

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4341522号

(P4341522)

(45) 発行日 平成21年10月7日(2009.10.7)

(24) 登録日 平成21年7月17日(2009.7.17)

(51) Int.Cl.

F I

H O 4 B 1/707 (2006.01)

H O 4 J 13/00

D

H O 4 L 7/08 (2006.01)

H O 4 L 7/08

A

請求項の数 7 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2004-295516 (P2004-295516)  
 (22) 出願日 平成16年10月8日(2004.10.8)  
 (65) 公開番号 特開2006-109279 (P2006-109279A)  
 (43) 公開日 平成18年4月20日(2006.4.20)  
 審査請求日 平成18年11月14日(2006.11.14)

(73) 特許権者 000005108  
 株式会社日立製作所  
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号  
 (74) 代理人 100100310  
 弁理士 井上 学  
 (72) 発明者 橋場 邦夫  
 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
 株式会社日立製作所中央研究所内  
 (72) 発明者 前田 文孝  
 東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地  
 株式会社日立製作所ディフェンスシステム  
 事業部内

審査官 富澤 哲生

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 水中通信方式

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

Q P S K 変調を用いた水中通信方式であって、送信側では、送信データフレームの Q P S K 信号の先頭には、同相成分と直交成分のそれぞれに同一の同期シンボル系列を付加して送信し、受信側では、複数の受信チャンネルを具備しており、各チャンネルにおいて、受信信号を直交検波し、前記直交検波後の同相成分と前記同期シンボルとの自己相関関数  $f$  と、前記直交検波後の直交成分と前記同期シンボルとの自己相関関数  $g$  とを求め、前記自己相関関数  $f$  の 2 乗と前記自己相関関数  $g$  の 2 乗とを加算して得られる時間関数  $s$  のピーク値  $P$  を検出し、前記複数の受信チャンネルのうち、前記ピーク値  $P$  が最も大きいチャンネルの時間関数  $s$  を抽出し、抽出された前記時間関数  $s$  の前記ピーク値  $P$  の位置を同期点として検出し、前記同期点を、前記ピーク値  $P$  が最も大きいチャンネルで受信した前記送信データフレームの先頭としてフレーム同期をとることを特徴とする水中通信方式。

【請求項 2】

Q P S K 変調を用いた水中通信方式であって、送信側では、送信データフレームの Q P S K 信号の先頭には、同相成分と直交成分のそれぞれに同一の同期シンボル系列を付加して送信し、受信側では、複数の受信チャンネルを具備しており、各チャンネルにおいて、受信信号を直交検波し、前記直交検波後の同相成分と前記同期シンボルとの自己相関関数  $f$  と、前記直交検波後の直交成分と前記同期シンボルとの自己相関関数  $g$  とを求め、前記自己相関関数  $f$  の 2 乗と前記自己相関関数  $g$  の 2 乗とを加算して得られる時間関数  $s$  のピーク値  $P$  と、前記ピーク値  $P$  の時間を含む一定時間範囲内における前記時間関数  $s$  の平均

値  $M$  との比  $P / M$  を各チャンネルについて求め、前記複数の受信チャンネルのうち、前記比  $P / M$  の値が最も大きいチャンネルにおける前記時間関数  $s$  を抽出し、抽出された前記時間関数  $s$  の前記ピーク値  $P$  の位置を同期点として検出し、前記同期点を、前記ピーク値  $P$  が最も大きいチャンネルで受信した前記送信データフレームの先頭としてフレーム同期をとることを特徴とする水中通信方式。

【請求項 3】

請求項 1 又は請求項 2 に記載の水中通信方式において、前記同期シンボルは、パーカー符号又は  $M$  系列符号であることを特徴とする水中通信方式。

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 に記載の水中通信方式において、連続する 2 つの前記送信データフレームにおける前記同期点の時間間隔と、前記送信データフレームの送信間隔との差の絶対値が、予め定められた値より大きい場合に、該当のデータフレームについて送信側に再送要求することを特徴とする水中通信方式。

10

【請求項 5】

請求項 1 乃至 3 に記載の水中通信方式において、連続する 2 つの前記送信データフレームにおける前記同期点の時間間隔と、前記送信データフレームの送信間隔との差の絶対値が、予め定められた値より大きい場合に、一つ目の前記送信データフレームの同期点と前記送信間隔から、二つ目の前記送信データフレームの同期点を決定してフレーム同期をとることを特徴とする水中通信方式。

【請求項 6】

20

請求項 1 乃至 3 に記載の水中通信方式において、マルチチャンネルの適応等化器を備えることを特徴とする水中通信方式。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の水中通信方式において、前記マルチチャンネルの適応等化器は判定帰還形適応等化器であることを特徴とする水中通信方式。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は超音波を伝送媒体とした水中通信方式に関し、特に浅海域における多重反射等の影響に対して、安定した通信を行うことが可能な水中通信方式及び水中通信システムに関する。

30

【背景技術】

【0002】

従来、海水中でのデジタルデータ通信では、超音波を伝送媒体とした通信システムが用いられている。海中では、送信側から受信側に直接到来する直接波の他に、海面や海底等に反射して到来する遅延波が存在する。特に浅海域では、音波の距離減衰も小さいため、大きなパワーを有する多数の遅延波が生じ、データの伝送エラーを生じさせる大きな原因となる。以下、従来技術の水中通信システムについて、図 9 ~ 図 11 を用いて説明する。

【0003】

図 9 は、従来技術における水中局と水上局からなる水中通信システムでの超音波の伝搬を説明する図、図 10 は、従来技術における水中通信システムでの実験用送波音圧の振幅スペクトル例を示す図、図 11 は、従来技術における水中通信システムでの受信音圧の振幅スペクトル例を示す図である。

40

【0004】

図 9 において、水中局 70 で収集された海底地形データや物体探知データは、超音波の周波数帯域の変調信号に変換され、水中局 70 に備えられた送波器 71 から送信されて、水上局 80 の受波器 81 で受信される。受信された信号は水上局 80 でデジタル処理され、無線アンテナ 82 を介して、別の水上局や陸上の基地局に伝送される。受波器 81 で受信される超音波には、実線のパス  $R_d$  に沿って、受波器 81 に直接到来する直接波の他、破線のパス  $R_s$  のように海面 1 で反射して到来する遅延波、一点鎖線のパス  $R_{b1}$  のよう

50

に海底 1 で反射して到来する遅延波、二点鎖線のパス R b 2 のように海底 2 と海面 1 で反射して到来する遅延波等、多数の遅延波が存在する。これら遅延波は直接波に重畳して、受信信号の振幅や位相を変化させる、いわゆるマルチパス・フェージング環境を作り出すため、データの伝送エラーを生じさせる原因となる。

【 0 0 0 5 】

マルチパスの特性を表す例として、深さ 5 m の無響水槽内において実測したマルチパス・フェージング特性の計測例について説明する。実験では、深さ 4 m の位置に無指向性の送波用ハイドロホンを設置し、送波用ハイドロホンから水平距離 6 . 6 m 隔てた位置に、無指向性の受波用ハイドロホンを設置した。図 1 0 は、送波用ハイドロホンから放射されたパルス音波の音圧振幅スペクトルであり、図 1 1 ( a ) ~ 図 1 1 ( e ) は、深さ 6 6 c m の位置から 4 3 m m 間隔で計測した、受波用ハイドロホンにおける受信信号の音圧振幅スペクトルである。図 1 0 、図 1 1 ( a ) ~ 図 1 1 ( e ) から明らかなように、マルチパスの影響によって、受信位置では多数の不感領域 (ヌル領域) が発生し、その発生状況も受信位置によって大きく変化することがわかる。このようなマルチパス・フェージング環境下においても安定した水中通信を可能とする技術の一例として、特許文献 1 に記載の「多重超音波による水中超音波伝送装置及び超音波伝送方法」が知られている。特許文献 1 に記載の技術では、海面反射に起因して発生する不感領域 (ヌル領域) を、異なる周波数の搬送波を用いて補間することにより、データ受信の確実性を向上させる。

【 0 0 0 6 】

また、別の例として、特許文献 2 に記載の「水中通信方式」が知られている。特許文献 2 に記載の技術は、スタートパルス、データパルス、エンドパルスで構成された受信信号の F S K (Frequency Shift Keying) 変調波を周波数分析し、この変調波の周波数帯域内にスタートパルスが存在しているかどうかを検出して、スタートパルスの存在が確認されると、検出した信号の時間的に分離した周波数分析結果を用いて、コード判定を行う。

【 0 0 0 7 】

一方、装置構成の複雑さを避け、通信の安定性をより向上させるためのデータフレーム同期方式が非特許文献 1 に記載されている。非特許文献 1 に記載の技術では、変調方式として Q P S K (Quadrature Phase Shift Keying) 変調に特化しており、送受信データを全てデジタルで扱い、送信データフレームの Q P S K 信号の先頭には、その同相成分と直交成分のそれぞれに、同期シンボルとしてバーカー符号が付加される。受信側では、直交検波後の複素受信信号の絶対値を求めることによって搬送波の位相誤差を除去し、その後バーカー符号の自己相関を利用して、同期点を検出している。これによって、位相同期ループやデジタル位相同期ループを必要とせず、装置構成の簡略化も図れるとしている。

【 0 0 0 8 】

【特許文献 1】特開平 9 - 5 5 7 0 7 号公報

【 0 0 0 9 】

【特許文献 2】特開 2 0 0 4 - 1 5 7 6 2 号公報

【非特許文献 1】Y. Choi, J. W. Park, S. M. Kim, Y. K. Lim, "Phase Coherent All-Digital Transmitter and Receiver for Underwater Acoustic Communication Systems", System Theory 2003, Proc. of the 35th Southeastern Symposium on, pp.79 ~ 83(2003)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 0 】

図 9 ~ 図 1 1 を用いて説明したように、特に浅海域では、音波の音速が遅いことと波長が短いことから、激しいマルチパス・フェージング環境が形成される。このフェージングによる音響伝搬路の周波数選択性は非常に細かく細分化され、多くの不感領域が形成される。また、不感領域の変化は水上局と水中局の位置関係に大きく依存する。このため、水中局や水上局が動揺したり移動したりすると、搬送波周波数が不感領域に含まれるような状態が頻繁に発生し、上述したような従来技術では、データを取得する以前に同期が取れず、通信の安定性を損なう可能性があった。

## 【 0 0 1 1 】

また、非特許文献 1 に記載されているフレーム同期方式では、位相同期ループやデジタル位相同期ループを必要とせず、簡略な構成となっているものの、マッチドフィルタ処理の段階において、バーカー符号の 2 乗値による自己相関を利用しているため、バーカー符号本来の鋭い自己相関関数特性が活かされておらず、マルチパス・フェージング特性の変化に十分対応できない可能性があった。

## 【 0 0 1 2 】

本発明の目的は、浅海域等におけるマルチパス・フェージング環境においても、安定した同期を実現し、安定して通信が可能な水中通信方式及び水中通信システムを提供することにある。

## 【課題を解決するための手段】

## 【 0 0 1 3 】

本発明の水中通信方式は、Q P S K 変調を用いた水中通信方式であって、送信側では、Q P S K 送信データフレームの先頭の、Q P S K 信号の同相成分と直交成分のそれぞれに同一の同期シンボルを付加して送信し、受信側では、受信信号を直交検波し、直交検波後の同相成分と同期シンボルとの自己相関関数  $f$  と、直交検波後の直交成分と同期シンボルとの自己相関関数  $g$  とを求め、自己相関関数  $f$  の 2 乗と自己相関関数  $g$  の 2 乗とを加算して得られる時間関数  $s$  のピーク値  $P$  の位置を同期点として検出して、フレーム同期をとる。同期シンボルとしては、バーカー符号又は M 系列符号を用いる。

## 【 0 0 1 4 】

本発明の水中通信方式は、受信側では複数の受信チャンネルを具備しており、各チャンネルにおいてピーク値  $P$  を検出し、各チャンネルのピーク値  $P$  が最も大きいチャンネルにおける時間関数  $s$  のピーク値  $P$  の位置を同期点として検出して、又は、時間関数  $s$  のピーク値  $P$  と、ピーク値  $P$  の時間を含む一定時間範囲内における時間関数  $s$  の平均値  $M$  との比  $P / M$  を各チャンネルについて求め、比  $P / M$  の値が最も大きいチャンネルにおける時間関数  $s$  のピーク値  $P$  の位置を同期点として検出して、同期点で全チャンネルのフレーム同期をとる。

## 【 0 0 1 5 】

本発明の水中通信方式は、連続する 2 つの送信データフレームにおける同期点の時間間隔と、送信データフレームの送信間隔との差の絶対値が、予め定められた値より大きい場合に、該当のデータフレームについて送信側に再送要求する、又は、一つ目の送信データフレームの同期点と送信データフレームの送信間隔から、二つ目の送信データフレームの同期点を決定してフレーム同期をとる。

## 【 0 0 1 6 】

本発明の水中通信方式は、適応等化器を備え、適応等化器は 1 チャンネル又はマルチチャンネルの判定帰還形適応等化器とする。

## 【 0 0 1 7 】

以上のような方式によって、浅海域等における激しいマルチパス環境化においても、確実な同期が可能となり、安定した通信が可能となる。

## 【発明の効果】

## 【 0 0 1 8 】

位相同期ループやデジタル位相同期ループを用いることなく、マルチパス・フェージング環境でも、簡単な構成の同期方式により、安定した同期を実現し、安定した通信が可能な水中通信方式及び水中通信システムを提供できる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【 0 0 1 9 】

本発明の実施例では、浅海域における激しいマルチパス・フェージング環境下でも、確実なフレーム同期方式を提供するという目的を、位相同期ループやデジタル位相同期ループを用いない簡単な構成により実現する。また、受波器のアレイ化に伴い、さらなる通信の安定化、特により確実なフレーム同期が可能な水中通信方式を実現する。以下、本発明

10

20

30

40

50

の実施例を図面を用いて詳細に説明する。

(実施例１)

図１は、本発明の水中通信方式の実施例における受信側での信号処理を説明するブロック図である。

【００２０】

本発明の実施例による水中通信では、データ通信におけるデジタル変調方式としてＱＰＳＫ変調を用いる。図１において、図示しない受波器で受信した変調信号は、図示しないプリアンプ、ＡＧＣ回路、Ａ／Ｄ変換器を経て、全てデジタル信号で処理される。デジタル信号に変換された受信信号は、１データフレーム長さ毎に相関演算部１０に入力される。相関演算部１０は、バンドパスフィルタ（ＢＰＦ）１１、直交検波部１２の出力（同相成分）１３Ａが入力されるマッチドフィルタ１４Ａ、直交検波部１２の出力１３Ｂ（直交成分）が入力されるマッチドフィルタ１４Ｂ、マッチドフィルタ１４Ａの出力（同相成分の自己相関結果）１６Ａが入力されその２乗値を求める２乗計算部１５Ａ、マッチドフィルタ１４Ｂの出力（直交成分の自己相関結果）１６Ｂが入力されその２乗値を求める２乗計算部１５Ｂ、２乗計算部１５Ａの出力と２乗計算部１５Ｂの出力との加算値を出力する加算器を含む。

【００２１】

加算器の出力、即ち、相関演算部１０の出力（相関性を示す時間関数）１７は、同期点検出部２０に入力される。同期点検出部２０では、検出されたピーク値を参照して同期点を求め、この同期点をもとに制御信号３０を介してスイッチ４０をＯＮの状態にし、予め定められたデータシンボル系列長の時間を経ると制御信号３０を介してスイッチ４０をＯＦＦの状態にする。スイッチ４０がＯＮの状態になると、受信信号はＱＰＳＫ復調部５０へ伝送され、ＱＰＳＫシンボルデータが出力される。次に、相関演算部１０の動作について説明する。

【００２２】

図２は、本発明の実施例におけるデータフレームの構成を説明する図である。

【００２３】

図２に示すように、送信側において形成されるデータフレーム１００の構成は、データフレームの先頭に位置する同期シンボル系列１０１と、ＱＰＳＫシンボルデータ系列１０２とからなる。同期シンボル系列１０１は、ＱＰＳＫ信号の同相成分Ｉと直交成分Ｑのそれぞれに、同じ同期シンボルを割り当てて作られている。このようなデータフレーム１００が、送波器から送信され、音響伝搬路を経て受信され、更にデジタル化された後、相関演算部１０に入力される。相関演算部１０に入力された受信信号は、まずバンドパスフィルタ１１で帯域制限され、直交検波部１２に送られる。直交検波時における搬送波の位相誤差を  $\theta$  とすると、直交検波部１２から復調される同相成分１３Ａは  $I \cos \theta$  となり、直交検波部１２から復調される直交成分１３Ｂは  $Q \sin \theta$  となる。ここでデータフレーム１００の同相成分Ｉと直交成分Ｑは等しいので、 $I = Q$ である。

【００２４】

次に、同相成分１３Ａと直交成分１３Ｂはマッチドフィルタ１４Ａ、１４Ｂにそれぞれ伝送され、データフレーム１００で付加された同期シンボル系列１０１と自己相関演算が行われる。位相誤差のない場合の自己相関演算の結果を同相成分について  $I'$ 、直交成分について  $Q'$  と書くと、位相誤差  $\theta$  がある場合には、自己相関演算の結果にも搬送波との位相誤差  $\theta$  が含まれており、同相成分の自己相関結果１６Ａは  $I' \cos \theta$ 、直交成分の自己相関結果１６Ｂは  $Q' \sin \theta$  となる。このままでは同期点の検出が困難であるが、 $I' = Q'$  であることから、２乗計算部１５Ａ、１５Ｂにおいて、自己相関結果１６Ａ、１６Ｂをそれぞれ２乗しその結果を加算することで、 $(I' \cos \theta)^2 + (Q' \sin \theta)^2 = (I' \cos \theta)^2 + (I' \sin \theta)^2 = (I')^2$  となり、同期点で高い相関性を示す時間関数１７が得られる。

【００２５】

同期点検出部２０では、時間関数１７のピーク値  $P$  を検出し、ピーク値  $P$  の位置を同期

点として、QPSK復調部50への入力にQPSKシンボルデータ系列102の先頭からなるように、スイッチ40をONの状態にする。なお、確実な同期には、符号サイドロープの小さな同期シンボル系列が望ましいので、同期シンボル系列101としては、パーカー符号やM系列符号を適用するのが好ましい。また、量子化誤差によって、同期点検出部20において求めた同期点においても搬送波の残留位相誤差が残る可能性があるため、QPSK復調部50の出力結果は図示しない適応等化器によって更に処理されることが望ましい。なお、適応等化器は、等化精度のよい判定帰還形適応等化器とするのが望ましい。以上のような構成によって、位相同期ループやデジタル位相同期ループを必要としない簡単な構成で、且つ確実なフレーム同期をとることができ、安定した通信を行うことができる。

10

(実施例2)

図3は、本発明の水中通信方式の他の実施例における受信側での信号処理を説明するブロック図である。

【0026】

図3において、図示しない受波器はアレイとなっており、異なるアレイ開口部から、Nチャンネル(Nは2以上の自然数)の受信信号が得られている。各チャンネルの受信信号は、1データフレーム長さ毎に各チャンネルに設けられた相関演算部10でそれぞれ処理され、各相関演算部10の出力は、同期点検出部21に入力される。同期点検出部21では、各相関演算部10からの情報に基づいて同期点が求められ、制御信号31を介して、各チャンネルに設けられたスイッチ40を全て同時にON、OFF制御する。スイッチ40によって通過した各チャンネルの受信信号は、各チャンネルに設けられたQPSK復調部50によって復調され、Nチャンネルの入力端を有するマルチチャンネル適応等化器60へ伝送され、マルチチャンネル適応等化器60によって、搬送波の残留位相誤差やマルチパス音響伝搬路のフェージング特性が補償され、誤りのない正しいQPSKシンボルデータが出力される。なお、マルチチャンネル適応等化器は、等化精度のよいマルチチャンネル判定帰還形適応等化器が望ましい。次に、同期点検出部21の同期点決定方法を図4、図5を用いて説明する。

20

【0027】

図4は、本発明の他の実施例における同期点検出部の同期点決定方法を示すフローチャート図である。

30

【0028】

図3に示す同期点検出部21には、各チャンネルに設けられた相関演算部10によって得られる時間関数 $s_1 \sim s_N$ が送られてくる。同期点検出部21では、まず時間関数 $s_1 \sim s_N$ のそれぞれについてピーク値 $P_1 \sim P_N$ を求める。 $P_1 = \max\{s_1\} \sim P_N = \max\{s_N\}$ である。次に、ピーク値 $P_1 \sim P_N$ の中から最も大きいピーク値 $P_{K1} = \max\{P_k : k = 1 \sim N\}$ を求め、そのピーク値 $P_{K1}$ をとるチャンネルK1の時間関数 $s_{K1}$ を抽出する。次に、時間関数 $s_{K1}$ のピーク値 $P_{K1}$ の位置を同期点 $s_n^{K1} = \arg\max\{s_{K1}\}$ として求める。送信間隔Lの送信データフレームが連続して送られており、2番目以降のデータフレームを受信している場合には、直前のデータフレームの同期点 $s_{n-1}^{K1}$ と、今求めた同期点 $s_n^{K1}$ との時間間隔 $T_1 = s_n^{K1} - s_{n-1}^{K1}$ を求め、送信間隔Lと比較する。時間間隔 $T_1$ と送信間隔Lとの差の絶対値 $L - T_1$ が、予め定められた値X1以内にある時、即ち、 $L - T_1 < X1$ である時は同期点 $s_n^{K1}$ を採用し、 $L - T_1 > X1$ でない時は、 $L + s_{n-1}^{K1}$ を同期点として採用する。また、 $L - T_1 > X1$ でない時は、 $s_n^{K1} = L + s_{n-1}^{K1}$ を同期点として採用するか、図示しない再送要求処理部へ再送処理開始の信号を送る。なお、予め定められた値X1は、シンボルレートTと、マルチチャンネル適応等化器60で等化の対象とされるシンボル数Jとの積 $T \cdot J$ 以下の値とすればよい。このような方式で同期点を求めることによって、時間的、空間的に激しく変化する浅海域マルチパス・フェージング環境下においても、正しくフレーム同期がとれる確率が向上し、安定した水中通信が可能となる。

40

50

## 【 0 0 2 9 】

図 5 は、本発明の他の実施例における同期点検出部の他の同期点決定方法を示すフローチャート図である。

## 【 0 0 3 0 】

図 3 に示す同期点検出部 2 1 には、各チャンネルに設けられた相関演算部 1 0 によって得られる時間関数  $s_1 \sim s_N$  が送られてくる。同期点検出部 2 1 では、まず、各チャンネルの時間関数  $s_1 \sim s_N$  毎のピーク値  $P_1 \sim P_N$  をそれぞれ抽出する。 $P_1 = \max \{ s_1 \} \sim P_N = \max \{ s_N \}$  である。次に、ピーク値  $P_1 \sim P_N$  の位置を含む、予め定められた範囲の時間関数  $s_1 \sim s_N$  の平均値  $M_1 \sim M_N$  の値を、各チャンネルについてそれぞれ計算する。 $M_1 = \text{mean} \{ s_1 \} \sim M_N = \text{mean} \{ s_N \}$  である。求めたピーク値  $P_1 \sim P_N$  及び平均値  $M_1 \sim M_N$  を用い、各チャンネルについて、これらの比  $P_1 / M_1 \sim P_N / M_N$  を求め、比  $P_1 / M_1 \sim P_N / M_N$  の中から最も大きい比  $P_{K2} / M_{K2} = \max \{ P_K / M_K : k = 1 \sim N \}$  をとるチャンネル  $K2$  の時間関数  $s_{K2}$  を抽出して、時間関数  $s_{K2}$  のピーク値  $P_{K2}$  の位置を同期点  $s_{n^{K2}} = \arg \max \{ s_{K2} \}$  として求める。送信間隔  $L$  の送信データフレームが連続して送られており、2 番目以降のデータフレームを受信している場合には、直前のデータフレームの同期点  $s_{n-1}^{K2}$  と、今求めた同期点  $s_{n^{K2}}$  との時間間隔  $T_2 = s_{n^{K2}} - s_{n-1}^{K2}$  を求め、送信間隔  $L$  と比較する。時間間隔  $T_2$  と送信間隔  $L$  との差の絶対値  $L - T_2$  が、予め定められた値  $X2$  以内にある時、即ち、 $L - T_2 < X2$  である時は同期点  $s_{n^{K2}}$  を採用する。また、 $L - T_2 > X2$  でない時は、 $s_{n^{K2}} = L + s_{n-1}^{K2}$  を同期点として採用するか、図示しない再送要求処理部へ再送処理開始の信号を送る。なお、同期シンボル系列 1 0 1 には、バーカー符号や M 系列符号を適用する。また、予め定められた範囲  $X2$  は、同期シンボル系列 1 0 1 のシンボル長を  $L_s$  として、ピーク値  $P_1 \sim P_N$  の各位値を中心に  $\pm L_s$  以上の範囲をとればよく、予め定められた値  $X2$  は、シンボルレート  $T$  と、マルチチャンネル適応等化器 6 0 で等化の対象とされるシンボル数  $J$  との積  $T \cdot J$  以下の値とすればよい。以下、図 5 のフローチャートに基づく同期決定方式について、水深 5 m の無響水槽内で行った実験結果を、図 6 ~ 図 8 を用いて説明する。

## 【 0 0 3 1 】

図 6 は、本発明の実施例における実験用データフレームの構成を示す図であり、無響水槽内の水深 4 m の位置に置かれた、無指向性の送波用ハイドロホンから送信した、実験用データフレームの構成図である。

## 【 0 0 3 2 】

図 6 に示すように、実験用データフレーム 1 1 0 は、2 つの連続したデータフレーム 1 1 1 を含むように構成した。データフレーム 1 1 1 は、図 2 に示したデータフレーム 1 0 0 と同じ構成となっており、1 3 シンボル長の 1 3 ビットバーカー符号系列 1 1 2 と、1 1 5 4 シンボル長のデータシンボル系列 1 1 3 とから構成されており、連続するデータフレーム 1 1 1 の間には、3 シンボル長のポーズを設けた。なお、搬送波の周波数は 7 0 k H z、シンボルレートは 3 0 0 0 0 ボーとした。

## 【 0 0 3 3 】

実験用データフレーム 1 1 0 を受信するための受波器は、5 つの無指向性のハイドロホンからなる、CH 1 ~ CH 5 までの 5 チャンネルの垂直アレイとし、各チャンネル間の間隔は搬送波の 2 波長分 4 3 m m とした。更に、垂直アレイをそのアレイ中心が水深 7 5 c m、送波用ハイドロホンとの水平距離 5 . 8 m の位置に垂直に配置した。

## 【 0 0 3 4 】

図 7 は、本発明の実施例の相関演算部により得られる時間関数の実験結果を示す特性図であり、垂直アレイの各チャンネル（水深の浅い方から CH 1 ~ CH 5 とする）の受信信号波形を相関演算部 1 0 でそれぞれ処理することによって得た時間関数  $s_{CH1} \sim s_{CH5}$  を示す。

## 【 0 0 3 5 】

図 8 は、本発明の実施例における同期点比較の実験結果を示す特性表を示す図であり、

10

20

30

40

50

2 番目に送信されたデータフレーム 1 1 1 に着目して、比  $P_1 / M_1 \sim P_5 / M_5$  を時間関数  $s_{CH1} \sim s_{CH5}$  から計算した同期点比較結果である。なお、予め定められた範囲  $\times 2$  は  $\pm 100$  シンボル長とした。

【0036】

受信チャンネル数が 1 つの場合、特に水面からのマルチパス成分によって搬送波成分が干渉し、不感領域に入ってしまうと、時間関数  $s_{CH3}$  のような演算結果が得られる可能性が出てくる。この場合、時間関数  $s_{CH3}$  のピーク値における時間を同期点としてしまうと、ピーク値を取る位置は同期シンボル系列側ではなくデータシンボル系列側にあり、同期が取れなくなってしまう。一方、水中における  $70\text{ kHz}$  の搬送波の波長は約  $21.5\text{ mm}$  であり、非常に短いので、受信位置を少しずらすことによって不感領域を避けることができるので、複数の受信アレイの使用により、確実に同期がとれる。

10

【0037】

また、時間関数  $s_{CH1} \sim s_{CH5}$  のピーク値のみの比較では、 $CH1$  と  $CH3$  でほとんど変わらないものの、図 8 に示す、比  $P_1 / M_1 \sim P_5 / M_5$  で比較することによって、符号サイドローブが小さく、鋭い自己相関関数を有するバーカー符号の特徴も利用でき、同期を取る基準とすべきチャンネルの決定が確実になされる。

【0038】

このように、マルチパス環境下においても、本同期点検出方式によって確実なフレーム同期が可能となることが実験的に確認された。

【0039】

20

以上のような構成により同期点を求めることによって、搬送波が不感領域に入ってしまう可能性を排除し、バーカー符号や M 系列符号の自己相関関数の相関値だけでなく、低い符号サイドローブを有するという特徴も利用して同期点を求められる。従って、時間的、空間的に激しく変化する浅海域マルチパス・フェージング環境下においても、正しくフレーム同期がとれる確率が向上し、適応等化器によって搬送波の残留位相誤差も排除されるため、安定した水中通信が可能となる。

【0040】

QPSK 変調を用いた本発明水中通信システムを纏めると次の通りである。

【0041】

本発明の水中通信システムでは、送信側では、QPSK 送信データフレームの先頭の、QPSK 信号の同相成分と直交成分のそれぞれに同一の同期シンボルを付加して送信し、受信側では、受信信号を直交検波し、直交検波後の同相成分と同期シンボルとの自己相関関数  $f$  と、直交検波後の直交成分と同期シンボルとの自己相関関数  $g$  とを求め、自己相関関数  $f$  の 2 乗と自己相関関数  $g$  の 2 乗とを加算して得られる時間関数  $s$  のピーク値  $P$  の位置を同期点として検出して、フレーム同期をとる。同期シンボルには、バーカー符号又は M 系列符号を用いる。

30

【0042】

本発明の水中通信システムでは、受信側に複数の受信チャンネルを具備しており、各チャンネルにおいてピーク値  $P$  を検出し、各チャンネルのピーク値  $P$  が最も大きいチャンネルにおける時間関数  $s$  のピーク値  $P$  の位置を同期点として検出して、又は、時間関数  $s$  のピーク値  $P$  と、ピーク値  $P$  の時間を含む一定時間範囲内における時間関数  $s$  の平均値  $M$  との比  $P / M$  を各チャンネルについて求め、比  $P / M$  の値が最も大きいチャンネルにおける時間関数  $s$  のピーク値  $P$  の位置を同期点として検出して、同期点で全チャンネルのフレーム同期をとる。

40

【0043】

本発明の水中通信システムでは、連続する 2 つの送信データフレームにおける同期点の時間間隔と、送信データフレームの送信間隔との差の絶対値が、予め定められた値より大きい場合に、該当のデータフレームについて送信側に再送要求する、又は、一つ目の送信データフレームの同期点と送信データフレーム長から、二つ目の送信データフレームの同期点を決定してフレーム同期をとる。

50



## 【 0 0 4 4 】

本発明の水中通信システムでは、受信側に適応等化器を備え、適応等化器は1チャンネル又はマルチチャンネルの判定帰還形適応等化器としている。

## 【 0 0 4 5 】

本発明の水中通信システムの代表的な効果は次の通りである。(1)位相同期ループやデジタル位相同期ループを必要としない簡単な構成で、同期シンボルの鋭い自己相関特性による確実な同期が可能となり、安定した通信を行なうことが可能となる。(2)激しく変化するマルチパス・フェージング環境化においても、正しい同期点が得られる確率が向上し、正確なデータの送受信が可能となる。(3)搬送波の残留位相誤差の影響を適応的に精度よく除去できるので、安定して正確な水中通信が可能となる。

10

## 【 0 0 4 6 】

本発明の水中通信システムの構成の特徴は以下の通りである。

## 【 0 0 4 7 】

(1)デジタル変調方式としてQPSK変調を用いる水中通信システムであって、受波器、前記受波器で受信された変調信号をデジタル信号に変換するA/D変換器、及び、前記デジタル信号が1データフレーム長さ毎に入力される相関演算部を含む複数の受信チャンネルと、前記各チャンネルの前記相関演算部の出力信号が入力される同期点検出部と、前記チャンネルのそれぞれに対応して設けられ前記チャンネルのそれぞれの前記A/D変換器の出力信号が入力されるスイッチ手段と、前記スイッチ手段のそれぞれに接続されるQPSK復調部と、前記各QPSK復調部の出力信号が入力されQPSKシンボルデータが出力されるマルチチャンネル適応等化器とを有し、前記同期点検出部において前記各相関演算部の出力信号に基づいて同期点が求められ、前記同期点検出部からの制御信号を介して、前記各チャンネルの前記スイッチ手段全てが同時にON、OFF制御され、前記各スイッチ手段を通過した前記各チャンネルの受信信号は、前記各チャンネルの前記QPSK復調部により復調され、前記マルチチャンネル適応等化器へ伝送され、前記マルチチャンネル適応等化器により、搬送波の残留位相誤差やマルチパス音響伝搬路のフェージング特性が補償され、QPSKシンボルデータが出力され、前記相関演算部のそれぞれは、前記相関演算部10に入力される受信信号を帯域制限するバンドパスフィルタと、前記バンドパスフィルタの出力信号を直交検波し、同相成分及び直交成分を出力する直交検波部と、前記同相成分が入力され前記同相成分の自己相関結果を出力する第1のマッチドフィルタと、前記直交成分が入力され前記直交成分の自己相関結果を出力する第2のマッチドフィルタと、前記第1のマッチドフィルタの出力の2乗値を求める第1の2乗計算部と、前記第2のマッチドフィルタの出力の2乗値を求める第2の2乗計算部と、前記第1の2乗計算部の出力信と前記第2の2乗計算部の出力信との加算値を出力する加算器を含み、前記加算器の出力を前記相関演算部のそれぞれ出力信号とすることを特徴とする水中通信システム。

20

30

## 【 0 0 4 8 】

QPSK変調を用いた水中通信システムの送信側では、QPSK送信データフレームの先頭の、QPSK信号の同相成分と直交成分のそれぞれに同一の同期シンボルを付加して送信する。QPSK変調を用いた水中通信システムの受信側では、受信信号を直交検波し、前記直交検波後の同相成分と前記同期シンボルとの自己相関関数 $f$ と、前記直交検波後の直交成分と前記同期シンボルとの自己相関関数 $g$ とを求め、前記自己相関関数 $f$ の2乗と前記自己相関関数 $g$ の2乗とを加算して得られる時間関数 $s$ のピーク値 $P$ の位置を同期点として検出して、フレーム同期をとる。

40

## 【 0 0 4 9 】

前記同期点検出部には、前記各チャンネルの相関演算部10の出力信号であり、相関性を示す時間関数が送られ、同期点検出部では、前記各チャンネル毎の前記時間関数のピーク値が抽出され、前記ピーク値の位置を含む予め定められた範囲の時間関数の平均値の値が、前記各チャンネルについてそれぞれ計算され、求められた前記ピーク値及び前記平均値を用いて、前記各チャンネルについて、前記平均値に対する前記ピーク値の比が求めら

50

れ、前記比が最大である前記チャンネルの前記時間関数を抽出して、前記比が最大である前記チャンネルの前記時間関数の前記ピーク値の位置を同期点  $s_{n-k}^{k2}$  として求める。送信間隔  $L$  の送信データフレームが連続して送られており、2 番目以降のデータフレームを受信している場合には、直前のデータフレームの前記同期点  $s_{n-1}^{k2}$  と、今回求めた前記同期点  $s_{n-k}^{k2}$  との時間間隔  $T_2$  が求められ、前記時間間隔  $T_2$  が前記送信間隔  $L$  と比較され、 $L - T_2 \leq X \cdot 2$  ( $X \cdot 2$ : 予め定められた値) である時は、同期点を今回求めた同期点  $s_{n-k}^{k2}$  とし、 $L - T_2 > X \cdot 2$  でない時は、 $s_{n-k}^{k2} = L + s_{n-1}^{k2}$  を同期点とするか、又は、再送要求処理部へ再送処理開始の信号を送る。値  $X \cdot 2$  は、同期シンボルのシンボル長を  $L_s$  として、前記ピーク値の各位値を中心に  $\pm L_s$  以上の範囲とし、シンボルレート  $T$  と、マルチチャンネル適応等化器で等化の対象とされるシンボル数  $J$  との積  $T \cdot J$  以下の値とする。

10

#### 【0050】

前記同期点検出部では、検出された前記ピーク値を参照して同期点を求め、この同期点をもとに制御信号を介して前記スイッチ手段を ON の状態にし、予め定められたデータシンボルの系列長の時間を経過すると前記制御信号を介して前記スイッチ手段を OFF の状態にする。前記スイッチ手段が ON の状態になると、受信信号は QPSK 復調部へ伝送され、QPSK シンボルデータが出力される。

#### 【0051】

(2)(1) の水中通信システムにおいて、前記同期シンボルは、バーカー符号又は M 系列符号である。

20

#### 【0052】

(3)(2) の水中通信システムにおいて、複数の前記受信チャンネルのそれぞれにおいて前記ピーク値を検出し、前記各チャンネルの前記ピーク値が最も大きいチャンネルにおける前記時間関数の、前記ピーク値の位置を同期点として検出して、前記同期点で全チャンネルのフレーム同期をとる。

#### 【0053】

(4)(2) の水中通信システムにおいて、複数の前記受信チャンネルのそれぞれにおいて前記ピーク値を検出し、前記各チャンネルの前記時間関数のピーク値  $P$  と、前記ピーク値の時間を含む一定時間範囲内における前記時間関数の平均値  $M$  との比  $P/M$  を前記各チャンネルについて求め、前記比  $P/M$  の値が最も大きい前記チャンネルにおける前記時間関数の、前記ピーク値  $P$  の位置を同期点として検出して、前記同期点で全チャンネルのフレーム同期をとる。

30

#### 【0054】

(5)(2) の水中通信システムにおいて、連続する 2 つの前記送信データフレームにおける前記同期点の時間間隔と、前記送信データフレームの送信間隔との差の絶対値が、予め定められた値より大きい場合に、該当のデータフレームについて送信側に再送要求する。

#### 【0055】

(6)(2) の水中通信システムにおいて、連続する 2 つの前記送信データフレームにおける前記同期点の時間間隔と、前記送信データフレームの送信間隔との差の絶対値が、予め定められた値より大きい場合に、一つ目の前記送信データフレームの同期点と前記送信間隔から、二つ目の前記送信データフレームの同期点を決定してフレーム同期をとる。

40

#### 【産業上の利用可能性】

#### 【0056】

マルチパス・フェージング環境でも、簡単な構成の同期方式により、安定した同期を実現し、安定した通信が可能な水中通信方式及び水中通信システムを提供できる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0057】

【図 1】本発明の水中通信システムの実施例における受信側での信号処理を説明するブロック図。

50

【図 2】本発明の実施例におけるデータフレームの構成を説明する図。

【図 3】本発明の水中通信システムの他の実施例における受信側での信号処理を説明するブロック図。

【図 4】本発明の他の実施例における同期点検出部の同期点決定方法を示すフローチャート図。

【図 5】本発明の他の実施例における同期点検出部の他の同期点決定方法を示すフローチャート図。

【図 6】本発明の実施例における実験用データフレームの構成を示す図。

【図 7】本発明の実施例の相関演算部により得られる時間関数の実験結果を示す特性図。

【図 8】本発明の実施例における同期点比較の実験結果を示す特性表を示す図。

10

【図 9】従来技術における水中通信システムでの超音波の伝搬を説明する図。

【図 10】従来技術における水中通信システムでの実験用送波音圧の振幅スペクトル例を示す図。

【図 11】従来技術における水中通信システムでの受信音圧の振幅スペクトル例を示す図。

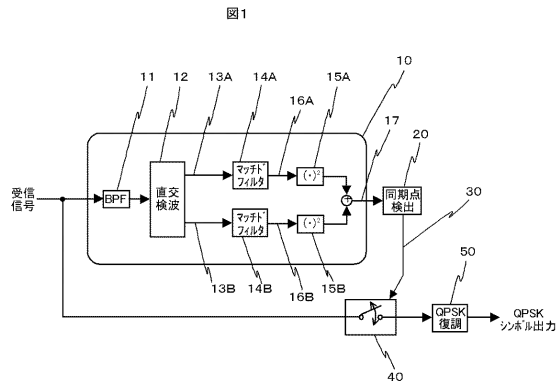
【符号の説明】

【0058】

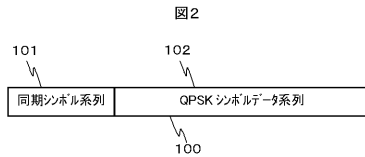
10 ... 相関演算部、11 ... バンドパスフィルタ、12 ... 直交検波部、13A ... 直交検波後の同相成分、13B ... 直交検波後の直交成分、14A、14B ... マッチドフィルタ、15A、15B ... 2乗計算部、16A ... 同相成分の自己相関結果、16B ... 直交成分の自己相関結果、17 ... 相関性を示す時間関数、20、21 ... 同期点検出部、30、31 ... 制御信号、40 ... スイッチ、50 ... QPSK復調部、60 ... マルチチャンネル適応等化器、70 ... 水中局、71 ... 送波器、80 ... 水上局、81 ... 受波器、82 ... 無線アンテナ、100、111 ... データフレーム、101 ... 同期シンボル系列、102 ... QPSKシンボルデータ系列、110 ... 実験用データフレーム、112 ... バーカー符号系列、113 ... データシンボル系列。

20

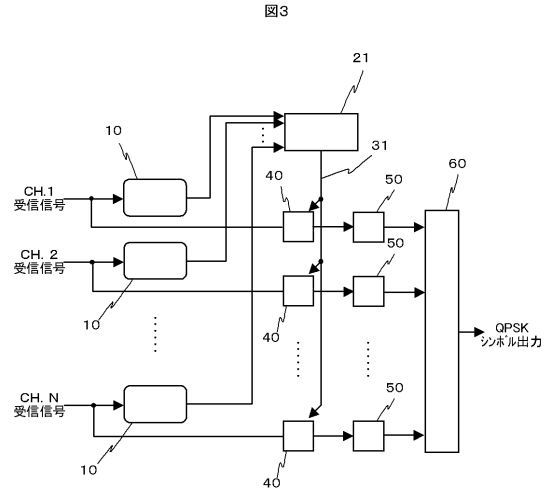
【図 1】



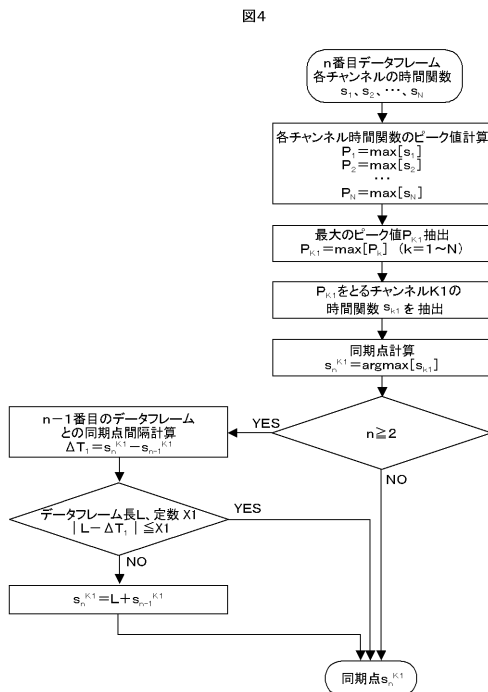
【図 2】



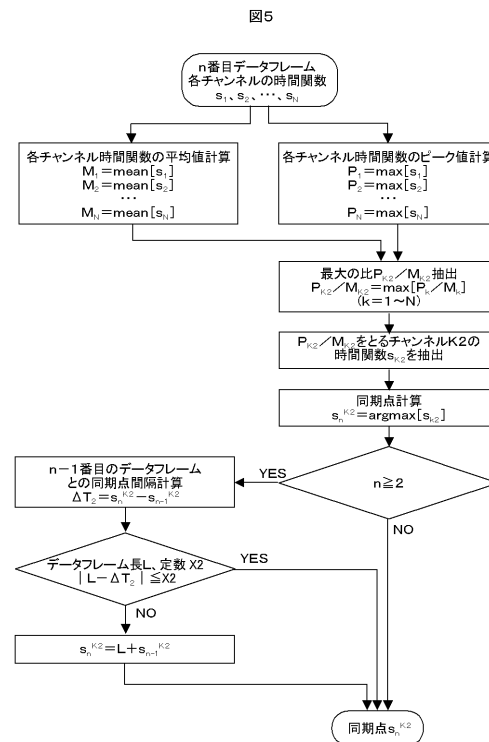
【図 3】



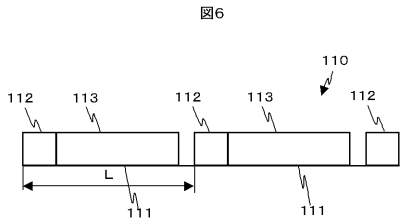
【図 4】



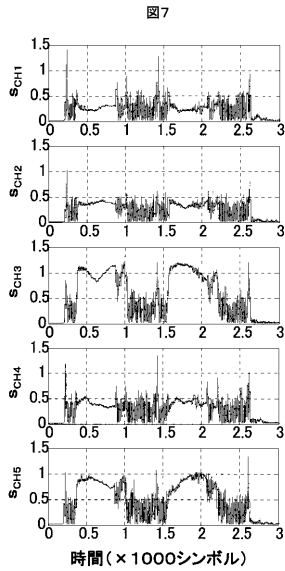
【図 5】



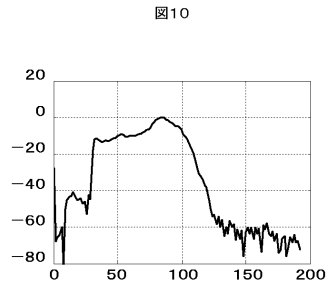
【図 6】



【図 7】



【図 10】

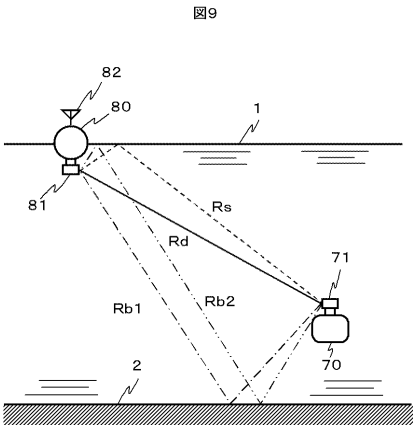


【図 8】

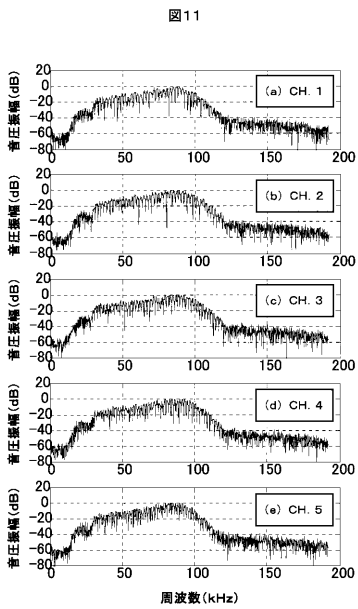
図8

CH. 1	$P_1/M_1=4.09$
CH. 2	$P_2/M_2=3.73$
CH. 3	$P_3/M_3=1.05$
CH. 4	$P_4/M_4=4.05$
CH. 5	$P_5/M_5=2.99$

【図 9】



【図 11】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2003-087219(JP,A)  
特開平01-190152(JP,A)  
特開平10-051504(JP,A)  
特開2004-096182(JP,A)  
国際公開第02/035729(WO,A1)  
特開平08-256084(JP,A)  
特許第3352519(JP,B2)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H04B 1/707  
H04L 7/08