６は、相関電力メモリ２３５に保持される拡散符号１周期分の電力値のうち最大となる電力値を検出し、検出した最大電力値と閾値とを比較する。最大電力値が閾値を超えている場合、閾値判定部２３６は、最大電力値に対応したサンプルタイミングを、第１のタイミングｎ１として検出し、第１のタイミングｎ１を、サーチ範囲計算部２３７および粗推定部２４０のそれぞれへ出力する。電力値は第１の相関値の２乗であるため、電力値がピークとなるサンプルタイミングにおいて、第１の相関値はピークとなる。また、閾値判定部２３６は、閾値を超えたシンボル番号を第２のタイミング検出部２３８へ出力する。

【００４３】

サーチ範囲計算部２３７は、第１のタイミング検出部２３１が出力する第１のタイミングｎ１に基づいて、第２のタイミング検出部２３８以降で演算を行うタイミングの範囲であるサーチ範囲を計算する。サーチ範囲は、第２のタイミング検出部２３８が第２のチャープ信号と受信信号との相互相関関数の値である第２の相関値を計算する範囲となる。サーチ範囲計算部２３７は、使用される環境で想定される最大の周波数オフセット量に基づいて、サーチ範囲を計算することができる。具体的には、サーチ範囲計算部２３７は、使用される環境で想定される最大の周波数オフセット量の絶対値を｜Δｆmax｜として、｜Δｆmax｜が起こすタイミングオフセット量をΔｔmaxとした場合、サーチ範囲を、（ｎ１－２Δｔmax）～（ｎ１＋２Δｔmax）とすることができる。さらに、サーチ範囲計算部２３７は、遅延波の遅延量を考慮して、サーチ範囲を計算することもできる。例えば、サーチ範囲計算部２３７は、使用される環境で想定される最大の遅延波の直接波からの遅延量を、直接波からのサンプル数ｄmaxで表した場合、サーチ範囲を、（ｎ１－２Δｔmax－ｄmax）～（ｎ１＋２Δｔmax＋ｄmax）とすることができる。サーチ範囲計算部２３７は、求めたサーチ範囲を第２のタイミング検出部２３８へ出力する。

【００４４】

第２のタイミング検出部２３８は、サーチ範囲計算部２３７で求められたサーチ範囲に限定して第２の相関値を計算し、第２の相関値に基づいて第２のタイミングｎ２を検出する。第２のタイミングｎ２は、第２の相関値がピークとなり、且つ、第２の相関値が閾値を超えるタイミングである。第２のタイミング検出部２３８は、第２の相関値計算部２３９と、電力値計算部２３３ａと、平均化部２３４ａと、相関電力メモリ２３５ａと、閾値判定部２３６ａとを有する。

【００４５】

第２の相関値計算部２３９は、マッチドフィルタにより、受信フィルタ２２が出力するフィルタ処理後の受信信号と、送信装置１のプリアンブル生成部１３でスペクトル拡散する際に使用された第２のチャープ信号との相互相関関数の値である第２の相関値を計算する。第２の相関値計算部２３９は、第２の相関値を電力値計算部２３３ａへ出力する。

【００４６】

電力値計算部２３３ａは、第２の相関値計算部２３９が出力する第２の相関値を２乗することによって電力値を計算する。電力値計算部２３３ａは、計算した電力値を平均化部２３４ａへ出力する。

【００４７】

平均化部２３４ａは、電力値計算部２３３ａが出力する電力値を、前シンボルの同じサンプルタイミングの電力値と平均化する。平均化部２３４ａは、平均化後の電力値を相関電力メモリ２３５ａに記憶させる。

【００４８】

相関電力メモリ２３５ａは、拡散符号長Ｎc×オーバーサンプル数Ｎovsに相当する数の電力値を保持できるように構成されており、平均化部２３４ａが出力する平均化後の電力

値をＮｃ×オーバーサンプル数Ｎｏｖｓである１シンボル周期分にわたって記憶する。平均化部２３４ａまでの処理はサンプル時間単位で動作していた処理が、相関電力メモリ２３５ａ以降の処理では、シンボル時間単位での動作に変わることになる。

【００４９】

閾値判定部２３６ａは、相関電力メモリ２３５ａに記憶された拡散符号１周期分の電力値から、第２のタイミングｎ２を検出する。具体的には、閾値判定部２３６ａは、相関電力メモリ２３５ａに保持される拡散符号１周期分の電力値のうち最大となる電力値を検出し、検出した最大電力値と予め定められた閾値とを比較する。最大電力値が閾値を超えている場合、閾値判定部２３６ａは、最大電力値に対応したサンプルタイミングを第２のタイミングｎ２として検出し、第２のタイミングｎ２を、粗推定部２４０へ出力する。

【００５０】

閾値判定部２３６，２３６ａのそれぞれが使用する閾値は、予め定められた値であってもよいし、以下に説明するように、動的に生成してもよい。閾値判定部２３６は、相関電力メモリ２３５から読みだした１拡散符号周期分の電力値の平均を計算し、平均値の定数α倍を閾値とすることができる。閾値判定部２３６ａについても同様であり、閾値判定部２３６ａは、相関電力メモリ２３５ａから読みだした１拡散符号周期分の電力値の平均を計算し、平均値の定数α倍を閾値とすることができる。図６は、図５に示す閾値判定部２３６，２３６ａにおける閾値の設定についての説明図である。図６の横軸はサンプルタイミングであり、縦軸は平均化後の電力値、つまり相関電力メモリ２３５，２３５ａに記憶された電力値である。閾値判定部２３６，２３６ａは、各サンプルタイミングの平均化後の電力値の１拡散符号周期分の平均を計算し、平均のα倍を閾値とする。閾値判定部２３６，２３６ａのそれぞれは、このようにして設定した閾値と最大電力値との比較結果に基づいて、第１のタイミングｎ１または第２のタイミングｎ２を検出することができる。

【００５１】

粗推定部２４０は、タイミング粗推定部２４１と、周波数オフセット粗推定部２４２とを有する。タイミング粗推定部２４１は、閾値判定部２３６が出力する第１のタイミングｎ１と、閾値判定部２３６ａが出力する第２のタイミングｎ２とに基づいて、受信信号を送信した送信装置１において拡散符号が乗算されたタイミングである拡散符号タイミングの粗推定結果を求めることができる。具体的には、タイミング粗推定部２４１は、拡散符号タイミングを、第１のタイミングｎ１と第２のタイミングｎ２との中間の第３のタイミングｎ０とすることができる。タイミング粗推定部２４１は、中間の第３のタイミングｎ０が小数になる場合、四捨五入してもよい。第３のタイミングｎ０は、以下の数式（２）で表される。

【００５２】

【数２】

$$n0 = \left\lfloor \frac{n1 + n2}{2} \right\rceil \quad \cdots (2)$$

【００５３】

タイミング粗推定部２４１は、推定した拡散符号タイミングを拡散符号タイミングの粗推定結果として、フレーム同期部２４へ出力する。

【００５４】

周波数オフセット粗推定部２４２は、閾値判定部２３６が出力する第１のタイミングｎ１と、閾値判定部２３６ａが出力する第２のタイミングｎ２とに基づいて、送信装置１と受信装置２との間の周波数オフセット量の粗推定結果を求めることができる。周波数オフセット粗推定部２４２は、以下の数式（３）を用いて周波数オフセット量を算出することができる。周波数オフセット粗推定部２４２は、推定した周波数オフセット量を周波数オフセット量の粗推定結果として、フレーム同期部２４へ出力する。

【００５５】

【数３】

$$\frac{n2-n1}{2}\times\frac{\text{シンボルレート}}{\text{オーバーサンプル数}} \quad \cdots(3)$$

【００５６】

続いて、通信システム３の動作について説明する。まず、送信装置１の動作について説明する。

【００５７】

図７は、図２に示す送信装置１の動作を説明するためのフローチャートである。送信装置１の変調部１１は、図示しない上位装置から取得した送信データを変調する（ステップＳ１０１）。変調部１１は、変調後の信号である変調信号をスペクトル拡散部１２へ出力する。

【００５８】

スペクトル拡散部１２は、変調部１１が出力する変調信号に対してスペクトル拡散を行う（ステップＳ１０２）。スペクトル拡散部１２は、スペクトル拡散後の信号をフレーム生成部１４へ出力する。

【００５９】

プリアンブル生成部１３は、既知のプリアンブル信号に対して、スペクトル拡散部１２と異なる方法でスペクトル拡散を行い、プリアンブルを生成する（ステップＳ１０３）。プリアンブル生成部１３は、生成したプリアンブルをフレーム生成部１４へ出力する。

【００６０】

フレーム生成部１４は、スペクトル拡散部１２が出力するデータと、プリアンブル生成部１３が出力するプリアンブルとをフレーミングする（ステップＳ１０４）。フレーム生成部１４は、フレーミング後の信号を送信フィルタ１５へ出力する。

【００６１】

送信フィルタ１５は、フレーミング後の信号に対して、帯域制限を行う（ステップＳ１０５）。送信フィルタ１５は、帯域制限された信号を送信アンテナ１６へ出力する。

【００６２】

送信アンテナ１６は、送信フィルタ１５が出力する信号を送信する（ステップＳ１０６）。

【００６３】

続いて受信装置２の動作について説明する。図８は、図４に示す受信装置２の動作について説明するためのフローチャートである。受信装置２の受信アンテナ２１は、送信装置１から送信された信号を受信する（ステップＳ２０１）。受信アンテナ２１は、受信信号を受信フィルタ２２へ出力する。

【００６４】

受信フィルタ２２は、受信アンテナ２１が出力する受信信号に対してフィルタ処理を行う（ステップＳ２０２）。受信フィルタ２２は、フィルタ処理後の信号を初期同期部２３、フレーム同期部２４および周波数オフセット補正部２６へ出力する。

【００６５】

初期同期部２３は、受信フィルタ２２が出力する信号に基づいて、初期同期を行う（ステップＳ２０３）。ステップＳ２０３の詳細については、後述する。初期同期部２３は、初期同期により生成される拡散符号タイミングの粗推定結果と、周波数オフセット量の粗推定結果とをフレーム同期部２４へ出力する。

【００６６】

フレーム同期部２４は、受信フィルタ２２が出力する信号に対して、初期同期部２３が出力する拡散符号タイミングの粗推定結果に基づいて、フレームのタイミングを同期するフレーム同期を行う（ステップＳ２０４）。フレーム同期部２４は、フレームタイミングの推定結果と、拡散符号タイミングの粗推定結果と、周波数オフセット量の粗推定結果と

を精同期部２５へ出力する。

【００６７】

精同期部２５は、フレーム同期部２４が出力するフレームタイミングに基づいて、拡散符号タイミングの粗推定結果と周波数オフセット量の粗推定結果とに含まれる誤差を補正し、拡散符号タイミングおよび周波数オフセット量を初期同期部２３よりも高精度に推定する精同期を行う（ステップＳ２０５）。精同期部２５は、拡散符号タイミングの推定結果を逆拡散部２７へ出力し、周波数オフセット量の推定結果を周波数オフセット補正部２６へ出力する。

【００６８】

周波数オフセット補正部２６は、精同期部２５が出力する周波数オフセット量の推定結果に基づいて、受信フィルタ２２が出力する信号に対して周波数オフセットを補正する（ステップＳ２０６）。周波数オフセット補正部２６は、補正後の信号を逆拡散部２７へ出力する。

【００６９】

逆拡散部２７は、精同期部２５が出力する拡散符号タイミングの推定結果に基づいて、周波数オフセット補正部２６が出力する周波数オフセットを補正後の信号に対して、逆拡散を行う（ステップＳ２０７）。逆拡散部２７は、逆拡散後の信号を復調部２８へ出力する。

【００７０】

復調部２８は、逆拡散部２７が出力する逆拡散後の信号に対して復調を行う（ステップＳ２０８）。

【００７１】

図９は、図８に示す初期同期の詳細な動作を説明するためのフローチャートである。初期同期部２３の第１の相関値計算部２３２は、第１の相関値を計算する（ステップＳ３０１）。第１の相関値計算部２３２は、計算した第１の相関値を電力値計算部２３３へ出力する。

【００７２】

電力値計算部２３３は、第１の相関値を２乗することによって、電力値を計算する（ステップＳ３０２）。電力値計算部２３３は、計算した電力値を平均化部２３４へ出力する。平均化部２３４は、電力値計算部２３３が出力する電力値を、前シンボルの同じサンプルタイミングの電力値と平均化する（ステップＳ３０３）。平均化部２３４は、平均化後の電力値を相関電力メモリ２３５に記憶させる。

【００７３】

相関電力メモリ２３５は、平均化部２３４からの平均化後の電力値を記憶する（ステップＳ３０４）。閾値判定部２３６は、相関電力メモリ２３５に記憶された電力値に基づいて、第１の相関値がピークとなる第１のタイミングｎ１の閾値判定を行う（ステップＳ３０５）。具体的には、閾値判定部２３６は、相関電力メモリ２３５に記憶された拡散符号１周期分の複数の電力値の中から最大となる電力値を抽出し、抽出した最大電力値と閾値とを比較する。最大電力値が閾値を超えている場合、閾値判定部２３６は、最大電力値に対応したサンプルタイミングを、第１のタイミングｎ１として、粗推定部２４０およびサーチ範囲計算部２３７へ出力する。

【００７４】

サーチ範囲計算部２３７は、閾値判定部２３６が出力する第１のタイミングｎ１に基づいて、サーチ範囲を計算する（ステップＳ３０６）。サーチ範囲計算部２３７は、計算したサーチ範囲を、第２のタイミング検出部２３８へ出力する。

【００７５】

第２のタイミング検出部２３８の第２の相関値計算部２３９は、サーチ範囲計算部２３７が出力するサーチ範囲に時間範囲を限定して、第２の相関値を計算する（ステップＳ３０７）。具体的には、第２の相関値計算部２３９は、閾値判定部２３６が閾値を超えたと判定した最大電力値に対応するシンボルから第２の相関値を計算する。第２の相関値計算

部２３９は、計算した第２の相関値を電力値計算部２３３ａへ出力する。
【００７６】
電力値計算部２３３ａは、第２の相関値計算部２３９が出力する第２の相関値を２乗することによって電力値を計算する（ステップＳ３０８）。電力値計算部２３３ａは、計算した電力値を平均化部２３４ａへ出力する。
【００７７】
平均化部２３４ａは、電力値計算部２３３ａが出力する電力値を、前シンボルの同じサンプルタイミングの電力値と平均化する（ステップＳ３０９）。平均化部２３４ａは、平均化後の電力値を相関電力メモリ２３５ａに記憶させる。
【００７８】
相関電力メモリ２３５ａは、平均化部２３４ａからの平均化後の電力値を記憶する（ステップＳ３１０）。閾値判定部２３６ａは、相関電力メモリ２３５ａに記憶された電力値に基づいて、第２の相関値がピークとなる第２のタイミングｎ２の閾値判定を行う（ステップＳ３１１）。具体的には、閾値判定部２３６ａは、相関電力メモリ２３５ａに記憶された拡散符号１周期分の電力値の中から最大となる電力値を抽出し、抽出した最大電力値と閾値とを比較する。最大電力値が閾値を超えている場合、閾値判定部２３６ａは、最大電力値に対応したサンプルタイミングを、第２のタイミングｎ２として、粗推定部２４０へ出力する。
【００７９】
粗推定部２４０のタイミング粗推定部２４１は、第１のタイミングｎ１および第２のタイミングｎ２に基づいて、拡散符号タイミングの粗推定を行う（ステップＳ３１２）。タイミング粗推定部２４１は、拡散符号タイミングの粗推定結果をフレーム同期部２４へ出力する。粗推定部２４０の周波数オフセット粗推定部２４２は、第１のタイミングｎ１および第２のタイミングｎ２に基づいて、周波数オフセット量の粗推定を行う（ステップＳ３１３）。周波数オフセット粗推定部２４２は、周波数オフセット量の粗推定結果をフレーム同期部２４へ出力する。
【００８０】
続いて、受信装置２のハードウェア構成について説明する。受信装置２において、受信アンテナ２１は、アンテナ装置で実現される。受信フィルタ２２は、フィルタ回路で実現される。初期同期部２３、フレーム同期部２４、精同期部２５、周波数オフセット補正部２６、逆拡散部２７、および復調部２８は、処理回路により実現される。処理回路は、メモリに格納されるプログラムを実行するプロセッサおよびメモリであってもよいし、専用のハードウェアであってもよい。処理回路は、制御回路とも呼ばれる。
【００８１】
図１０は、図４に示す受信装置２が備える処理回路をプロセッサ９１およびメモリ９２で実現する場合の処理回路９０の構成例を示す図である。図１０に示す処理回路９０は、制御回路であり、プロセッサ９１およびメモリ９２を有する。処理回路９０がプロセッサ９１およびメモリ９２で構成される場合、処理回路９０の各機能は、ソフトウェア、ファームウェア、またはソフトウェアとファームウェアとの組み合わせにより実現される。ソフトウェアまたはファームウェアはプログラムとして記述され、メモリ９２に格納される。処理回路９０では、メモリ９２に記憶されたプログラムをプロセッサ９１が読みだして実行することにより、各機能を実現する。すなわち、処理回路９０は、受信装置２の処理が結果的に実行されることになるプログラムを格納するためのメモリ９２を備える。このプログラムは、処理回路９０により実現される各機能を受信装置２に実行させるためのプログラムであるともいえる。このプログラムは、プログラムが記憶された記憶媒体により提供されてもよいし、通信媒体など他の手段により提供されてもよい。
【００８２】
ここで、プロセッサ９１は、例えば、ＣＰＵ（Central Processing Unit）、処理装置、演算装置、マイクロプロセッサ、マイクロコンピュータ、またはＤＳＰ（Digital Signal Processor）などである。また、メモリ９２は、例えば、ＲＡＭ（Random Acce

ss Memory）、ＲＯＭ（Read Only Memory）、フラッシュメモリ、ＥＰＲＯＭ（Erasable Programmable ＲＯＭ）、ＥＥＰＲＯＭ（登録商標）（Electrically ＥＰＲＯＭ）などの、不揮発性または揮発性の半導体メモリ、磁気ディスク、フレキシブルディスク、光ディスク、コンパクトディスク、ミニディスク、またはＤＶＤ（Digital Versatile Disc）などが該当する。

【００８３】

図１１は、図４に示す受信装置２が備える処理回路を専用のハードウェアで構成する場合の処理回路９３の例を示す図である。図１１に示す処理回路９３は、例えば、単一回路、複合回路、プログラム化したプロセッサ、並列プログラム化したプロセッサ、ＡＳＩＣ（Application Specific Integrated Circuit）、ＦＰＧＡ（Field Programmable Gate Array）、またはこれらを組み合わせたものが該当する。処理回路については、一部を専用のハードウェアで実現し、一部をソフトウェアまたはファームウェアで実現するようにしてもよい。このように、処理回路は、専用のハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、またはこれらの組み合わせによって、上述の各機能を実現することができる。

【００８４】

なお、ここでは受信装置２のハードウェア構成について説明したが、送信装置１のハードウェア構成も同様である。送信装置１において、送信アンテナ１６はアンテナ装置で実現される。送信フィルタ１５はフィルタ回路で実現される。変調部１１、スペクトル拡散部１２、プリアンブル生成部１３およびフレーム生成部１４は、処理回路により実現される。処理回路は、メモリに格納されるプログラムを実行するプロセッサおよびメモリであってもよいし、専用のハードウェアであってもよい。

【００８５】

なお、図２および図４，５に示す複数の機能ブロックのそれぞれは、必ずしも１つの処理回路で実現する必要はない。複数の機能ブロックの機能が１つの処理回路で実現されてもよいし、１つの機能ブロックの機能が複数の処理回路で実現されてもよい。

【００８６】

以上説明したように、実施の形態１にかかる通信システム３は、送信装置１のプリアンブル生成部１３において、初めに送信される第１のプリアンブルに対して第１のチャープ信号でスペクトル拡散し、第１のプリアンブルの次に送信される第２のプリアンブルに対して、第１のチャープ信号と異なるチャープ信号である第２のチャープ信号でスペクトル拡散する。受信装置２は、初期同期部２３の第１のタイミング検出部２３１において、まず、第１のチャープ信号と受信信号との相互相関関数の値である第１の相関値を計算し、第１の相関値がピークとなる第１のタイミングｎ１を検出する。初期同期部２３のサーチ範囲計算部２３７は、検出された第１のタイミングｎ１に基づいて、第２のチャープ信号と受信信号との相互相関関数の値である第２の相関値を計算する範囲であるサーチ範囲を計算する。第２のタイミング検出部２３８は、サーチ範囲に限定して、第２の相関値を計算し、第２の相関値がピークとなる第２のタイミングｎ２を検出する。初期同期部２３の粗推定部２４０は、第１のタイミングｎ１および第２のタイミングｎ２に基づいて、拡散符号タイミングの粗推定結果を求める。

【００８７】

これにより、第２のタイミング検出部２３８において計算する範囲がサーチ範囲に限定されるため、２種類のチャープ信号を用いることによって周波数オフセット耐性を向上させつつ、初期同期部２３の演算量を削減することができる。したがって、初期同期部２３を実現するための回路の規模を低減することが可能になる。

【００８８】

また、初期同期部２３は、第１のタイミングｎ１および第２のタイミングｎ２に基づいて、送信装置１との間の周波数オフセット量の粗推定結果を求める周波数オフセット粗推定部２４２をさらに有する。これにより、初期同期部２３の演算量を削減しつつ、周波数オフセット量の粗推定結果を得ることが可能になる。

【００８９】

以上の実施の形態に示した構成は、一例を示すものであり、別の公知の技術と組み合わせることも可能であるし、要旨を逸脱しない範囲で、構成の一部を省略、変更することも可能である。

【００９０】

例えば、上記の実施の形態１では、第１のチャープ信号を数式（１）のＭ＝１として生成するアップチャープ信号とし、第２のチャープ信号を数式（１）のＭ＝－１として生成するダウンチャープ信号としたが、本実施の形態はかかる例に限定されない。第１のチャープ信号と第２のチャープ信号とが異なるチャープ信号であればよい。ここで、異なるチャープ信号とは、周波数の経時的な変化の傾き、最小周波数ｆmin、最大周波数ｆmaxの少なくとも１つが異なるチャープ信号であればよい。したがって、第１のプリアンブルがアップチャープ信号であって、第２のプリアンブルがダウンチャープ信号であってもよいし、第１のプリアンブルがダウンチャープ信号であって、第２のプリアンブルがアップチャープ信号であってもよい。さらに、第１のプリアンブルおよび第２のプリアンブルが共にアップチャープ信号であってもよいし、第１のプリアンブルおよび第２のプリアンブルが共にダウンチャープ信号であってもよい。例えば、Ｍ＝３，５としたＺａｄｏｆｆ－Ｃｈｕ系列、アップチャープ信号とダウンチャープ信号とで中心周波数を合わせたＺａｄｏｆｆ－Ｃｈｕ系列などを用いることができる。ただし、Ｍ＝１のアップチャープ信号と、Ｍ＝－１のダウンチャープ信号とを併せて用いることで、周波数オフセットが発生する場合にも精度の良い同期が可能になるという利点がある。また、Ｍ＝１でないＺａｄｏｆｆ－Ｃｈｕ系列を利用することで、多元接続時にも精度の低下を抑えて同期を行うことができるという利点がある。

【００９１】

また、上記の実施の形態１では、初期同期部２３のサーチ範囲計算部２３７は、使用される環境で想定される最大のオフセット量の絶対値と第１のタイミングｎ１とに基づいてサーチ範囲を決定したが、サーチ範囲の決定方法はかかる例に限定されない。例えば、マルチパス環境では、サーチ範囲計算部２３７は、遅延波の遅延量を考慮してサーチ範囲を決定してもよい。これにより、マルチパス環境における初期同期の精度を改善することができる。

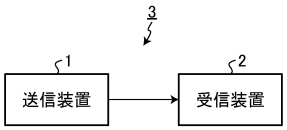
【符号の説明】

【００９２】

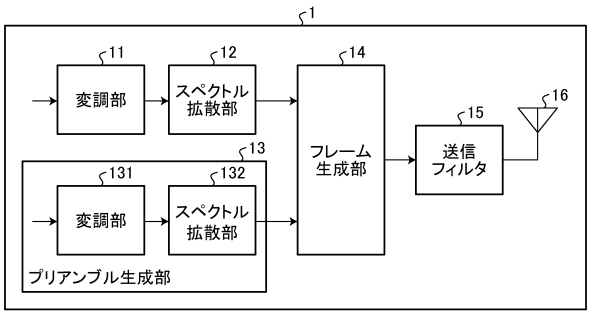
１　送信装置、２　受信装置、３　通信システム、１１，１３１　変調部、１２，１３２　スペクトル拡散部、１３　プリアンブル生成部、１４　フレーム生成部、１５　送信フィルタ、１６　送信アンテナ、２１　受信アンテナ、２２　受信フィルタ、２３　初期同期部、２４　フレーム同期部、２５　精同期部、２６　周波数オフセット補正部、２７　逆拡散部、２８　復調部、９０，９３　処理回路、９１　プロセッサ、９２　メモリ、２３１　第１のタイミング検出部、２３２　第１の相関値計算部、２３３，２３３ａ　電力値計算部、２３４，２３４ａ　平均化部、２３５，２３５ａ　相関電力メモリ、２３６，２３６ａ　閾値判定部、２３７　サーチ範囲計算部、２３８　第２のタイミング検出部、２３９　第２の相関値計算部、２４０　粗推定部、２４１　タイミング粗推定部、２４２　周波数オフセット粗推定部。

【図面】

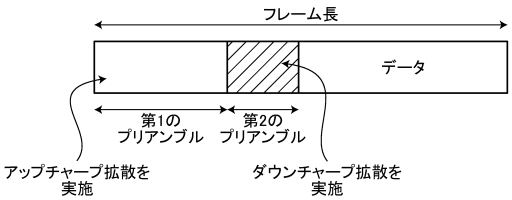
【図１】


3
1
2
送信装置
受信装置

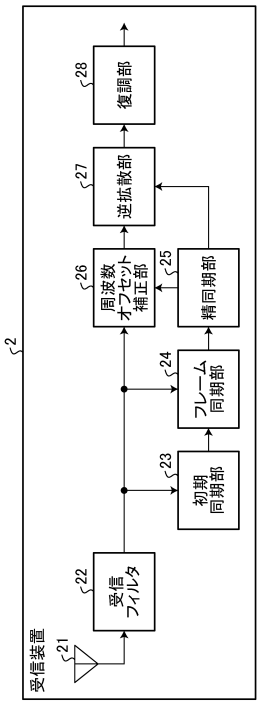
【図２】


1
11
12
14
変調部
スペクトル拡散部
フレーム生成部
15
16
送信フィルタ
13
131
132
変調部
スペクトル拡散部
プリアンブル生成部

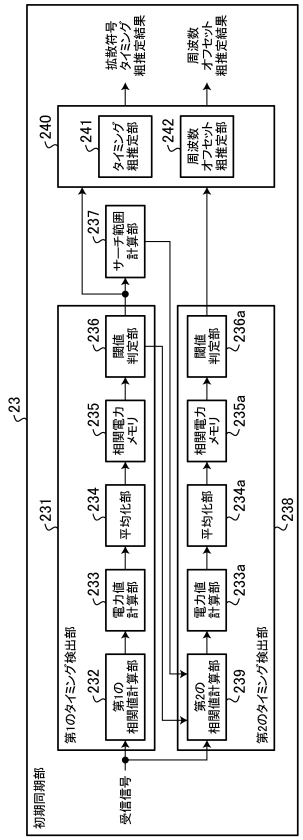
【図３】


フレーム長
データ
第1のプリアンブル
第2のプリアンブル
アップチャープ拡散を実施
ダウンチャープ拡散を実施

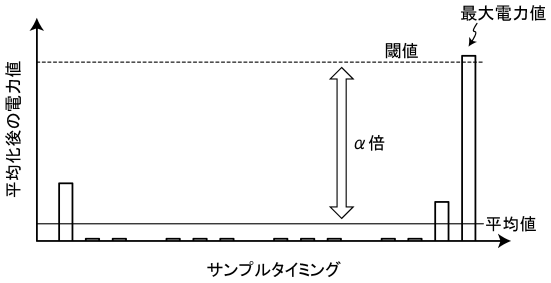
【図４】


2
受信装置
21
22
受信フィルタ
23
初期同期部
24
フレーム同期部
25
精同期部
26
周波数オフセット補正部
27
逆拡散部
28
復調部

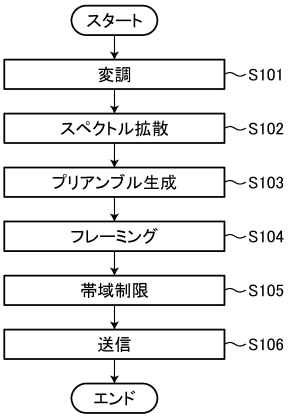
【図５】


拡散符号タイミング相関定値果
周波数オフセット相関定値果
240
241
タイミング相関定部
242
周波数オフセット相関定部
237
サーチ範囲計算部
23
231
236
閾値判定部
235
相関電力メモリ
234
平均化部
233
電力値計算部
232
第1の相関値計算部
第1のタイミング検出部
236a
閾値判定部
235a
相関電力メモリ
234a
平均化部
233a
電力値計算部
239
第2の相関値計算部
第2のタイミング検出部
238
初期同期部
受信信号

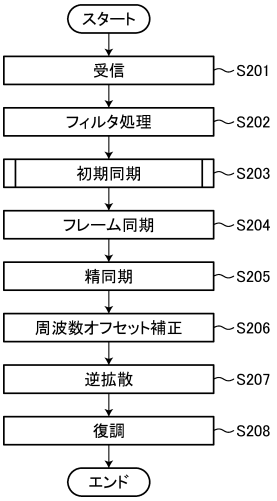
【図６】


最大電力値
閾値
平均化後の電力値
α倍
平均値
サンプルタイミング

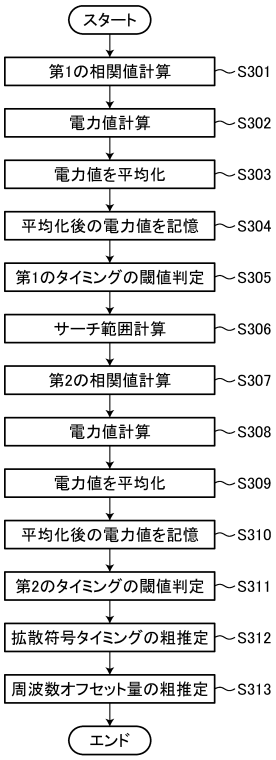
【図７】


スタート
変調
S101
スペクトル拡散
S102
プリアンブル生成
S103
フレーミング
S104
帯域制限
S105
送信
S106
エンド

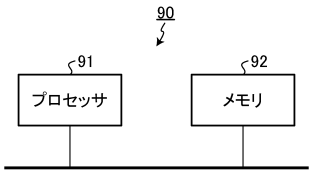
【図８】


スタート
受信
S201
フィルタ処理
S202
初期同期
S203
フレーム同期
S204
精同期
S205
周波数オフセット補正
S206
逆拡散
S207
復調
S208
エンド

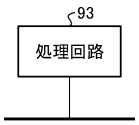
【図９】


スタート
第1の相関値計算
S301
電力値計算
S302
電力値を平均化
S303
平均化後の電力値を記憶
S304
第1のタイミングの閾値判定
S305
サーチ範囲計算
S306
第2の相関値計算
S307
電力値計算
S308
電力値を平均化
S309
平均化後の電力値を記憶
S310
第2のタイミングの閾値判定
S311
拡散符号タイミングの粗推定
S312
周波数オフセット量の粗推定
S313
エンド

【図１０】


90
91
プロセッサ
92
メモリ

【図１１】


93
処理回路

フロントページの続き

(56)参考文献 特開２０１１－１３０１４２（ＪＰ，Ａ）
特表２０１８－５２４８９０（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２０２１／１４０６２７（WO，Ａ１）
米国特許出願公開第２０１３／００５１４３３（ＵＳ，Ａ１）
福間 恵 他３名，複数のチャープ信号を用いて周波数偏差耐性を向上する初期捕捉方式，電子情報通信学会技術研究報告 Ｖｏｌ．１１９ Ｎｏ．３７７，日本，一般社団法人電子情報通信学会，2020年01月16日，第119巻 第377号，pp.63-68，ISSN: 0913-5685
福間 恵 他３名，複数のＺａｄｏｆｆ－Ｃｈｕ系列と送信ダイバーシチを組み合わせたＤＳ－ＳＳ初期同期のフレーム検出に関す，電子情報通信学会技術研究報告 Ｖｏｌ．１２１ Ｎｏ．７ ［ｏｎｌｉｎｅ］，日本，一般社団法人電子情報通信学会，2021年04月15日，第121巻 第7号，pp.36-41，ISSN:2432-6380
福間 恵 他３名，２つのチャープ信号を用いたDS-SS初期補足のマルチパス環境における特性評価，電子情報通信学会２０２０年通信ソサイエティ大会講演論文集１，電子情報通信学会，2020年09月01日，p.258，ISSN: 1349-1415

(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０４Ｂ １／７０７３
Ｈ０４Ｗ ７２／０４４