

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5942226号
(P5942226)

(45) 発行日 平成28年6月29日 (2016.6.29)

(24) 登録日 平成28年6月3日 (2016.6.3)

(51) Int. Cl. F I
 H04L 7/04 (2006.01) H04L 7/04 100
 H04L 7/04 200

請求項の数 10 (全 32 頁)

(21) 出願番号	特願2012-249378 (P2012-249378)	(73) 特許権者	314012076
(22) 出願日	平成24年11月13日 (2012.11.13)		パナソニックIPマネジメント株式会社
(65) 公開番号	特開2014-99701 (P2014-99701A)		大阪府大阪市中央区城見2丁目1番61号
(43) 公開日	平成26年5月29日 (2014.5.29)	(74) 代理人	100084375
審査請求日	平成27年3月10日 (2015.3.10)		弁理士 板谷 康夫
		(74) 代理人	100121692
			弁理士 田口 勝美
		(74) 代理人	100125221
			弁理士 水田 慎一
		(74) 代理人	100142077
			弁理士 板谷 真之
		(72) 発明者	茂住 巖
			大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 通信システム、それに用いられる送信器と受信器、及び通信方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

送信対象のデータよりも伝送速度が低い第1の同期用ビット列を生成する低速ビット列生成部と、

前記データと伝送速度が同じ第2の同期用ビット列を生成するビット列生成部と、

前記第1の同期用ビット列、前記第2の同期用ビット列、及び前記データをフレーム化して変調することによりベースバンド信号を生成し、前記ベースバンド信号をアップコンバートしてRF信号に変換し、前記RF信号を無線送信する無線送信部と、
 を有する送信器と、

前記無線送信部により無線送信されたRF信号を受信してダウンコンバートすることによりベースバンド信号を抽出する無線受信部と、

前記無線受信部により抽出されたベースバンド信号を、前記データの1シンボルを複数のサンプリングタイミングでサンプリングし、かつM(M:2以上の整数)ビットで量子化するオーバサンプリング部と、

前記オーバサンプリング部により量子化されたベースバンド信号を検波する検波部と、
 前記検波部により検波されたベースバンド信号中の前記第1の同期用ビット列を検出し、その検出結果に基づいて、前記ベースバンド信号中の前記第2の同期用ビット列が存在する範囲を予測する低速ビット列検出部と、

前記低速ビット列検出部による予測範囲内の前記ベースバンド信号のサンプル値列について、検波されたサンプル値を2値に置き換えることなく、そのままの値で用いて、前記

10

20

サンプル値列と予め記憶している既知の前記第2の同期用ビット列との相関値を前記サンプリングタイミング毎に算出し、その算出された相関値に基づいてシンボル同期とフレーム同期とを確立する同期確立部と、
を有する受信器と、
を備えたことを特徴とする通信システム。

【請求項2】

前記同期確立部は、前記複数のサンプリングタイミングの前記相関値をそれぞれ算出する複数の相関値算出部を有し、
前記複数の相関値算出部は、前記相関値の算出処理を並列的に実行することを特徴とする請求項1に記載の通信システム。

10

【請求項3】

前記無線送信部は、前記第2の同期用ビット列を、前記サンプリングタイミングの数以上の回数、連続して送信し、
前記同期確立部は、前記予測範囲内で、前記相関値を算出するサンプリングタイミングを、前記第2の同期用ビット列の長さ毎に順に切り替えるタイミング設定部を有することを特徴とする請求項1に記載の通信システム。

【請求項4】

前記同期確立部は、前記サンプリングタイミング毎に前記相関値が最大値となり前記予測範囲内の最大値候補となるタイミングを検出し、それらのタイミング間隔を計測するタイミング間隔検出部をさらに有し、

20

前記タイミング間隔検出部により計測されたタイミング間隔が規定範囲でない場合、本来とは異なるタイミングで前記相関値が最大となったサンプリングタイミングの該最大値を前記予測範囲内の最大値候補から除外し、残った前記最大値候補の中で最も大きい最大値候補のサンプリングタイミングをシンボル同期タイミングに設定し、その最大値が得られたタイミングをフレーム同期タイミングに設定することを特徴とする請求項3に記載の通信システム。

【請求項5】

前記サンプリングタイミングの数をnとし、 $n = m \times p$ (m、p: 2以上の整数)とした場合、

前記無線送信部は、前記第2の同期用ビット列を、m以上の回数、連続して送信し、
前記同期確立部は、前記予測範囲内でp個のサンプリングタイミングの前記相関値をそれぞれ算出し該相関値の算出処理を並列的に実行するp個の相関値算出部と、前記p個の相関値算出部により前記相関値が算出されるサンプリングタイミングを、前記予測範囲内で前記第2の同期用ビット列の長さ毎に順に切り替えるタイミング設定部を有することを特徴とする請求項1に記載の通信システム。

30

【請求項6】

前記同期確立部は、前記相関値が前記予測範囲内で最大となったサンプリングタイミングをシンボル同期タイミングに設定し、該相関値が前記予測範囲内で最大となったタイミングをフレーム同期タイミングに設定することを特徴とする請求項1乃至請求項3及び請求項5のいずれか一項に記載の通信システム。

40

【請求項7】

前記同期確立部は、前記相関値が相関閾値以上であれば、その相関値のサンプリングタイミングをシンボル同期タイミングに設定し、該相関値が相関閾値以上となったタイミングをフレーム同期タイミングに設定することを特徴とする請求項1乃至請求項5のいずれか一項に記載の通信システム。

【請求項8】

前記同期確立部は、前記相関値が相関閾値以上であり、かつ前記予測範囲内で最大となったサンプリングタイミングをシンボル同期タイミングに設定し、該相関値が相関閾値以上であって前記予測範囲内で最大となったタイミングをフレーム同期タイミングに設定することを特徴とする請求項1乃至請求項5のいずれか一項に記載の通信システム。

50

【請求項 9】

前記同期確立部は、前記相関値の算出処理において、前記サンプル値列と前記第 2 の同期用ビット列とについて、時系列順で互いに同じ順番のサンプル値とビットの値とを乗算し、それらの乗算結果を、1 つのレジスタを用いて累積加算することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 8 のいずれか一項に記載の通信システム。

【請求項 10】

送信対象のデータよりも伝送速度が低い第 1 の同期用ビット列を生成する低速ビット列生成ステップと、

前記データと伝送速度が同じ第 2 の同期用ビット列を生成するビット列生成ステップと、

前記第 1 の同期用ビット列、前記第 2 の同期用ビット列、及び前記データをフレーム化して変調することによりベースバンド信号を生成し、前記ベースバンド信号をアップコンバートして R F 信号に変換し、前記 R F 信号を無線送信する無線送信ステップと、

を有する送信ステップと、

前記無線送信ステップにより無線送信された R F 信号を受信してダウンコンバートすることによりベースバンド信号を抽出する無線受信ステップと、

前記無線受信ステップにより抽出されたベースバンド信号を前記データの 1 シンボルを複数のサンプリングタイミングでサンプリングし、かつ M (M : 2 以上の整数) ビットで量子化するオーバサンプリングステップと、

前記オーバサンプリングステップにより量子化されたベースバンド信号を検波する検波ステップと、

前記検波ステップにより検波されたベースバンド信号中の前記第 1 の同期用ビット列を検出し、その検出結果に基づいて、前記ベースバンド信号中の前記第 2 の同期用ビット列が存在する範囲を予測する低速ビット列検出ステップと、

前記低速ビット列検出ステップによる予測範囲内の前記ベースバンド信号のサンプル値列について、検波されたサンプル値を 2 値に置き換えることなく、そのままの値で用いて、前記サンプル値列と予め記憶している既知の前記第 2 の同期用ビット列との相関値を前記サンプリングタイミング毎に算出し、その算出された相関値に基づいてシンボル同期とフレーム同期とを確立する同期確立ステップと、

を有する受信ステップと、

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】

本発明は、送信器から無線送信される信号を受信器により受信する通信システム、それに用いられる送信器と受信器、及び通信方法に関する。

【背景技術】

【0002】

一般的な無線通信は、送信器と受信器が互いに異なるクロックで動作しているため、非同期通信となる。そのため、受信器は、送信器からのベースバンド信号をいずれのタイミングで受信しても対応可能なように、受信したベースバンド信号を 1 シンボルにつき複数のタイミングでサンプリングするオーバサンプリングをし、シンボルを検出できるタイミングを抽出する。この抽出処理は、シンボル同期処理と称される。また、通信の基本単位であるフレームを認識するのに、フレーム中のヘッダ又はデータ等の始まりを識別する必要がある。この識別処理は、フレーム同期処理と称される。

【0003】

従来のシンボル同期確立の手法としては、ゼロクロス検出方法が広く知られている。このゼロクロス検出方法においては、ベースバンド信号の先頭に、1 と 0 とを交互に繰り返すプリアンプル (1 0 1 0 1 0 ... と続く信号) が配置されている。受信器において、このベースバンド信号はオーバサンプリングされ、プリアンプルの符号反転タイミング、すな

10

20

30

40

50

わち、ゼロクロスのタイミングが読み取られる。そして、その読み取られたゼロクロスのタイミングに基づいて、シンボルの正確な検出が可能なサンプリングタイミングが求められ、そのサンプリングタイミングがシンボル同期タイミングに設定される。例えば、ゼロクロスと次のゼロクロスの中に最も近いサンプリングタイミングがシンボル同期タイミングに設定される。

【 0 0 0 4 】

次に、シンボル同期の取れたベースバンド信号について、従来のフレーム同期を確立する手法を図 3 7 に示す。元々、シンボル同期確立処理において、ベースバンド信号をオーバーサンプリングして得た値、すなわち、ベースバンド信号のサンプル値は量子化されているとする。従来のフレーム同期を確立する手法では、シンボル同期タイミングに設定されたサンプリングタイミングのサンプル値列について、上記のように量子化された値が、2 値化閾値を基準に弁別され、2 値に置き換えられる (S 1 0 1)。そして、そのサンプル値列と、同じく 2 値である既知のユニークワードとの相関値が算出される (S 1 0 2)。そして、その算出された相関値が予め設定された相関閾値以上であれば (S 1 0 3 で Yes)、上記サンプル値列とユニークワードとが一致したと判断され、それらが一致したタイミングがフレーム同期タイミングに設定される。そのようにしてフレーム同期が確立される (S 1 0 4)。

【 0 0 0 5 】

ところで、無線通信システムにおいては、マルチパスフェージングに起因する受信信号のシンボル間干渉が課題の一つとして挙げられる。この干渉は、図 3 8 に示されるように、送信信号が、複数の異なる経路 (マルチパス) を経て各々異なる遅延時間を持って受信アンテナに到来し、それらが受信アンテナで足し合わされることに因る。マルチパス環境では、送信アンテナから直接到来する直接波と障害物で反射された間接波とが受信アンテナに入力されたり、直接波が無く複数の経路を経た複数の間接波のみが受信アンテナに伝わったりする。

【 0 0 0 6 】

このような現象が生じた場合、受信信号波形が歪んでしまうことがある。受信信号波形は、信号の伝送速度が速いほど、歪み易い傾向にある。その理由について、図 3 9 を用いて説明する。同図に示されるように、信号の伝送速度が速いと、信号のシンボル長が短くなることから、シンボル長に対する上記遅延時間の相対的な比率は高くなる。そのため、例えば、異なる経路を経た 2 つ信号があり、一方の信号に対し、他方の信号がマルチパスフェージングに因り遅延し、信号のシンボル長が遅延時間に近い場合、一方の信号の 1 番目のシンボルと、他方の信号の 0 番目のシンボルとの重なり部分が長くなる。その結果、シンボル長に対する受信信号波形の歪みが相対的に大きくなってしまふ。同図では、2 つの信号だけを取り上げたが、実際には、遅延量の異なる多数のマルチパルス信号が足し合わされるので、上記の歪みはさらに大きくなり得る。このように歪みが大きくなると、上記のシンボル同期確立処理において、本来のゼロクロスのタイミングを検出できず、従って、安定したシンボル同期が得られないという問題が生じ、その結果、上述したフレーム同期確立処理の同期精度にも影響が及ぶことがある。

【 0 0 0 7 】

そこで、マルチパスフェージングの影響を解消する代表的な方策としては、OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 等のマルチキャリア伝送技術 (例えば、特許文献 1 を参照) がある。これは、伝送する情報を分割して複数のキャリア (サブキャリア) で並列に送信し各キャリアの伝送速度を落とすことにより、通信速度を維持しつつもマルチパスフェージングの影響を低減することを可能にした技術である。この技術では、各キャリアの伝送速度を遅くすることによりシンボル長が長くされ、図 4 0 に示されるように、マルチパスフェージングに起因するシンボルあたりの遅延がシンボル長よりも相対的に十分に短くされる。従って、マルチパスフェージングの影響を受けたとしても、シンボル長に対する受信信号波形の歪みが相対的に小さくなり、従って、シンボル同期が確立し易くなり、結果として、フレーム同期も安定して確立することができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2010-103900号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、マルチキャリア伝送では、フーリエ逆変換及びフーリエ変換により周波数軸と時間軸とを変換して処理する複雑な構成が必要になる。そのため、マルチキャリア伝送技術を用いた通信システムでは、コストが高くなってしまい、また、回路規模が増大して回路の小型化が難しい、という欠点もある。

10

【0010】

そこで、マルチキャリアの技術を用いずに、シングルキャリアによってマルチパスフェージングに因る波形歪みの影響を低減する方法として、伝送速度を低くする技法があるが、この技法では通信速度が遅くなってしまふ。そのため、プリアンプのみの伝送速度を、通信対象であるデータの伝送速度よりも低くする技法が考えられる。しかしながら、この技法では、プリアンプから、データのシンボルを正確に検出可能なサンプリングタイミングを求めることは困難である。従って、正確なシンボル同期は難しく、フレーム同期の精度は低下してしまふ。

【0011】

20

本発明は、この問題を解決するためになされたものである。本発明は、マルチパスフェージング環境下においても、低コストでかつ小規模の回路により同期を高精度に確立できる通信システム、それに用いられる送信器と受信器、及び通信方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0012】

上記目的を達成するために本発明の通信システムは、
送信対象のデータよりも伝送速度が低い第1の同期用ビット列を生成する低速ビット列生成部と、

前記データと伝送速度が同じ第2の同期用ビット列を生成するビット列生成部と、
前記第1の同期用ビット列、前記第2の同期用ビット列、及び前記データをフレーム化して変調することによりベースバンド信号を生成し、前記ベースバンド信号をアップコンバートしてRF信号に変換し、前記RF信号を無線送信する無線送信部と、
を有する送信器と、

30

前記無線送信部により無線送信されたRF信号を受信してダウンコンバートすることによりベースバンド信号を抽出する無線受信部と、

前記無線受信部により抽出されたベースバンド信号を、前記データの1シンボルを複数のサンプリングタイミングでサンプリングし、かつM(M:2以上の整数)ビットで量子化するオーバサンプリング部と、

前記オーバサンプリング部により量子化されたベースバンド信号を検波する検波部と、
前記検波部により検波されたベースバンド信号中の前記第1の同期用ビット列を検出し、その検出結果に基づいて、前記ベースバンド信号中の前記第2の同期用ビット列が存在する範囲を予測する低速ビット列検出部と、

40

前記低速ビット列検出部による予測範囲内の前記ベースバンド信号のサンプル値列について、検波されたサンプル値を2値に置き換えることなく、そのままの値で用いて、前記サンプル値列と予め記憶している既知の前記第2の同期用ビット列との相関値を前記サンプリングタイミング毎に算出し、その算出された相関値に基づいてシンボル同期とフレーム同期とを確立する同期確立部と、
を有する受信器と、
を備えたことを特徴とする。

50

【 0 0 1 4 】

前記同期確立部は、前記複数のサンプリングタイミングの前記相関値をそれぞれ算出する複数の相関値算出部を有し、前記複数の相関値算出部は、前記相関値の算出処理を並列的に実行することが好ましい。

【 0 0 1 5 】

前記無線送信部は、前記第 2 の同期用ビット列を、前記サンプリングタイミングの数以上の回数、連続して送信し、前記同期確立部は、前記予測範囲内で、前記相関値を算出するサンプリングタイミングを、前記第 2 の同期用ビット列の長さ毎に順に切り替えるタイミング設定部を有することが好ましい。

【 0 0 1 6 】

前記同期確立部は、前記サンプリングタイミング毎に前記相関値が最大値となり前記予測範囲内の最大値候補となるタイミングを検出し、それらのタイミング間隔を計測するタイミング間隔検出部をさらに有し、前記タイミング間隔検出部により計測されたタイミング間隔が規定範囲内でない場合、本来とは異なるタイミングで前記相関値が最大となったサンプリングタイミングの該最大値を前記予測範囲内の最大値候補から除外し、残った前記最大値候補の中で最も大きい最大値候補のサンプリングタイミングをシンボル同期タイミングに設定し、その最大値が得られたタイミングをフレーム同期タイミングに設定することが好ましい。

【 0 0 1 7 】

前記サンプリングタイミングの数を n とし、 $n = m \times p$ ($m, p : 2$ 以上の整数) とした場合、前記無線送信部は、前記第 2 の同期用ビット列を、 m 以上の回数、連続して送信し、前記同期確立部は、前記予測範囲内で p 個のサンプリングタイミングの前記相関値をそれぞれ算出し該相関値の算出処理を並列的に実行する p 個の相関値算出部と、前記 p 個の相関値算出部により前記相関値が算出されるサンプリングタイミングを、前記予測範囲内で前記第 2 の同期用ビット列の長さ毎に順に切り替えるタイミング設定部を有することが好ましい。

【 0 0 1 8 】

前記同期確立部は、前記相関値が前記予測範囲内で最大となったサンプリングタイミングをシンボル同期タイミングに設定し、該相関値が前記予測範囲内で最大となったタイミングをフレーム同期タイミングに設定することが好ましい。

【 0 0 1 9 】

前記同期確立部は、前記相関値が相関閾値以上であれば、その相関値のサンプリングタイミングをシンボル同期タイミングに設定し、該相関値が相関閾値以上となったタイミングをフレーム同期タイミングに設定することが好ましい。

【 0 0 2 0 】

前記同期確立部は、前記相関値が相関閾値以上であり、かつ前記予測範囲内で最大となったサンプリングタイミングをシンボル同期タイミングに設定し、該相関値が相関閾値以上であって前記予測範囲内で最大となったタイミングをフレーム同期タイミングに設定することが好ましい。

【 0 0 2 1 】

前記同期確立部は、前記相関値の算出処理において、前記サンプル値列と前記第 2 の同期用ビット列とについて、時系列順で互いに同じ順番のサンプル値とビットの値とを乗算し、それらの乗算結果を、1 つのレジスタを用いて累積加算することが好ましい。

【 0 0 2 2 】

本発明の通信方法は、
送信対象のデータよりも伝送速度が低い第 1 の同期用ビット列を生成する低速ビット列生成ステップと、
前記データと伝送速度が同じ第 2 の同期用ビット列を生成するビット列生成ステップと、
前記第 1 の同期用ビット列、前記第 2 の同期用ビット列、及び前記データをフレーム化

10

20

30

40

50

して変調することによりベースバンド信号を生成し、前記ベースバンド信号をアップコンバートしてRF信号に変換し、前記RF信号を無線送信する無線送信ステップと、
を有する送信ステップと、

前記無線送信ステップにより無線送信されたRF信号を受信してダウンコンバートすることによりベースバンド信号を抽出する無線受信ステップと、

前記無線受信ステップにより抽出されたベースバンド信号を前記データの1シンボルを複数のサンプリングタイミングでサンプリングし、かつM(M:2以上の整数)ビットで量子化するオーバサンプリングステップと、

前記オーバサンプリングステップにより量子化されたベースバンド信号を検波する検波ステップと、

前記検波ステップにより検波されたベースバンド信号中の前記第1の同期用ビット列を検出し、その検出結果に基づいて、前記ベースバンド信号中の前記第2の同期用ビット列が存在する範囲を予測する低速ビット列検出ステップと、

前記低速ビット列検出ステップによる予測範囲内の前記ベースバンド信号のサンプル値列について、検波されたサンプル値を2値に置き換えることなく、そのままの値で用いて、前記サンプル値列と予め記憶している既知の前記第2の同期用ビット列との相関値を前記サンプリングタイミング毎に算出し、その算出された相関値に基づいてシンボル同期とフレーム同期とを確立する同期確立ステップと、

を有する受信ステップと、
を含むことを特徴とする。

【発明の効果】

【0026】

本発明によれば、マルチパスフェージングによるシンボル間干渉の影響を受け難い第1の同期用ビット列に基づいて第2の同期用ビット列の存在する範囲が予測されるので、第2の同期用ビット列の検出の正確さが増す。従って、その予測範囲内の信号に基づいて同期を確立しようとすることで同期確立精度を向上できる。また、同期確立精度の向上に必要な処理は、OFDM方式等のマルチキャリア技術と比べて簡単で済み、その結果、回路規模を小さくすることができ、また、回路の低コスト化を図ることができる。しかも、予測範囲内の信号のサンプル値列について、サンプル値はそのままの値で用いられ、相関値が算出される。従って、マルチパスフェージングの影響により受信信号波形が歪んだとしても、従来のようにサンプル値を2値化してから相関値を算出する場合と比べ2値化時の丸め込みによる相関値の誤差が無くなる。そのため、その相関値に基づいてなされる同期確立の精度をさらに向上することができる。

【図面の簡単な説明】

【0027】

【図1】本発明の一実施形態に係る通信システムのブロック図。

【図2】上記通信システムのベースバンド信号のフレーム構成図。

【図3】上記通信システムの受信器によるユニークワード及びデータへのサンプリングタイミングを示す図。

【図4】上記受信器による低速ユニークワード及びユニークワードへのサンプリングタイミングを示す図。

【図5】上記受信器の低速ユニークワード検出回路のブロック図。

【図6】上記受信器の同期確立回路のブロック図。

【図7】上記低速ユニークワード検出回路の相関値算出方法を示す図。

【図8】上記同期確立回路の相関値算出方法を示す図。

【図9】上記通信システムの送信器におけるベースバンド信号の送信処理のフローチャート。

【図10】上記受信器におけるベースバンド信号の受信処理のフローチャート。

【図11】上記同期確立回路におけるベースバンド信号への同期確立処理のフローチャート。

10

20

30

40

50

- 【図 1 2】上記受信器における受信信号に対する相関値の変動を示す図。
- 【図 1 3】(a)乃至(d)は上記同期確立回路の相関値算出手法について説明するための図。
- 【図 1 4】(a)乃至(d)は上記同期確立回路の相関値算出手法について説明するための別の図。
- 【図 1 5】上記実施形態の第 1 の変形例に係る通信システムの受信器における受信信号に対する相関値の変動を示す図。
- 【図 1 6】本変形例の比較例に係る通信システムの受信器における受信信号に対する相関値の変動を示す図。
- 【図 1 7】上記実施形態の第 2 の変形例に係る通信システムの同期確立回路のブロック図 10
- 。
- 【図 1 8】上記同期確立回路における複数のサンプリングタイミングの相関値算出処理の概念図。
- 【図 1 9】上記同期確立回路におけるベースバンド信号への同期確立処理のフローチャート。
- 【図 2 0】上記実施形態の第 3 の変形例に係る通信システムのベースバンド信号のフレーム構成図。
- 【図 2 1】上記通信システムの同期確立回路のブロック図。
- 【図 2 2】上記同期確立回路におけるベースバンド信号への同期確立処理のフローチャート 20
- 。
- 【図 2 3】上記同期確立回路における相関値算出対象のサンプリングタイミングを順次切り替えたときにサンプリングタイミング毎に相関値が正しいタイミングで最大となった場合のタイミング間隔を示す図。
- 【図 2 4】上記同期確立回路における相関値算出対象のサンプリングタイミングを順次切り替えたときに相関値が誤ったタイミングで最大となった場合のタイミング間隔を示す図。
- 。
- 【図 2 5】上記実施形態の第 4 の変形例に係る通信システムの同期確立回路のブロック図
- 。
- 【図 2 6】上記同期確立回路におけるベースバンド信号への同期確立処理のフローチャート 30
- 。
- 【図 2 7】上記実施形態の第 5 の変形例に係る通信システムの同期確立回路のブロック図
- 。
- 【図 2 8】上記通信システムのベースバンド信号のフレーム構成図。
- 【図 2 9】上記実施形態の第 6 の変形例に係る通信システムの同期確立回路のブロック図
- 。
- 【図 3 0】上記同期確立回路におけるベースバンド信号への同期確立処理のフローチャート
- 。
- 【図 3 1】上記同期確立回路により同期が確立される場合の相関値変動を示す図。
- 【図 3 2】上記同期確立回路により同期が確立されない場合の相関値変動を示す図。
- 【図 3 3】上記実施形態の第 7 の変形例に係る通信システムの同期確立回路のブロック図 40
- 。
- 【図 3 4】上記同期確立回路におけるベースバンド信号への同期確立処理のフローチャート
- 。
- 【図 3 5】上記同期確立回路により同期が確立される場合の相関値変動を示す図。
- 【図 3 6】上記実施形態の第 8 の変形例の通信システムにおける相関値算出方法を説明するための図。
- 【図 3 7】従来フレーム同期処理のフローチャート。
- 【図 3 8】マルチパスフェージングが通信に与える影響について説明するための図。
- 【図 3 9】伝送速度の速い信号がマルチパスに起因して遅延したときの受信器による受信信号を示す図。 50

【図40】伝送速度の遅い信号がマルチパスに起因して遅延したときの受信器による受信信号を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0028】

図1は、本発明の一実施形態に係る通信システムの構成を示す。その通信システム1は、無線方式で通信する送信器2と受信器3とにより構成される。送信器2は、送信対象のデータを変調してシンボル列を生成し、そのシンボル列で構成されるベースバンド信号をアップコンバートしてRF信号に変換し、そのRF信号を無線送信する。ベースバンド信号は、所定データ長のフレーム単位で伝送される。フレームのデータ長は、複数パターンあってもよい。受信器3は、送信器2から送信されたRF信号を受信し、その受信されたRF信号をダウンコンバートすることによりベースバンド信号を取得し、その取得したベースバンド信号を検波し、データを読み取る。

10

【0029】

ところで、送信器2と受信器3との間の通信は無線式であることから、当初、受信器3は、送信器2から信号が送信されるタイミングを知得できておらず、非同期の状態にある。そのため、受信器3においてベースバンド信号からデータを読み取るためには、ベースバンド信号を検波するだけでなく、送信器2と受信器3との間でシンボル同期及びフレーム同期を確立する必要がある。

【0030】

そこで、本実施形態では、図2に示されるように、フレームF1の先頭に同期確立用の低速ユニークワードU1（第1の同期用ビット列）及びユニークワードU2（第2の同期用ビット列）が付加されている。低速ユニークワードU1は、伝送速度がデータD1よりも低くなるように設定され、ユニークワードU2は、伝送速度がデータD1と略同じとなるように設定されている。低速ユニークワードU1は、ユニークワードU2と比べると、伝送速度が低く、シンボル長が長い。送信器2は、低速ユニークワードU1、ユニークワードU2及び送信対象のデータD1をフレーム化して変調し、ベースバンド信号とする。低速ユニークワードU1及びユニークワードU2は、図示のように0と1とを交互に繰り返す信号に限定されない。受信器3は、ベースバンド信号を検波し、その検波したベースバンド信号中の低速ユニークワードU1を検出し、その検出結果に基づいて、ベースバンド信号中のユニークワードU2が存在する範囲を予測する。そして、受信器3は、その予測した範囲内に存在するベースバンド信号と予め記憶している既知のユニークワードU2との相関値に基づいてシンボル同期とフレーム同期とを確立する。以下、単に同期と称する場合は、シンボル同期及びフレーム同期を総じて指すものとする。以下、図1の説明に戻るが、適宜、図2を再び参照する。

20

30

【0031】

送信器2は、低速ユニークワードU1を生成する低速ユニークワード生成回路21（低速ビット列生成部）と、ユニークワードU2を生成するユニークワード生成回路22（ビット列生成部）と、送信回路23（無線送信部）とを有する。低速ユニークワード生成回路21は、低速ユニークワードU1の伝送速度をデータD1の伝送速度の $1/k$ （ $k:1$ よりも大きい数）に設定する。この設定により、低速ユニークワードU1のシンボル周波数はデータD1のシンボル周波数の $1/k$ 倍とされ、低速ユニークワードU1のシンボル長はデータD1のシンボル長の k 倍とされる。シンボル周波数は、1秒間に伝送されるシンボルの数のことである。すなわち、伝送速度が低く設定されることにより、シンボル周波数が低くなり、一方、伝送速度が高く設定されることにより、シンボル周波数が高くなる。ユニークワード生成回路22は、ユニークワードU2の伝送速度をデータD1の伝送速度と略同じに設定するので、ユニークワードU2とデータD1との間でシンボル周波数及びシンボル長は互いに等しくなる。送信回路23は、低速ユニークワードU1、ユニークワードU2及びデータD1をフレーム化し、それらを変調することによりベースバンド信号を生成する。また、送信回路23は、そのベースバンド信号をアップコンバートしてRF信号に変換し、そのRF信号をアンテナ24から受信器3に無線送信する。

40

50

【 0 0 3 2 】

受信器 3 は、送信回路 2 3 により無線送信された R F 信号を受信アンテナ 3 0 を介して受信してダウンコンバートし、ベースバンド信号を取得する受信回路 3 1 (無線受信部) を備える。また、受信器 3 は、受信回路 3 1 により取得されたベースバンド信号を A D 変換する A D コンバータ 3 2 (サンプリング部) を備える。さらに、受信器 3 は、A D コンバータ 3 2 を通過したベースバンド信号への同期を確立する同期回路 3 3 と、同期回路 3 3 により同期が確立されたベースバンド信号を処理する信号処理回路 3 4 とを備える。

【 0 0 3 3 】

A D コンバータ 3 2 は、ベースバンド信号を A D 変換する際、ユニークワード U 2 及びデータ D 1 のシンボル周波数よりも高いサンプリング周波数で、ベースバンド信号をオーバサンプリングする。そして、A D コンバータ 3 2 は、そのオーバサンプリングにより得られるベースバンド信号のサンプル値を、M (M : 2 以上の整数) ビットで量子化する。

【 0 0 3 4 】

ここで、A D コンバータ 3 2 のサンプリング処理について図 3 を参照して説明する。図 3 には、サンプリング対象がユニークワード U 2 である場合と、サンプリング対象がデータ D 1 である場合を示す。これら 2 つの場合のサンプリング処理は共通する。A D コンバータ 3 2 は、ユニークワード U 2 及びデータ D 1 の各々の 1 シンボル S b を複数のタイミングでサンプリング可能な複数のサンプリングタイミングでもって、ベースバンド信号 B 1 全体をサンプリングする。詳しくは、A D コンバータ 3 2 は、ベースバンド信号 B 1 の信号値を、1 シンボル S b につき、例えば 4 つのサンプリングタイミング (0) ~ (3) でサンプリングする (4 倍サンプリング)。それらのサンプリングタイミング (0) ~ (3) は時間的に等間隔にずれており、4 倍サンプリングの場合、その間隔はシンボル S b の周期の 1 / 4 であり、すなわち、ベースバンド信号 B 1 がシンボル S b の周波数の 4 倍の周波数でサンプリングされる。1 シンボル S b に対するサンプリングタイミングの数は、上記 4 つに限定されず、複数であればよい。本実施形態では、サンプリングタイミング (0) ~ (3) の中から、シンボル S b の値を正確に捉え得るサンプリングタイミングが検出され、そのサンプリングタイミングがシンボル同期タイミングに設定され、それにより、シンボル同期が確立される。

【 0 0 3 5 】

図 4 に示されるように、低速ユニークワード U 1 のシンボル長 T 1 はデータ D 1 及びユニークワード U 2 のシンボル長 T 2 の k 倍である。従って、上述した 4 倍サンプリング処理により、低速ユニークワード U 1 は、1 シンボルにつき $4 \times k$ 個のサンプリングタイミングでサンプリングされる。なお、低速ユニークワード U 1 及びユニークワード U 2 は、図示されたビット数に限定されない。以下、図 1 の説明に戻る。

【 0 0 3 6 】

同期回路 3 3 は、受信回路 3 1 により受信されたベースバンド信号を検波する検波回路 3 5 (検波部) と、検波回路 3 5 により検波されたベースバンド信号中の低速ユニークワード U 1 を検出する低速ユニークワード検出回路 3 6 (低速ビット列検出部) とを有する。検波回路 3 5 は、A D コンバータ 3 2 により量子化されたベースバンド信号のサンプル値列を遅延検波等により検波 (復号) する。低速ユニークワード検出回路 3 6 は、低速ユニークワード U 1 の検出結果に基づいて、ベースバンド信号におけるユニークワード U 2 が存在する範囲を予測する。また、同期回路 3 3 は、低速ユニークワード検出回路 3 6 により予測された範囲内に存在するベースバンド信号と予め記憶している既知のユニークワード U 2 との相関値を算出する同期確立回路 3 7 (同期確立部) を有する。同期確立回路 3 7 は、その算出された相関値に基づいてシンボル同期及びフレーム同期を確立する。

【 0 0 3 7 】

図 5 は、低速ユニークワード検出回路 3 6 の構成を示す。低速ユニークワード検出回路 3 6 は、ビット列抽出回路 (以下、抽出回路という) 3 6 a、記憶回路 3 6 b、相関値算出回路 (以下、算出回路という) 3 6 c、閾値設定回路 3 6 d、比較回路 3 6 e 及び予測回路 3 6 f を有する。

【0038】

抽出回路36aは、検波回路35により検波されたサンプル値列から、 $4 \times k$ 個のサンプリングタイミングのサンプル値列をサンプリングタイミング毎に抽出する。その抽出されるサンプル値列のサンプル値の数は、低速ユニークワードU1のビット数と同じ数に設定されている。記憶回路36bは、既知の低速ユニークワードU1のビット列を予め記憶している。

【0039】

算出回路36cは、抽出回路36aにより抽出されたサンプル値列と、記憶回路36bに予め記憶されている低速ユニークワードU1のビット列との相関値をサンプリングタイミング毎に算出する。算出回路36cは、抽出回路36aにより抽出されたサンプル値列と、記憶回路36bに記憶されている低速ユニークワードU1とにおいて、時系列順で同じ順番のサンプル値とビット値とを乗算し、それらの乗算結果の総和を算出し相関値とする。このとき、実際の演算においては、サンプル値列と低速ユニークワードU1との乗算に相当する信号処理が実行される。算出回路36cにより算出される相関値は、抽出回路36aにより抽出されるサンプル値列が低速ユニークワードU1のビット列に近づくほど、高くなる。記憶回路36bに予め記憶されている低速ユニークワードU1の各ビットの値は、0又は1の2値で構成される理想値である。この2値の0と1とは、それぞれ、算出回路36cにおける所定の信号処理にて、絶対値が同じで正負の符号が異なる2値、例えば-1と+1と同じ扱いになるように変換される。この変換処理のなされた値がビットの値として算出回路36cによる相関値算出処理に用いられる。

【0040】

閾値設定回路36dは、不図示の操作部又はインタフェース部からの入力に基づき、相関値の閾値を予め設定している。その設定された閾値(以下、第1設定閾値という)は、取り得る最大の相関値(理想相関値)の絶対値に1以下の係数、例えば0.7を乗じた値となるように信号処理で制御される。第1設定閾値をそのような値とする理由は、受信信号波形が歪んで相関値が小さくなったとしても、第1設定閾値は、低速ユニークワードU1の相関値とノイズの相関値との区別が可能なレベルであれば、理想相関値と完全に一致していなくてもよいからである。比較回路36eは、算出回路36cにより算出された相関値と第1設定閾値とをサンプリングタイミング毎に比較し、その算出された相関値が第1設定閾値以上であるか否かを判断する。比較回路36eにより、相関値が第1設定閾値以上であると判断されたとき、予測回路36fは、低速ユニークワードU1が検出されたと認識し、ベースバンド信号中のユニークワードU2が存在する範囲を予測する。

【0041】

図6は、同期確立回路37の構成を示す。同期確立回路37は、ビット列抽出回路(以下、抽出回路という)37a、記憶回路37b、相関値算出回路(以下、算出回路という)37c、最大値抽出回路(以下、抽出回路という)37d、同期検出回路37e及び同期設定回路37fを有する。

【0042】

抽出回路37aは、予測回路36fによる予測範囲内のベースバンド信号のサンプル値列から、各サンプリングタイミング(0)~(3)のサンプル値列をサンプリングタイミング毎に抽出する。その抽出されるサンプル値列のサンプル値数は、ユニークワードU2のビット数と同じである。記憶回路37bは、既知のユニークワードU2を予め記憶している。

【0043】

ところで、抽出回路37aにより抽出される各サンプリングタイミング(0)~(3)のサンプル値列は、サンプリングタイミング毎に、ユニークワードU2を1シンボルにつき1回サンプリングして得たサンプル値列である。算出回路37cは、それらのサンプル値列と、記憶回路37bに予め記憶されているユニークワードU2のビット列との相関値をサンプリングタイミング毎に算出する。この算出処理において、算出回路37cは、上記サンプル値列とユニークワードU2とにおいて、時系列順で同じ順番のサンプル値とビ

10

20

30

40

50

ット値とを乗算し、それらの乗算結果の総和を算出して相関値とする。このとき、実際の演算においては、上記サンプル値列とユニークワードU2との乗算に相当する信号処理が実行される。算出回路37cにより算出される相関値は、上記サンプル値列がユニークワードU2に近いほど、高くなる。記憶回路37bに予め記憶されているユニークワードU2の各ビットの値は、0又は1の2値で構成される理想値である。この2値の0と1とは、それぞれ、算出回路37cにおける所定の信号処理にて、絶対値が同じで正負の符号が異なる2値、例えば-1と+1と同じ扱いになるように変換される。この変換処理のなされた値がビットの値として算出回路37cによる相関値算出処理に用いられる。

【0044】

抽出回路37dは、算出回路37cにより算出された相関値のうち、予測回路36fによる予測範囲内で最大となった相関値を抽出する。同期検出回路37eは、抽出回路37dにより抽出された相関値のサンプリングタイミングをシンボル同期タイミングとして検出する。また、同期検出回路37eは、相関値が上記予測範囲内で最大となったタイミングをフレーム同期タイミングとして検出する。

【0045】

同期設定回路37fは、同期検出回路37eによりシンボル同期タイミングとして検出されたサンプリングタイミングを、検波回路35により検波されたベースバンド信号のシンボル同期タイミングに設定する。また、同期設定回路37fは、同期検出回路37eによりフレーム同期タイミングとして検出されたタイミングを、検波回路35により検波されたベースバンド信号のフレーム同期タイミングに設定する。このようにして、同期設定回路37fは、算出回路37cにより算出された相関値に基づいてシンボル同期タイミング及びフレーム同期タイミングを設定し、同期を確立する。

【0046】

同期設定回路37fは、同期確立後、シンボル同期タイミングの検波後の各サンプル値を、検波後のベースバンド信号の各シンボル値として抜き出し、出力する。例えば、サンプリングタイミング(0)~(3)のうち、サンプリングタイミング(1)がシンボル同期タイミングに設定された場合、同期設定回路37fは、サンプリングタイミング(1)でサンプリングされる各サンプル値を、シンボル値として出力する。従って、同期設定回路37fから出力される信号は、検波後のベースバンド信号をシンボル周波数の1倍の周波数でサンプリングしたサンプル値列(ベースバンド信号を1倍サンプリングしたサンプル値列)となる。同期設定回路37fは、他のサンプリングタイミングのサンプル値列、すなわち、上記の例におけるサンプリングタイミング(0)、(2)、(3)のサンプル値列については出力しない。従って、同期設定回路37fの出力に対する後段の処理は、1つのサンプリングタイミングに対してのみでよくなり、処理負荷が軽減される。

【0047】

図7は、算出回路36cによる相関値の算出手法を示す。算出回路36cは、抽出回路36aにより抽出されたサンプル値列について、Mビットで量子化されているサンプル値を-1又は1の2値に置き換え、サンプル値列と低速ユニークワードU1との相関値を算出する。この算出処理においては、検波後のサンプル値を2値化により硬判定した結果が用いられる。本実施形態においては、上記算出処理で、回路規模縮小化のため硬判定を実施しているが、検波後のサンプル値を2値化せずにそのままの値で用いる軟判定であってもよい。低速ユニークワードU1は、図示のビット数に限定されない。

【0048】

図8は、算出回路37cによる相関値の算出手法を示す。算出回路37cは、抽出回路37aにより抽出されたサンプル値列について、Mビットで量子化されているサンプル値を-1又は1の2値に置き換えることなく、そのままの値で用いて、サンプル値列とユニークワードU2のビット列との相関値を算出する。この算出処理では、検波後のサンプル値を軟判定することにより量子化された検波後のサンプル値がそのまま用いられることから、そのサンプル値が2値のいずれであるかについての確かさがそのまま用いられる。ユニークワードU2は、図示のビット数に限定されない。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 9 】

次に、通信システム 1 における通信処理について、図 1 及び図 2 に加えて、図 9 及び図 10 を参照して説明する。図 9 は、送信器 2 の各回路の連携による信号の送信ステップを示し、図 10 は、受信器 3 の各回路の連携による受信ステップを示す。

【 0 0 5 0 】

図 9 に示されるように、低速ユニークワード生成回路 2 1 は、低速ユニークワード U 1 を生成し (S 1 1 ; 低速ビット列生成ステップ)、ユニークワード生成回路 2 2 は、ユニークワード U 2 を生成する (S 1 2 ; ビット列生成部)。その後、送信回路 2 3 は、低速ユニークワード U 1、ユニークワード U 2 及びデータ D 1 をフレーム化し、変調してベースバンド信号を生成する (S 1 3 ; 無線送信ステップ)。そして、送信回路 2 3 は、ベースバンド信号をアップコンバートして R F 信号に変換し、その R F 信号を無線送信する (S 1 4 ; 無線送信ステップ)。その無線送信の際、低速ユニークワード U 1、ユニークワード U 2 及びデータ D 1 は、この順に送信される。

10

【 0 0 5 1 】

図 10 に示されるように、受信回路 3 1 は、R F 信号を受信し、その受信した R F 信号をダウンコンバートして、ベースバンド信号を取得し (S 2 1 ; 無線受信ステップ)、A D コンバータ 3 2 は、その取得されたベースバンド信号を A D 変換する (S 2 2)。検波回路 3 5 は、その A D 変換後のベースバンド信号を検波する (S 2 3 ; 検波ステップ)。そして、低速ユニークワード検出回路 3 6 が、S 2 3 で検波されたベースバンド信号中の低速ユニークワード U 1 を検出したとする (S 2 4 で Y e s)。そのとき、低速ユニークワード検出回路 3 6 は、その検出結果に基づいて、ベースバンド信号におけるユニークワード U 2 が存在する範囲を予測する (S 2 5 ; 低速ビット列検出ステップ)。同期確立回路 3 7 は、S 2 5 による予測範囲内に存在するベースバンド信号とユニークワード U 2 のビット列との相関値を算出し、その算出された相関値に基づいてシンボル同期及びフレーム同期を確立する (S 2 6 ; 同期確立ステップ)。

20

【 0 0 5 2 】

次に、同期確立回路 3 7 の各回路の連携による同期確立処理について、図 2、図 3、図 5 及び図 6 に加えて、図 11 を参照して説明する。図 11 は、その同期確立処理の手順を示す。ここで、ユニークワード U 2 のビット数を N とする。

【 0 0 5 3 】

抽出回路 3 7 a は、予測回路 3 6 f による予測範囲内のベースバンド信号のサンプル値列から、各サンプリングタイミング (0) ~ (3) につき、N ビットのサンプル値列を順次抽出する (S 3 1)。算出回路 3 7 c は、S 3 1 で抽出されたサンプル値列と、記憶回路 3 7 b に予め記憶されているユニークワード U 2 のビット列との相関値を算出する (S 3 2)。相関値の算出はサンプリングタイミング毎に実行される。

30

【 0 0 5 4 】

抽出回路 3 7 d は、S 3 2 で算出された相関値のうち、上記予測範囲内で最大となった相関値を抽出する (S 3 3)。同期検出回路 3 7 e は、S 3 3 で抽出された相関値のサンプリングタイミングをシンボル同期タイミングとして検出する。また、同期検出回路 3 7 e は、相関値が上記予測範囲内で最大となったタイミングをフレーム同期タイミングとして検出する (S 3 4)。同期設定回路 3 7 f は、検波回路 3 5 による検波後のサンプル値列に対して、S 3 4 で検出されたシンボル同期タイミング及びフレーム同期タイミングを設定し、同期を確立する (S 3 5 ; 同期確立ステップ)。

40

【 0 0 5 5 】

本実施形態において、低速ユニークワード U 1 は、ユニークワード U 2 及びデータ D 1 と比べて、伝送速度が遅く、シンボル長が長くなる。そのため、低速ユニークワード U 1 の受信信号波形がマルチパスフェージングに起因して歪んでしまったとしても、シンボル長に対する受信信号波形の歪みをユニークワード U 2 よりも相対的に小さくすることができる。従って、マルチパスフェージングによる低速ユニークワード U 1 への影響を少なくすることができる。その結果として、低速ユニークワード U 1 を正確に検出することがで

50

き、その検出に基づいて、ユニークワードU2が存在する範囲を予測することで、ユニークワードU2の検出の正確さが増す。従って、その予測範囲内のベースバンド信号と既知のユニークワードU2との相関値を基に同期を確立しようとするすることで、図12に示すように予測範囲A1外で相関値が予測範囲A1内の最大値 C_{max} と同じになっても、そのタイミングでの誤同期を防止できる。そのため、誤同期の確率を低減することができ、同期確立精度を向上させることができる。また、図12では、フレームF1受信中の誤同期が防止される例を示したが、その例と同様に、フレームF1を受信していないときの雑音等に起因する誤同期も防止できる。また、同期確立精度の向上に必要な処理は、OFDM方式等のマルチキャリア技術と比べて簡単で済み、その結果、回路規模を小さくすることができ、また、回路の低コスト化を図ることができる。なお、予測範囲A1は、ユニークワードU2全体が存在し得る範囲であるが、実際に相関値が最大となるのは、ユニークワードU2を全て受信し終えたタイミングとなる。そのため、上記図12では、予測範囲A1を、ユニークワードU2の最後のシンボル付近に示す。

10

【0056】

また、サンプリングタイミング(0)~(3)のうち、いずれかのサンプリングタイミングの相関値が予測範囲A1内で最大になれば、そのサンプリングタイミングがシンボル同期タイミングに設定される。そして、その相関値が最大になったタイミングがフレーム同期タイミングに設定される。従って、シンボル同期もフレーム同期も同時に確立することができ、それらの同期確立に必要な時間を短縮することができ、処理を高速化することができる。また、シンボル同期を確立するのに、ベースバンド信号の先頭に、1と0とを交互に繰り返す信号を配置してゼロクロスを検出する必要がなくなる。従って、1と0とを交互に繰り返す信号が不要になると共に、ゼロクロス検出回路を設けなくて済む。また、ノイズの影響により相関値が減少した場合であっても、同期を確立することができる。

20

【0057】

また、検波後のベースバンド信号のサンプル値列において、サンプル値はMビットで量子化されており、算出回路37cにより、2値化されずにそのままの値で用いられ、相関値が算出される。従って、マルチパスフェージングに起因して受信ベースバンド信号波形が歪んだとしても、量子化されたサンプル値を2値に変換してから相関値を算出する場合と比べ、2値化時の丸め込みによる相関値の誤差が無くなる。従って、相関値に基づいてなされる同期確立の精度向上を図ることができる。また、同期確立の精度向上に必要な処理は、OFDM方式等のマルチキャリア技術と比べて簡単で済み、従って、回路規模を小さくすることができ、また、回路の低コスト化を図ることができる。

30

【0058】

算出回路37cの算出手法による効果をさらに説明する。その算出手法の比較対象として、サンプル値を、閾値を0として1又は-1の2値に置き換え、いわゆる硬判定をしてから算出した相関値の例を2つ、図13(a)(b)に示す。これらの例において、ユニークワードU2のビット列は1、-1、1の3ビット構成とする。ユニークワードU2の各ビットの値及びビット数はこれに限定されない。以下、サンプル値を2値に置き換えて相関値を算出する方法を2値化算出手法と呼ぶこととする。

【0059】

図13(a)は、抽出されたサンプル値列が、受信信号中のユニークワードU2のサンプル値列であって、例えば0.8、-0.3、-0.1である場合を示す。この例において、サンプル値-0.1は、理想値が1であり、理想値と比べて符号が反転しているが、閾値との差は0.1だけである。しかしながら、サンプル値-0.1は、0を閾値とした-1又は1への2値化により-1に丸め込まれて、閾値との差は1と見なされる。その結果、抽出されたサンプル値列の相関値は1.0になる。

40

【0060】

一方、図13(b)は、抽出されたサンプル値列が、受信信号中のユニークワードU2ではない他の信号のサンプル値列であって、例えば0.8、-0.3、-0.7である場合を示す。この場合の相関値も1.0になる。

50

【 0 0 6 1 】

これらの結果に示されるように、2値化算出手法では、ユニークワードU2を受信したときの相関値と、他の信号を受信したときの相関値との差が小さくなることがあり、上記の例が示す通り、時には0になる。従って、受信信号においてユニークワードU2と他の信号とを識別し難いことがあり、誤同期の生じる虞がある。

【 0 0 6 2 】

これに対して、算出回路37cの算出手法では、図13(a)(b)と同じ条件であっても、図13(c)(d)に示されるように、相関値は、それぞれ、1.0、0.4となり、それぞれの場合の相関値の差が0.6になる。この結果に表されるように、本実施形態の演算手法では、ユニークワードU2を受信したときの相関値と、他の信号を受信した

10

【 0 0 6 3 】

ところで、2値化算出手法においては、図14(a)(b)に示されるように、サンプル値が例えば0.8、-0.3、0.1であっても、又は0.9、-0.9、0.9であっても、相関値は3.0になり、同じになる。相関値の第1設定閾値を例えば2.0とした場合、図14(a)(b)のサンプリングタイミングでは共に相関値が第1設定閾値以上となることから、いずれのサンプリングタイミングが良いかを判断できない。後者のサンプリングタイミングのサンプル値列の方がユニークワードU2に近いので、そのサンプル値列が抽出されたタイミングを同期タイミングに設定する方がより適切である。しかし

20

【 0 0 6 4 】

一方、本実施形態の演算手法においては、図14(c)(d)に示されるように、上記2例の場合の相関値はそれぞれ、1.2、2.7になり、いずれのサンプリングタイミングを選択すれば良いかを判断することができる。このように、本実施形態の演算手法では、サンプル値列に応じて、細かく相関値が算出されるので、その相関値に基づいて、より適切なタイミングを同期タイミングとして設定でき、従って、同期精度がさらに高くなる。

【 0 0 6 5 】

なお、上記の図14(a)(c)はそれぞれ、図13(a)(c)において-0.1のサンプル値が、代わりに、0.1であって、より理想値1に近かった場合を示している。図14(a)に示されるように、2値化算出手法の場合、サンプル値が0.2だけしか理想値に近づいていないにも係らず、相関値は、2.0(=3.0-1.0)も増える。一方、図14(c)に示されるように、本実施形態の演算手法の場合には、相関値が1.2になり、相関値の増加分は0.2(=1.2-1.0)にとどまる。

30

【 0 0 6 6 】

この2例を比べて分かるように、2値化算出手法では、サンプル値が閾値付近で少し変わるだけで、相関値が大幅に上昇することがあり、そのため、それほど適切でないタイミングが同期タイミングに設定されてしまい、同期精度が低下する虞がある。一方、本実施形態の演算手法では、サンプル値に応じて適正に相関値が算出されることから、より適切な

40

【 0 0 6 7 】

次に、上記実施形態の各変形例について図面を参照して説明する。上記実施形態と同一の構成には同一の符号を付し、その構成について説明する際は、適宜、図1乃至図6を再び参照する。以下、上記実施形態と相違する構成及び処理についてのみ説明する。

【 0 0 6 8 】

(第1の変形例)

図15は、第1の変形例に係る通信システムの受信器3による受信信号、及びその受信信号とユニークワードU2のビット列との相関値を示す。本変形例において、ユニークワードU2は、疑似ランダム信号、例えば15ビットのM系列により構成される。M系列の

50

ビット数はこれに限定されない。送信器 2 の送信回路 2 3 は、ユニークワード U 2 である M 系列を連続して繰り返し送信し、例えば 3 回続けて送信する。連続送信される M 系列は互いに同じ信号である。受信器 3 の受信回路 3 1 は、M 系列を連続して 3 回受信する。受信器 3 の記憶回路 3 7 b は、送信回路 2 3 から送信される M 系列と同一の M 系列全体又はその一部をユニークワード U 2 として予め記憶しており、算出回路 3 7 c は、その M 系列と、受信回路 3 1 による受信信号のサンプル値列との相関値を算出する。

【 0 0 6 9 】

M 系列は、1 と 0 の 2 値で構成されており、0 の数が 1 の数よりも 1 つだけ多い。この 2 値の 0 と 1 とは、それぞれ、算出回路 3 7 c における所定の信号処理にて、絶対値が同じで正負の符号が異なる 2 値、例えば - 1 と + 1 と同じ扱いになるように変換される。その変換後の M 系列の各ビットの総和を求めると、その総和は - 1 になる。そして、M 系列と、その M 系列を巡回シフトさせた M 系列とについては、互いに同じ順のビット同士を乗算すると、その乗算により得られるビット列が、元の M 系列をさらに巡回シフトさせたものと同じになるという特性がある。そのため、そのビット列の各ビットの総和も - 1 になる。

10

【 0 0 7 0 】

予測回路 3 6 f は、低速ユニークワード U 1 の検出時に、ベースバンド信号中の 2 つ目の M 系列が存在する範囲を予測する。ここで、その予測範囲を A 2 とする。その予測範囲 A 2 内のベースバンド信号の受信中、ベースバンド信号内の M 系列が理想的な値のままであれば、2 つ目の M 系列の受信時に、ベースバンド信号とユニークワード U 2 とが一致し、M 系列の上記特性により、相関値は 1 5 になる。一方、その受信時の前後では、相関値は、M 系列とその M 系列を巡回シフトさせたものをビット毎に乗算して得たビット列の各ビットの総和になることから、その相関値は - 1 になる。なお、予測範囲 A 2 は、2 つ目の M 系列全体が存在し得る範囲であるが、実際に相関値が最大となるのは、その M 系列を全て受信し終えたタイミングであるので、上記図 1 5 では、予測範囲 A 2 を、2 つ目の M 系列の最後のシンボル付近に示す。

20

【 0 0 7 1 】

ここで、本変形例の比較例を図 1 6 に示す。図 1 6 に示されるように、送信器が M 系列を 1 回だけ送信し、その前後にはその他の信号を送信した場合、受信器による M 系列の受信タイミング A 3 での相関値は 1 5 になる。しかしながら、その受信時の前後では相関値が乱れ、M 系列の受信時以外でも相関値が大きくなってしまふ可能性がある。

30

【 0 0 7 2 】

このような例と比べて、本変形例では、受信器 3 がユニークワード U 2 (M 系列) を受信したときの相関値と、その他の信号を受信したときの相関値 (一致度) との差が確実に大きくなる。特に、受信器 3 が 3 つのユニークワード U 2 を連続して受信する場合に、2 つ目のユニークワード U 2 を受信したときの相関値と、その前後の他の信号を受信したときの相関値との差が確実に大きくなる。従って、マルチパスフェージング又は雑音等に起因してその差が多少小さくなったとしても、ユニークワード U 2 の存在を予測する範囲を例えば 2 つ目のユニークワード U 2 が存在し得る範囲に限定することで、ユニークワード U 2 と他の信号とを確実に判別できる。そのため、同期精度の向上を図ることができる。

40

【 0 0 7 3 】

(第 2 の変形例)

図 1 7 は、第 2 の変形例に係る通信システム 1 の同期確立回路 3 7 の構成を示す。その同期確立回路 3 7 は、例えば 4 つのタイミング別相関値算出回路 (以下、算出回路という) 3 7 g を有する。それらの算出回路 3 7 g は、予測回路 3 6 f (上記図 5 を参照) による予測範囲内で、複数のサンプリングタイミング、詳しくはサンプリングタイミング (0) ~ (3) の相関値をそれぞれ算出し、それらの相関値の算出処理を並列的に実行する。

【 0 0 7 4 】

算出回路 3 7 g は、それぞれ、サンプリングタイミング (0) ~ (3) に対応付けられ、上記の抽出回路 3 7 a、記憶回路 3 7 b 及び算出回路 3 7 c により構成される。抽出回

50

路 37a は、レジスタ 37h を有する。抽出回路 37a は、それぞれ、予測回路 36f による予測範囲内から、サンプリングタイミング (0) ~ (3) のうち、算出回路 37g に対応付けられたサンプリングタイミングのサンプル値列だけを抽出し、レジスタ 37h に格納する。記憶回路 37b は、図示のように、各算出回路 37g にそれぞれ設けられていてもよいし、1つの記憶回路 37b をそれらの算出回路 37g で共用されていてもよい。算出回路 37c は、それぞれ、レジスタ 37h に格納されたサンプル値列と、記憶回路 37b に予め記憶されているユニークワード U2 のビット列との相関値を算出する。

【0075】

本変形例における同期確立処理について図 18 及び図 19 を参照して説明する。図 18 は、その同期確立処理の一部を成す相関値算出処理を示す。同図では、各サンプリングタイミング (0) ~ (3) に対応付けられた算出回路 37g のレジスタ 37h を、それぞれ、レジスタ (0) ~ (3) として表記する。図 19 は、上記同期確立処理全体の手順を示す。その同期確立処理は、上記図 11 に示した同期確立処理において、S31、S32 の処理を S41、S42 の処理に変更したものである。

10

【0076】

本変形例における同期確立処理では、4つの抽出回路 37a が、予測回路 36f による予測範囲内から、各サンプリングタイミング (0) ~ (3) の N ビットのサンプル値列をサンプリングタイミング毎に並列的に順次抽出する。それらの抽出回路 37a は、抽出した各サンプリングタイミング (0) ~ (3) のサンプル値列をそれぞれレジスタ (0) ~ (3) に格納する (図 18 の (a)、図 19 の S41)。4つの算出回路 37c は、それら格納されたサンプリングタイミング (0) ~ (3) のサンプル値と、記憶回路 37b に記憶されているユニークワード U2 のビット列との相関値をサンプリングタイミング毎に並列的に算出する (図 18 の (b)、図 19 の S42)。

20

【0077】

本変形例においては、相関値算出処理がサンプリングタイミング毎に独立してなされるので、処理のアルゴリズムをシンプル化することができ、開発が容易になる。また、相関値算出処理がサンプリングタイミング毎に並列的になされるので、ユニークワード U2 は 1 つで済み、また、全サンプリングタイミングの相関値算出に要する時間を短縮することができ、処理全体の高速化を図ることができる。

【0078】

(第3の変形例)

図 20 は、第3の変形例の通信システム 1 におけるベースバンド信号のフレーム構成を示す。後述するが、本変形例では、受信器 3 の同期確立回路 37 が 1 ユニークワード U2 の長さ毎に、相関値を算出するサンプリングタイミングを切り替える。そこで、同期確立回路 37 が全てのサンプリングタイミング (0) ~ (3) の相関値を算出できるようにするため、送信器 2 の送信回路 23 は、1 フレーム F1 にサンプリングタイミング (0) ~ (3) の数以上、ユニークワード U2 を挿入する。1 シンボル S_b あたりのサンプリングタイミングの数を n (n: 2 以上の整数、本変形例では 4) とすると、n 個以上のユニークワード U2 が 1 フレーム F1 に挿入される。送信器 2 は、それらのユニークワード U2 を連続して送信する。

30

40

【0079】

本変形例でも、ユニークワード U2 が上記第1の変形例と同様に M 系列により構成され、M 系列の特性を利用して同期精度の向上を図るため、n 個のユニークワード U2 の前後に 1 つずつユニークワード U2 が追加される。その結果、送信回路 23 は、1 フレーム F1 で、計 (n + 2) 個 (本変形例では 6 個) のユニークワード U2 を連続して送信する。

【0080】

図 21 は、本変形例における同期確立回路 37 の構成を示す。その同期確立回路 37 は、上記図 6 に示した構成に、タイミング設定回路 (以下、設定回路という) 37i (タイミング設定部) を追加したものである。本変形例では、予測回路 36f (上記図 5 を参照) が、低速ユニークワード U1 の検出時に、ベースバンド信号の中で、上記 6 つのユニーク

50

クワードU2のうち、2つ目から5つ目のユニークワードU2が存在する範囲を予測する。設定回路37iは、予測回路36fによる予測範囲A2(上記図20を参照)の中で、サンプリングタイミング(0)~(3)のうち、抽出回路37aによりサンプル値を抽出するサンプリングタイミングを、1ユニークワードU2の長さ毎に順に切り替える。この長さは、1ユニークワードU2の送信に掛かる期間である。また、設定回路37iは、算出回路37cにより相関値を算出するサンプリングタイミングを上記長さ毎に切り替える。

【0081】

図22は、本変形例における同期確立処理の手順を示す。その同期確立処理は、上記図11に示した同期確立処理において、S31、S32の処理をS51~S56の処理に変更したものである。

10

【0082】

設定回路37iは、サンプリングタイミングを変数*i*とし、 $i = 0$ に設定する(S51)。抽出回路37aは、予測回路36fによる予測範囲A2の中で、サンプリングタイミング(*i*)のNビットのサンプル値列を、1シンボルSb分ずつ順次シフトして抽出する(S52)。算出回路37cは、その抽出したサンプリングタイミング(*i*)のサンプル値列と、記憶回路37bに予め記憶されたユニークワードU2のビット列との相関値を算出する(S53)。S52でのシフト量が1ユニークワードU2の長さに相当し(S54でYes)、かつ、変数*i*が2以下、すなわち($n - 2$)以下であれば(S55でYes)、設定回路37iは、変数*i*をインクリメントし(S56)、処理はS52に戻る。変数*i*が3、すなわち($n - 1$)になれば(S55でNo)、S33の処理に進む。

20

【0083】

本変形例においては、サンプリングタイミング(0)~(3)と同じ数だけ受信するユニークワードU2から、それぞれ、異なるサンプリングタイミング(0)~(3)のサンプル値列を抽出することができる。従って、抽出されたサンプル値列から同期確立に必要な相関値を算出する算出回路37cは、サンプリングタイミングの数だけ設ける必要はなく、1つで済む。そのため、回路規模を小さくすることができ、また、製造コストの低減を図ることができる。

【0084】

(第4の変形例)

図23に示すように、上記第3の変形例において、相関値算出対象のサンプリングタイミングを順次切り替えたとき、サンプリングタイミング(0)~(3)の全てについて相関値が略正しいタイミングで最大になったとする。その場合、サンプリング(0)~(3)における相関値が最大になるタイミングの間隔をそれぞれ T_A 、 T_B 、 T_C とすると、 T_A T_B T_C となる。

30

【0085】

一方、図24に示すように、例えばサンプリングタイミング(1)について相関値が誤ったタイミングで最大になった場合、 T_A T_B T_C となる。ここで、仮にその相関値が予測回路36fによる予測範囲内でも最大であったとする。その場合、その相関値に基づいて誤ったタイミングで同期が確立されてしまう。第4の変形例は、そのような誤同期を防止可能な構成とされている。

40

【0086】

図25は、第4の変形例に係る通信システム1の同期確立回路37の構成を示す。その同期確立回路37は、上記図21に示した第3の変形例の構成に、タイミング間隔検出回路(以下、検出回路という)37j(タイミング間隔検出部)を追加した構成を有する。その検出回路37jは、各サンプリングタイミング(0)~(3)について(サンプリングタイミング毎に)、相関値が最大値となり予測回路36fによる予測範囲内の最大値候補となるタイミングを検出し、それらのタイミング間隔を計測する。

【0087】

ここで、検出回路37jにより計測されたタイミング間隔が規定範囲内になかったとす

50

る。その場合、同期検出回路 37 e は、各サンプリングタイミング (0) ~ (3) のうち、本来とは異なるタイミングで相関値が最大となったサンプリングタイミングの最大の相関値を上記予測範囲内の最大値候補から除外する。上記規定範囲には、タイミング間隔の上限値と下限値とが設定されている。ここで、除外対象の最大値の一検出例を説明する。例えば、上記図 2 4 に示す場合、 T_A 、 T_B が規定範囲に収まらず、 T_C が規定範囲に収まり、 $(T_A + T_B) / 2 < T_C$ となる。そのため、 T_A の終点となって T_B の始点となるタイミングで得られた最大値、すなわち、サンプリングタイミング (1) の最大の相関値が除外対象に該当することを検出できる。除外対象の最大値は、上記検出方法に限定されず、タイミング間隔に基づいて検出できる。

【0088】

抽出回路 37 d は、残った最大値候補の中で最も大きい最大値候補を上記予測範囲内の最大値として抽出する。同期検出回路 37 e は、抽出回路 37 d により抽出された最大値のサンプリングタイミングをシンボル同期タイミングとして検出し、その最大値が得られたタイミングをフレーム同期タイミングとして検出する。

【0089】

図 2 6 は、本変形例における同期確立処理の手順を示す。その同期確立処理は、上記図 2 2 に示した第 3 の変形例の同期確立処理において、S 5 3 と S 5 5 の処理の間に S 6 1 の処理を追加し、S 5 5 と S 3 3 の処理の間に S 6 2 ~ S 6 4 の処理を追加したものである。S 5 3 の処理後、検出回路 37 j は、各サンプリングタイミング (0) ~ (3) で相関値が最大値となり予測回路 36 f による予測範囲内の最大値候補となったタイミングを検出し (S 6 1)、それらのタイミング間隔を計測する (S 6 2)。S 6 2 で計測されたタイミング間隔が規定範囲内でない場合 (S 6 3 で Yes)、抽出回路 37 d は、本来とは異なるタイミングで相関値が最大値となったサンプリングタイミング (0) ~ (3) の最大値を上記予測範囲内の最大値候補から除外する。この最大値は、この最大値が得られたタイミングと他の最大値候補が得られたタイミングとの間隔が規定範囲外の最大値である (S 6 4)。その後、S 3 3 の処理で、抽出回路 37 d は、残った最大値候補の中で最も大きい最大値候補を上記予測範囲内の最大値として抽出する。

【0090】

本変形例において、相関値を算出するサンプリングタイミングを順次切り替えたとき、サンプリングタイミング (0) ~ (3) のいずれかについて相関値が本来とは異なる誤ったタイミングで最大になったとする。そのような場合であっても、そのサンプリングタイミングがシンボル同期タイミングに設定される可能性を低くすることができ、その相関値が最大となったタイミングがフレーム同期タイミングに設定される確率を低減することができる。従って、誤同期の発生を抑制することができる。

【0091】

(第 5 の変形例)

第 5 の変形例に係る通信システム 1 は、上記第 2 の変形例と上記第 3 の変形例とを組み合わせたような構成である。ここで、サンプリングタイミングの数 $n = m \times p$ (m 、 p : 2 以上の整数) とする。

【0092】

図 2 7 は、本変形例における同期確立回路 37 の構成を示す。その同期確立回路 37 は、上記第 2 の変形例の算出回路 37 g (上記図 1 7 参照) と同様に構成された算出回路 37 g を p (本変形例では 2) 個と、上記第 3 の変形例の設定回路 37 i (上記図 2 1 を参照) と同様に構成された設定回路 37 i とを有する。 p 個の算出回路 37 g は、それぞれ、予測回路 36 f (上記図 5 を参照) による予測範囲内で p 個のサンプリングタイミングの相関値を算出し、その相関値の算出処理を並列的に実行する。設定回路 37 i は、 p 個の相関値算出部により相関値が算出されるサンプリングタイミングを、上記予測範囲内でユニークワード U 2 の長さ毎に順に切り替える。

【0093】

図 2 8 は、本変形例におけるベースバンド信号のフレーム構成を示す。本変形例では、

10

20

30

40

50

上記の切替えが実行されることから、全てのサンプリングタイミング(0)~(3)の相関値を算出できるようにするため、送信器2の送信回路23は、1フレームF1にm(本変形例では2)個以上、ユニークワードU2を挿入する。送信回路23は、1フレームF1につき、ユニークワードU2を、m以上の回数、連続して送信する。

【0094】

本変形例では、ユニークワードU2が上記第1の変形例と同様にM系列により構成され、M系列の特性を利用して同期精度の向上を図るため、上記m個のユニークワードU2の前後に1つずつユニークワードU2が付加される。その結果、送信回路23は、1フレームF1で、計(m+2;本変形例では4)のユニークワードU2を連続して送信する。予測回路36fは、低速ユニークワードU1の検出時に、ベースバンド信号の中で、上記4つのユニークワードU2のうち、2つ目から(m+1;本変形例では3)個目のユニークワードU2が存在する範囲を予測する。

10

【0095】

2つの算出回路37gのうち、一方の算出回路37gには、サンプリングタイミング(0)(2)が対応付けられ、他方の算出回路37gには、サンプリングタイミング(1)(3)が対応付けられている。算出回路37gの抽出回路37aは、それぞれ、算出回路37gに対応付けられた2つのサンプリングタイミングのうち、一方のサンプリングタイミングのサンプル値列だけを抽出し、レジスタ37hに格納する。算出回路37cは、それぞれ、レジスタ37hに格納されたサンプル値列と、記憶回路37bに予め記憶されているユニークワードU2のビット列との相関値を算出する。設定回路37iは、予測回路36fによる予測範囲A2の中で、抽出回路37aがサンプル値を抽出するサンプリングタイミングを、算出回路37gに対応付けられたサンプリングタイミングの中で、1ユニークワードU2の長さ毎に順に切り替える。そのようにして、設定回路37iは、算出回路37cにより相関値が算出されるサンプリングタイミングを上記長さ毎に切り替える。

20

【0096】

本変形例においては、上記第2の変形例による処理高速化の効果と、上記第3の変形例による小型化及び低コスト化の効果とを併せて得ることができる。

【0097】

(第6の変形例)

図29は、第6の変形例に係る通信システムの同期確立回路37の構成を示す。その構成は、図6に示した構成において、抽出回路37dを閾値設定回路37k及び比較回路37lに変更した構成である。

30

【0098】

閾値設定回路37kは、不図示の操作部又はインタフェース部からの入力に基づき、相関値の閾値を予め設定している。その設定された閾値(以下、第2設定閾値という)は、取り得る最大の相関値(理想相関値)の絶対値に1以下の係数、例えば0.7を乗じた値となるように信号処理で制御される。第2設定閾値をそのような値とする理由は、受信信号波形が歪んで相関値が小さくなったとしても、第2設定閾値は、ユニークワードU2の相関値とノイズの相関値との区別が可能なレベルであれば、理想相関値と完全に一致していなくてもよいからである。

40

【0099】

比較回路37lは、予測回路36f(上記図5を参照)による予測範囲内で、第2設定閾値と、算出回路37cにより算出された各サンプリングタイミング(0)~(3)の相関値とをサンプリングタイミング毎に比較する。比較回路37lは、それら算出された相関値が第2設定閾値以上であるか否かを判断する。

【0100】

ここで、算出回路37cにより算出された各サンプリングタイミング(0)~(3)の相関値のいずれかが、比較回路37lにより、第2設定閾値以上であると判断されたとする。そのとき、同期検出回路37eは、その相関値のサンプリングタイミングをシンボル同期タイミングとして検出し、その相関値が第2設定閾値以上と判断されたタイミングを

50

フレーム同期タイミングとして検出する。

【 0 1 0 1 】

図 3 0 は、本変形例における同期確立処理の手順を示す。その同期確立処理は、図 1 1 に示した同期確立処理において、S 3 3 の処理を S 7 1、S 7 2 の処理に変更したものである。比較回路 3 7 1 は、予測回路 3 6 f による予測範囲内で、S 3 2 の処理により算出された相関値と第 2 設定閾値とを比較し、その算出された相関値が第 2 設定閾値以上であるか否かをサンプリングタイミング毎に判断する (S 7 1)。S 3 2 の処理により算出された相関値が第 2 設定閾値以上と判断されたとき (S 7 2 で Y e s)、S 3 4 の処理で、同期検出回路 3 7 e は、その相関値のサンプリングタイミングをシンボル同期タイミングとする。また、同期検出回路 3 7 e は、その相関値が第 2 設定閾値以上と判断されたタイ

10

【 0 1 0 2 】

本変形例においては、図 3 1 に示されるように、算出された相関値が第 2 設定閾値 C_{t_h} 以上になるとき、同期が確立される。一方、図 3 2 に示されるように、受信レベルが低くなり、算出された相関値が第 2 設定閾値 C_{t_h} よりも低く、誤同期が多少なりとも懸念される場合には、同期が確立されない。従って、誤同期を防止することができる。

【 0 1 0 3 】

(第 7 の変形例)

図 3 3 は、第 7 の変形例に係る通信システムの同期確立回路 3 7 の構成を示す。その同期確立回路 3 7 は、上記図 2 9 に示した第 6 の変形例の構成に、上記の抽出回路 3 7 d と、相関値抽出回路 3 7 m とを追加したものである。相関値抽出回路 3 7 m は、算出回路 3 7 c により算出されたサンプリングタイミング (0) ~ (3) の相関値の中から、比較回路 3 7 1 により第 2 設定閾値以上と判定された相関値を抽出する。抽出回路 3 7 d は、相関値抽出回路 3 7 m により抽出された相関値の中から、予測回路 3 6 f (上記図 5 を参照) による予測範囲内で最大の相関値を抽出する。

20

【 0 1 0 4 】

図 3 4 は、本変形例における同期確立処理の手順を示す。その同期確立処理は、上記図 3 0 に示した第 6 の変形例の同期確立処理において、S 7 2 の処理の後に S 3 3 の処理を戻し、それらの間に S 8 1 の処理を追加したものである。この同期確立処理において、相関値抽出回路 3 7 m は、サンプリングタイミング (0) ~ (3) の相関値のうち、S 7 2 の処理で第 2 設定閾値以上と判定された相関値を抽出してメモリに一時的に記憶する (S 8 1)。S 3 3 の処理で、抽出回路 3 7 d は、S 8 1 の処理により抽出された相関値のうち、予測回路 3 6 f による予測範囲内で最大の相関値を抽出する。その後、S 3 4 の処理で、同期検出回路 3 7 e は、その抽出された最大の相関値のサンプリングタイミングをシンボル同期タイミングとして検出する。また、同期検出回路 3 7 e は、その相関値が第 2 設定閾値以上と判断され、かつ上記予測範囲内で最大となったタイミングをフレーム同期タイミングとして検出する。

30

【 0 1 0 5 】

本変形例では、図 3 5 に示すように、雑音又はマルチパスフェージング等に起因して相関値が予測範囲 A 1 内で、かつ正規のタイミング以外で第 2 設定閾値 C_{t_h} を超えたとしても (破線丸印)、その相関値が予測範囲 A 1 内で最大でなければ、同期が確立されない。一方、相関値が正規のタイミングで第 2 設定閾値 C_{t_h} 以上になり、かつ予測範囲 A 1 内で最大になったとき (実線丸印)、同期が確立される。従って、同期確立の精度を向上させることができる。

40

【 0 1 0 6 】

(第 8 の変形例)

図 3 6 は、第 8 の変形例の通信システムにおける算出回路 3 7 c の相関値算出方法を示す。上記実施形態と同様に、算出回路 3 7 c は、検波回路 3 5 により検波されたサンプル値列とユニークワード U 2 とについて、時系列順で互いに同じ順番のサンプル値とビット

50

の値とを乗算し、それらの乗算結果の総和を算出して相関値とする。ただし、算出回路 37c は、その相関値の算出処理において、サンプル値とビットの値との乗算結果を、1つのレジスタを用いて累積加算する。具体的には、算出回路 37c は、1番目同士の値の乗算結果を1つのレジスタに格納し、2番目同士の値の乗算結果については、それを、上記レジスタに格納された1番目の乗算結果に加算して、その加算結果を上記レジスタに格納する。算出回路 37c は、このように、順に乗算結果を加算し、その加算結果を上記レジスタに格納する。ユニークワード U2 は、図示されたビット数に限定されない。

【0107】

通常であれば、サンプル値列とユニークワード U2 のビット列との相関値算出に用いられるレジスタがユニークワード U2 のビット数以上必要になるが、本変形例においては、ユニークワード U2 のビット数に関係なく、そのレジスタが1つで済む。そのため、算出回路 37c の回路規模を縮小でき、また、低コスト化を図ることができる。

10

【0108】

なお、本発明は、上記実施形態及び各変形例の構成に限定されるものでなく、使用目的に応じ、様々な変形が可能である。例えば、上記各変形例のうちのいずれかの特徴的な構成を他のいずれかの構成と組み合わせてもよい。また、ADコンバータ 32 と同期回路 33 との間に、ベースバンド信号の成分だけを通過させ、ノイズ成分を除去するフィルタが設けられていても構わない。

【符号の説明】

【0109】

20

1 通信システム

2 送信器

21 低速ビット列生成回路（低速ビット列生成部）

22 ビット列生成回路（ビット列生成部）

23 送信回路（無線送信部）

3 受信器

31 受信回路（無線受信部）

32 ADコンバータ（オーバサンプリング部）

35 検波回路（検波部）

36 低速ビット列検出回路（低速ビット列検出部）

30

37 同期確立回路（同期確立部）

37g タイミング別相関値算出回路（相関値算出部）

37i タイミング設定回路（タイミング設定部）

37j タイミング間隔検出回路（タイミング間隔検出部）

A1、A2 予測範囲

B1 ベースバンド信号

F1 フレーム

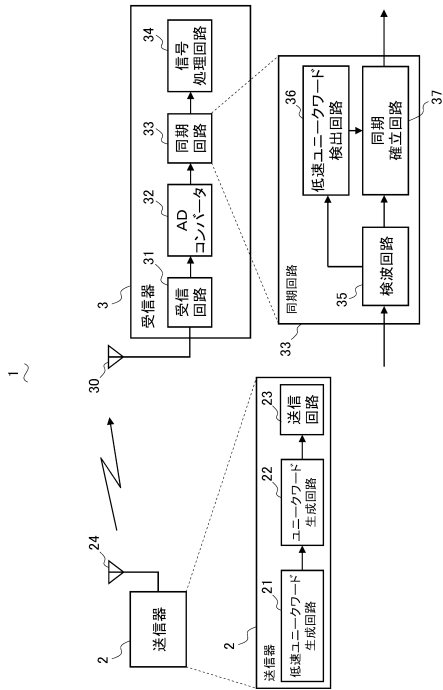
D1 データ

U1 低速ユニークワード（第1の同期用ビット列）

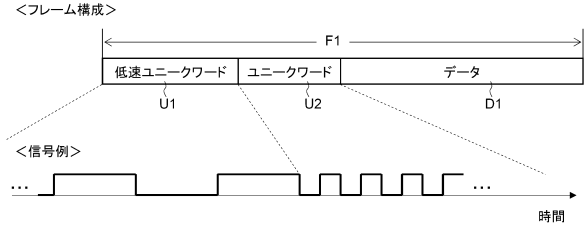
U2 ユニークワード（第2の同期用ビット列）

40

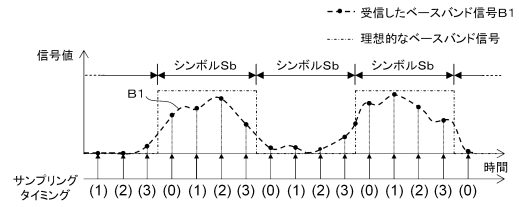
【図1】



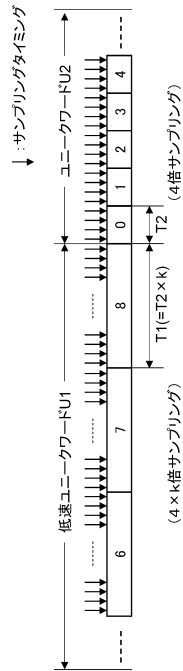
【図2】



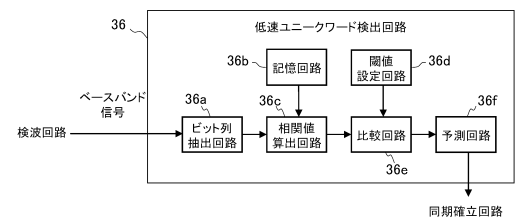
【図3】



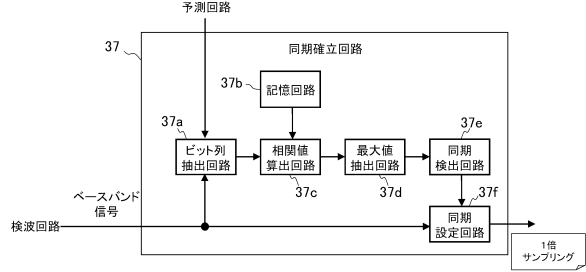
【図4】



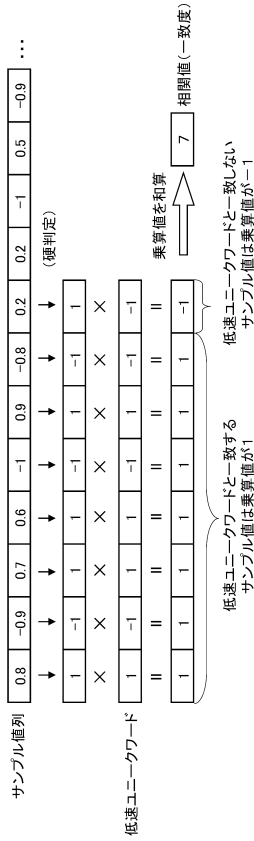
【図5】



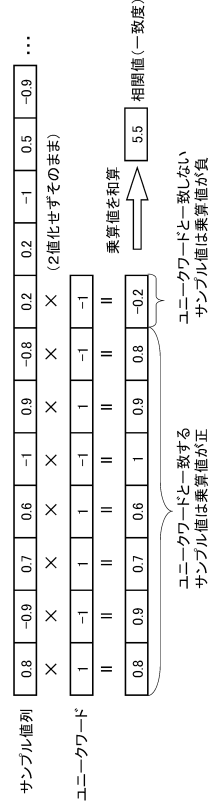
【図6】



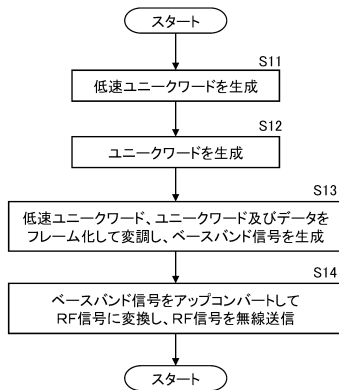
【図7】



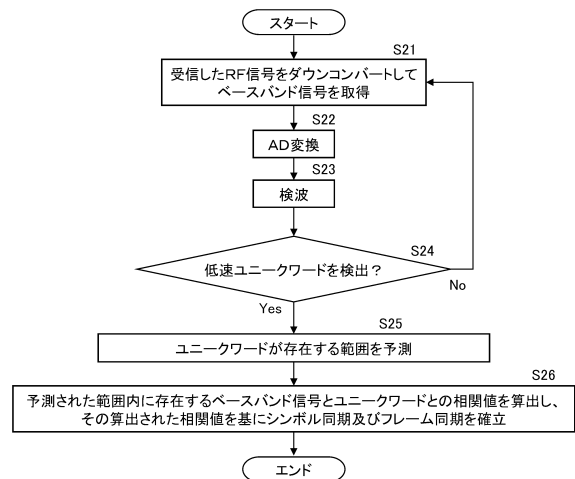
【図8】



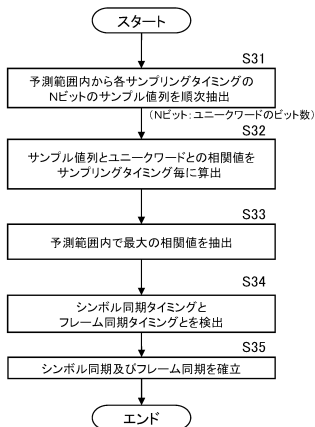
【図9】



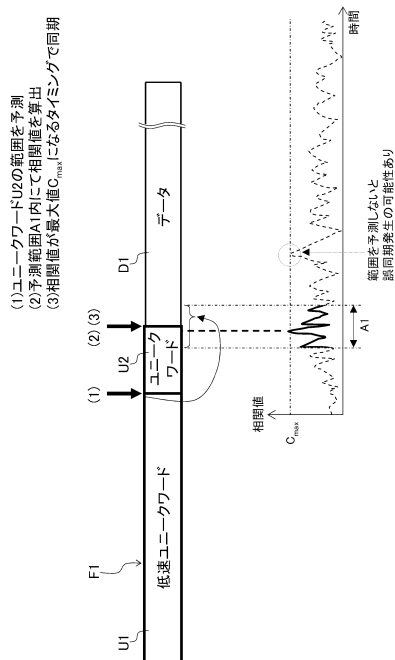
【図10】



【図11】

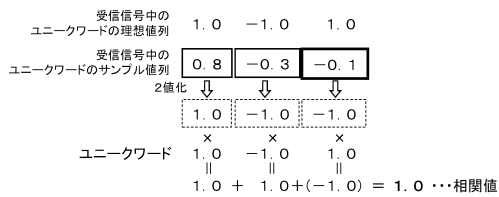


【図12】

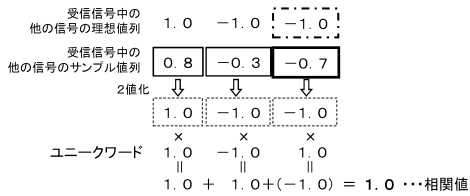


【図13】

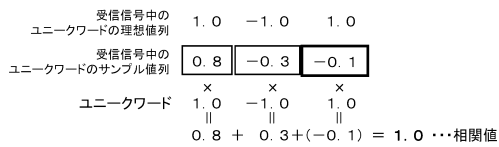
(a) サンプル値を2値化してから相関値を算出する場合(例1)



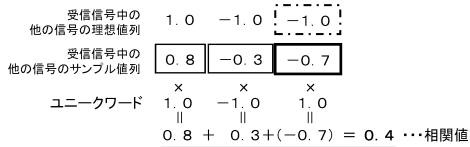
(b) サンプル値を2値化してから相関値を算出する場合(例2)



(c) 本実施形態(例1')

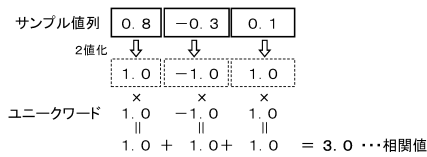


(d) 本実施形態(例2')

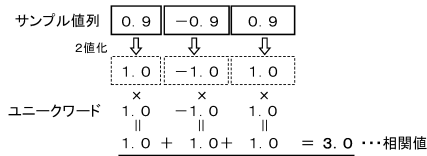


【図14】

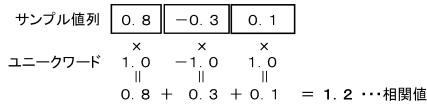
(a) サンプル値を2値化してから相関値を算出する場合(例3)



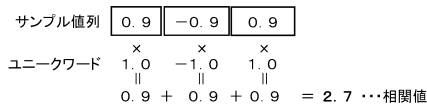
(b) サンプル値を2値化してから相関値を算出する場合(例4)



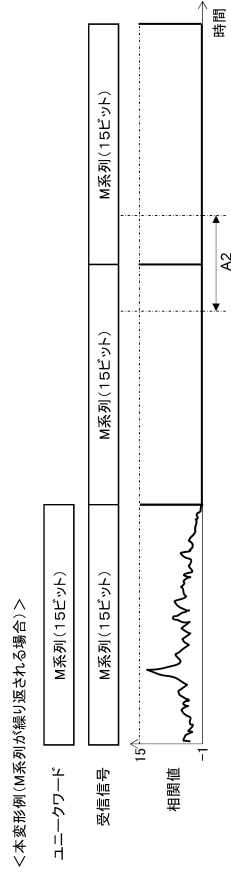
(c) 本実施形態(例3')



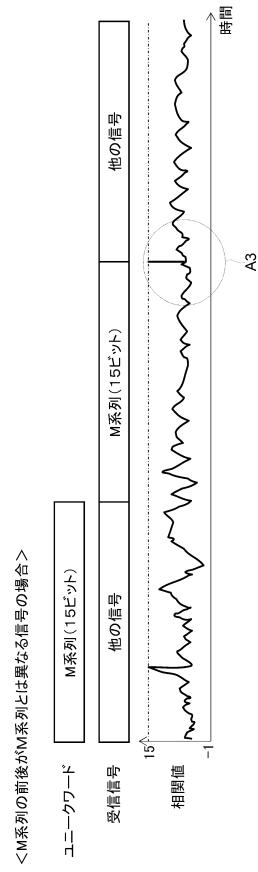
(d) 本実施形態(例4')



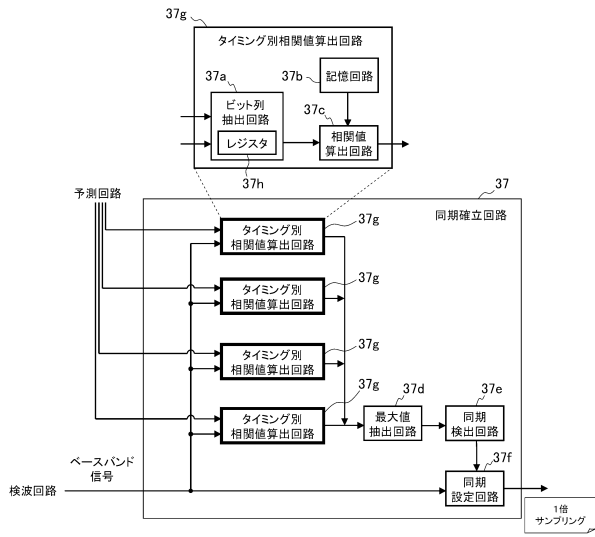
【図15】



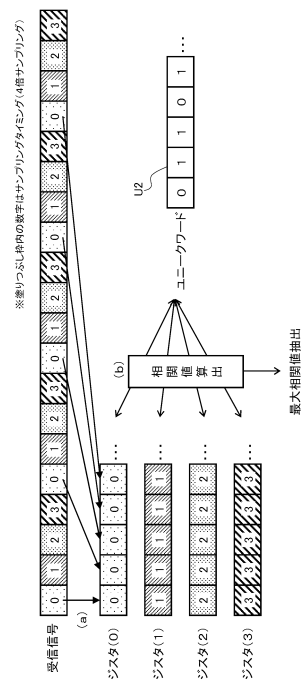
【図16】



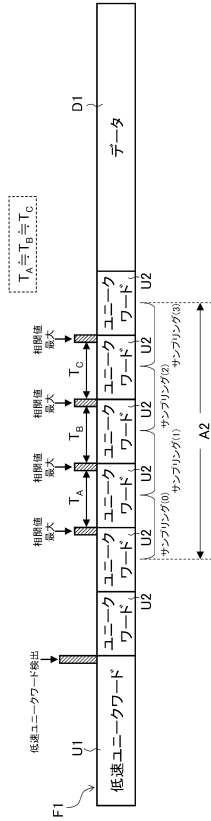
【図17】



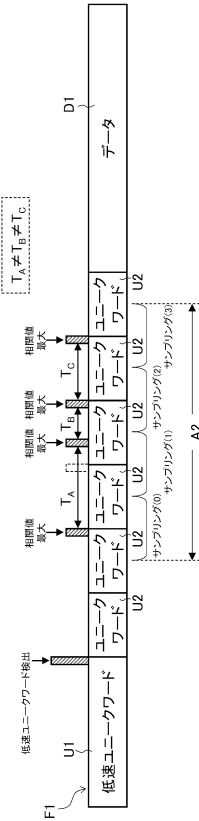
【図18】



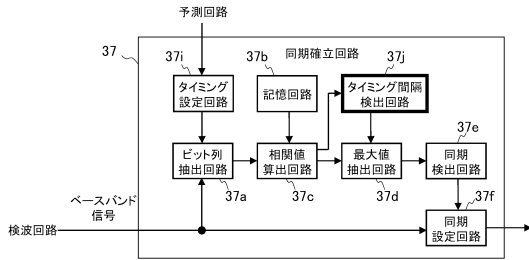
【図23】



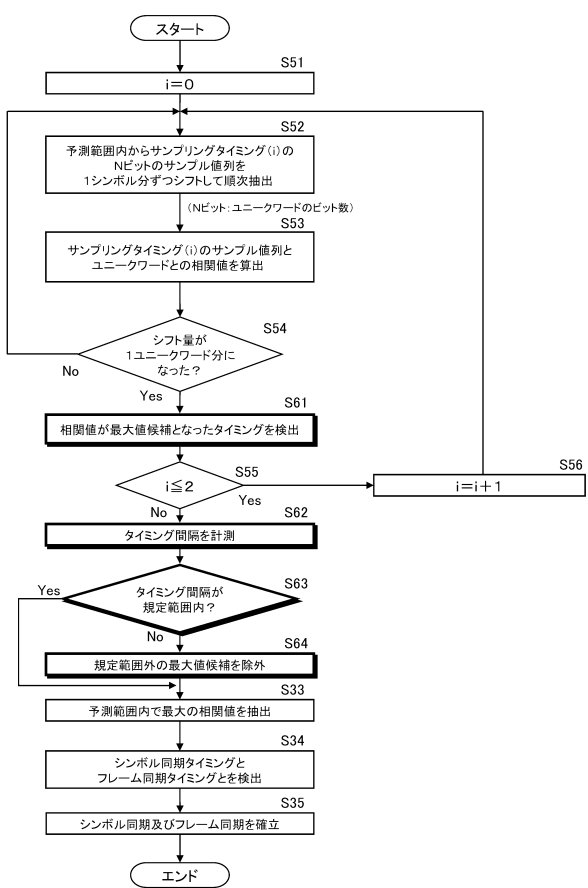
【図24】



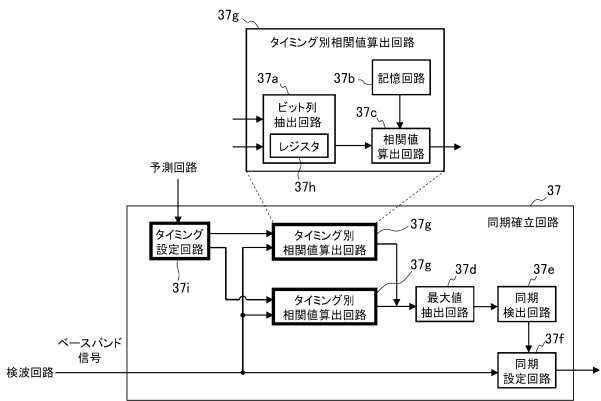
【図25】



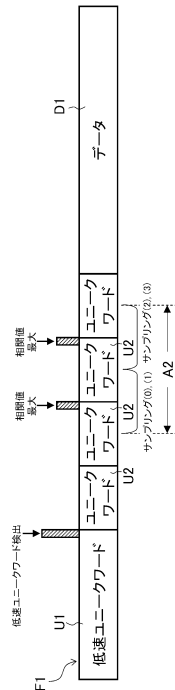
【図26】



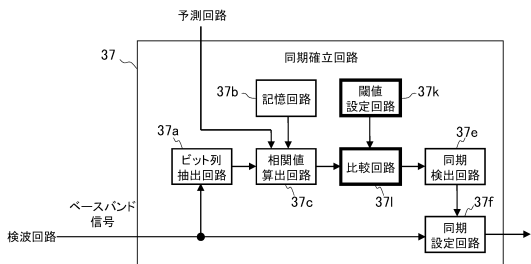
【図27】



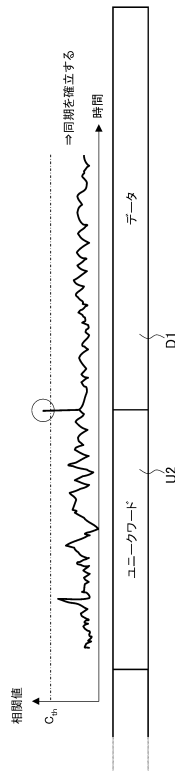
【図28】



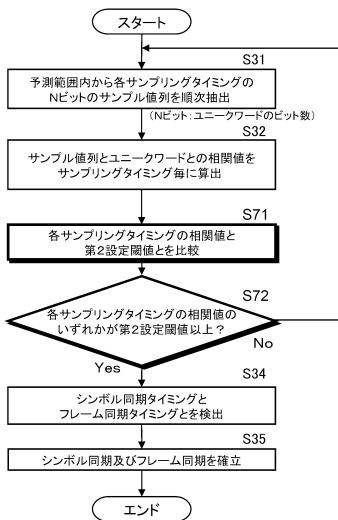
【図29】



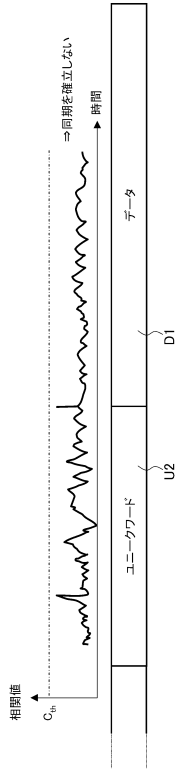
【図31】



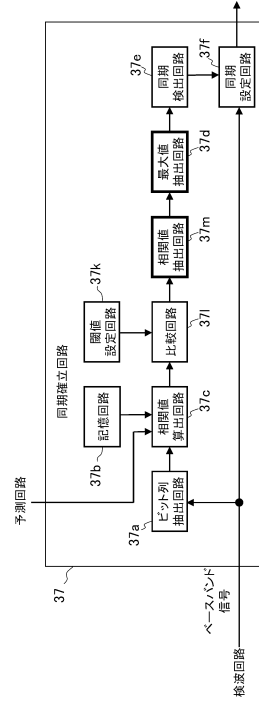
【図30】



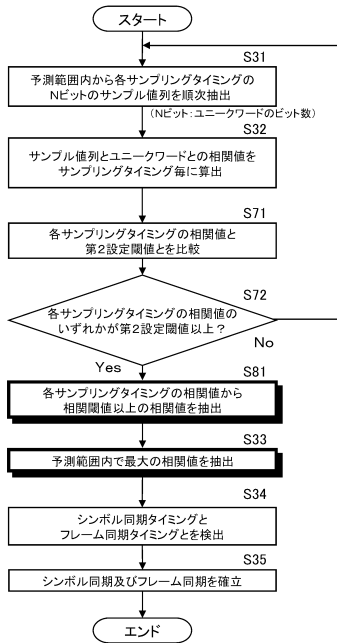
【図32】



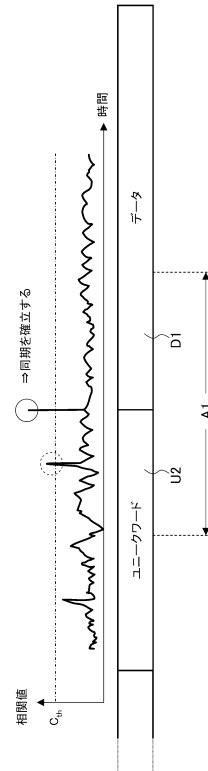
【図33】



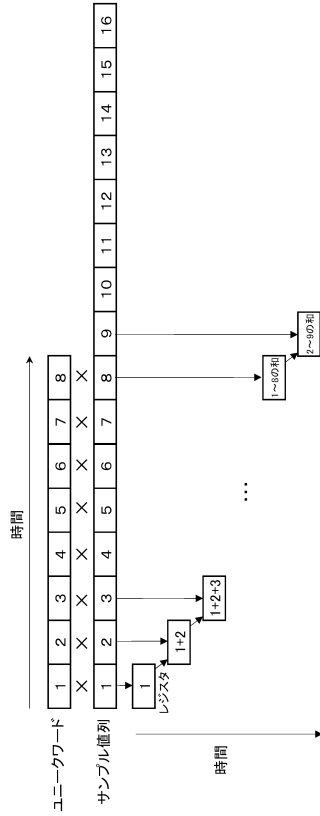
【図34】



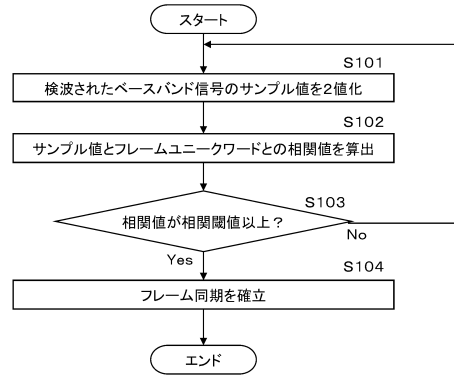
【図35】



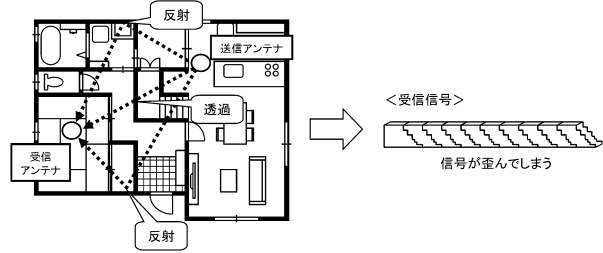
【図36】



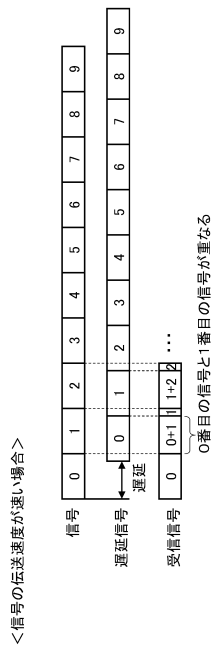
【図37】



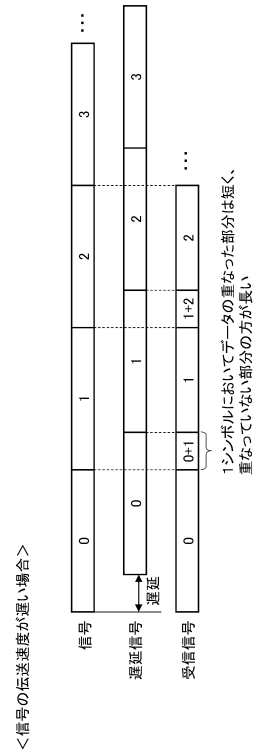
【図38】



【図39】



【図40】



フロントページの続き

- (72)発明者 辻本 郁夫
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
- (72)発明者 笠井 秀樹
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
- (72)発明者 藤井 隆
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内

審査官 安藤 一道

- (56)参考文献 特開平01-302935(JP,A)
特表2008-523750(JP,A)
米国特許第05475863(US,A)
特開2009-177341(JP,A)
特開平07-321762(JP,A)
特開2005-117126(JP,A)
特開2008-160478(JP,A)
特開平07-202750(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H04L 7/04