(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2025年2月6日(06.02.2025)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2025/027857 A1

(51) 国際特許分類:
H04B 11/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2023/028462

(22) 国際出願日： 2023年8月3日(03.08.2023)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(71) 出願人: 日本電信電話株式会社 (**NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目５番１号 Tokyo (JP).

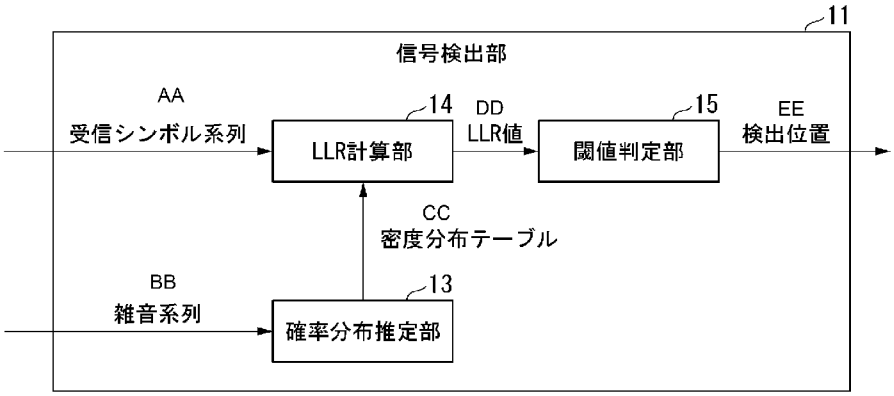
(72) 発明者: 石原 拓実 (**ISHIHARA Takumi**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町３丁目９－１１ ＮＴＴ知的財産センタ内 Tokyo (JP). 福本 浩之 (**FUKUMOTO Hiroyuki**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町３丁目９－１１ ＮＴＴ知的財産センタ内 Tokyo (JP). 藤野 洋輔 (**FUJINO Yosuke**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町３丁目９－１１ ＮＴＴ知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 弁理士法人志賀国際特許事務所 (**SHIGA INTERNATIONAL PATENT OFFICE**); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目９番２号 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,

(54) **Title:** RECEPTION DEVICE AND SIGNAL DETECTION METHOD

(54) 発明の名称： 受信装置及び信号検出方法



11 Signal detection unit
13 Probability distribution estimation unit
14 LLR calculation unit
15 Threshold determination unit
AA Reception symbol sequence
BB Noise sequence
CC Density distribution table
DD LLR value
EE Detection position

(57) **Abstract:** This reception device comprises: a calculation unit that calculates a likelihood ratio on the basis of one or more reception symbols and a probability density distribution other than a normal distribution; and a threshold determination unit that determines a threshold for detecting a signal on the basis of the calculated likelihood ratio.

(57) 要約： １以上の受信シンボルと、正規分布以外の確率密度分布に基づいて尤度比を算出する計算部と、算出された尤度比に基づいて、信号を検出するための閾値判定を行う閾値判定部と、を備える受信装置。

WO 2025/027857 A1

［続葉有］

HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国（表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能）：ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

— 国際調査報告（条約第21条(3)）

明　細　書

発明の名称 ： 受信装置及び信号検出方法

技術分野

[0001] 本発明は、受信装置及び信号検出方法に関する。

背景技術

[0002] パケット単位で情報伝送を行う通信システムでは、受信装置において所望の信号フレームの先頭位置を検出する処理が必要となる。このような信号検出方式として、一定の誤検出率の下での未検出率を最小化可能なネイマン・ピアソンの補題に基づく尤度比検定が一般的に用いられる（例えば、非特許文献１参照）。非特許文献１に示す尤度比検定式は、受信信号に付加される雑音の確率密度分布に応じて変化する式となる。

[0003] 従来の電波を用いた陸上無線では、既知信号と受信信号の相互相関を計算し、事前に設定した閾値を超える相関ピークが確認された位置を所望の信号位置として検出する相互相関検出が用いられている（例えば、非特許文献２参照）。これは、受信信号に付加される雑音としてガウス分布の雑音を仮定した場合の尤度比検定と等価であり、陸上無線などのガウス雑音環境下では最適な検出方式となる。これまでの水中音響通信においても、上記の陸上無線と同様の相互相関検出が一般的に用いられてきた。

先行技術文献

非特許文献

[0004] 非特許文献1：M. Chiani and M. G. Martini, “On sequential frame synchronization in AWGN channels”, IEEE Trans. Commun., vol. 54, no. 2, pp. 339-348, Feb. 2006.

非特許文献2：M.Chitre, J.Potter and S.-H.Ong, “Optimal and Near-Optimal Signal Detection in Snapping Shrimp Dominated Ambient Noise”, IEEE J. Oceanic Eng. vol. 31: 498- 503, Apr. 2006.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 水中音響通信では、受信信号に対して、定常雑音と比べて数十ｄＢ高いインパルス性雑音が頻繁に付加される。このような通信路では雑音の確率密度分布がガウス分布から大きく乖離する。したがって、ガウス分布を仮定した従来の相互相関検出を水中音響通信に直接適用すると、厳密な水中音響雑音の確率密度分布に応じた尤度比検定を適用した場合と比較して、信号検出性能が大きく劣化する。このような性能劣化は、インパルス性雑音の影響が顕在化する低ＳＮＲ（Signal-to-Noise ratio）時により顕著となる。

[0006] 上記事情に鑑み、水中の音響通信において信号検出の性能を向上させることができる技術の提供を目的としている。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明の一態様は、１以上の受信シンボルと、正規分布以外の確率密度分布に基づいて尤度比を算出する計算部と、算出された前記尤度比に基づいて、信号を検出するための閾値判定を行う閾値判定部と、を備える受信装置である。

[0008] 本発明の一態様は、１以上の受信シンボルと、正規分布以外の確率密度分布に基づいて尤度比を算出し、算出された前記尤度比に基づいて、信号を検出するための閾値判定を行う、信号検出方法である。

発明の効果

[0009] 本発明により、水中の音響通信において信号検出の性能を向上させることが可能となる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]海中音響伝送路における雑音の特徴を説明するための図である。

[図2]ガウス分布と海中音響伝送路における雑音の確率密度分布とを示す図である。

[図3]第１の実施形態における通信システム１００の構成例を示す図である。

[図4]第１の実施形態における信号検出部１１の構成例を示す図である。

[図5]第１の実施形態における確率分布推定部１３が行う密度分布テーブルの作成処理の流れを示すフローチャートである。

[図6]第１の実施形態における密度分布テーブルの構成例を示す図である。

[図7]第１の実施形態における受信装置１０の処理の流れを示すフローチャートである。

[図8]第２の実施形態における信号検出部１１ａの構成例を示す図である。

[図9]第２の実施形態における受信装置１０ａの処理の流れを示すフローチャートである。

[図10]第１と第２の実施形態におけるシミュレーション結果を示す図である。

発明を実施するための形態

[0011] 以下、本発明の一実施形態を、図面を参照しながら説明する。

[0012] （従来の一般的な信号検出方式）

まず本発明における実施形態の理解を促すために、従来の一般的な信号検出方式である相互相関検出について説明する。従来の信号検出は、受信信号フレーム中の既知信号の有無を帰無仮説と対立仮説に設定した統計的仮説検定によって実行される。具体的には、以下の式（１）及び式（２）に示す帰無仮説H_0及び対立仮説H_1に基づいた仮説検定を行う。

[0013] [数1]

$$H_0 : \mathbf{y}_j = \mathbf{n}_j \quad \cdots (1)$$

[0014] [数2]

$$H_1 : \mathbf{y}_j = \mathbf{s} + \mathbf{n}_j \quad \cdots (2)$$

[0015] ここで、式（１）及び式（２）におけるy_jは受信信号ベクトルであり、$y_j=[y_j, y_{j+1}, \cdots, y_{j+N-1}]^T$である。なお、ｊは１，２，…の整数である。式（２）におけるsは既知信号ベクトルであり、$s=[s_1, s_2, \cdots, s_N]^T$である。式（１）及び式（２）における$n_j$は雑音ベクトルであり、$n_j=[n_j, n_{j+1}, \cdots, n_{j+N-1}]^T$である。すなわち、帰無仮説$H_0$は観測信号中に既知信号が

含まれていない場合（雑音のみ）を表しており、対立仮説H_1は観測信号中に既知信号が含まれている場合を表す。ネイマン・ピアソンの補題に基づき、一定の誤検出率の下での未検出率を最小化する信号検出は以下の式（３）の尤度比検定により実現される。

[0016] [数3]

$$\Lambda_j = \frac{f_n(\mathbf{y}_j|H_1)}{f_n(\mathbf{y}_j|H_0)} \underset{D_0}{\overset{D_1}{\gtrless}} \lambda \quad \cdots (3)$$

[0017] ここで、式（３）において$f_n(\cdot)$は雑音の確率密度分布を表し、λは検出閾値を表す。尤度比Λ_jが閾値λを超えた場合に信号を検出し（判定D_1）、尤度比Λ_jが閾値λ以下である場合（判定D_0）に受信信号ベクトルを１シンボル分だけ次のフレームに進めて（つまりｊを１だけ増やして）尤度比の計算を続行する。このように、従来の信号検出では、受信信号ベクトルを１シンボル分だけ進めながら尤度比を逐次計算し、閾値λを超えた位置を所望の信号フレームの先頭位置として検出する。

[0018] 上式(３)に示した通り、尤度比検定式は受信信号に付加される雑音の確率密度分布$f_n(\cdot)$に依存して変化する式となる。ここで、雑音の確率密度分布$f_n(\cdot)$としてガウス分布を仮定すると、尤度比検定式は以下の式（４）に示す相互相関検出式となる。

[0019] [数4]

$$\Lambda_j = \frac{\sum_i |y^*_{j+i} s_i|^2}{\sum_i |s_i|^2} \quad \cdots (4)$$

[0020] したがって、雑音がガウス分布に従うような通信路（例えば、ＡＷＧＮ（Additive white Gaussian noise）伝送路）では、式(４)で表される相互相関検出が最適な信号検出方式となる。そのため、従来の陸上無線（ガウス雑音環境）ではこの相互相関検出が信号検出方式として一般的に用いられてきた

。

[0021]（海中音響伝送路における信号検出の課題）

海中音響伝送路では、波浪雑音や受信装置の熱雑音に代表される定常的な雑音だけでなく、テッポウエビなどの海中生物の活動に起因して、図１に示すように、定常雑音と比較して振幅が数十ｄＢ高いインパルス性雑音が頻繁に観測される。このような環境下における雑音の確率密度分布は、図２に示すように、ガウス分布（例えば、図２における線分Ｌ１）と比較して裾が極端に広い分布（例えば、図２における線分Ｌ２）、つまり、ガウス分布から大きく乖離した分布となる。したがって、従来のガウス分布を仮定している相互相関検出を海中音響伝送路に直接適用すると、検出性能が大きく劣化するという課題が存在する。そのため、海中音響雑音の確率密度分布の特徴を考慮した尤度比検定を実行することにより、海中音響伝送路における信号検出の性能を改善することができる。

[0022]（第１の実施形態）

第１の実施形態では、収集した雑音データから直接計算した確率密度分布に基づいて尤度比検定を行う信号検出方式について説明する。図３は、第１の実施形態における通信システム１００の構成例を示す図である。通信システム１００は、送信装置１と、受信装置１０とを備える。送信装置１は、水中に備えられ、信号を送信する。送信装置１は、送信データを含むペイロードに既知信号系列を付与した信号フレームを間欠送信する。受信装置１０は、送信装置１から送信された信号フレームを間欠的に受信する。

[0023] 受信装置１０は、信号検出部１１と、復調部１２とを備える。信号検出部１１は、信号フレームの先頭位置を検出する。復調部１２は、信号検出部１１によって検出された信号フレームの先頭位置から復調処理を行い、送信した情報を復調する。

[0024] 図４は、第１の実施形態における信号検出部１１の構成例を示す図である。信号検出部１１は、確率分布推定部１３と、ＬＬＲ（Log-likelihood ratio）計算部１４と、閾値判定部１５とを備える。

[0025] 確率分布推定部１３は、通信を開始する前の事前処理として、受信装置１０が設置される環境における雑音サンプルを所定の期間分収集することによって、雑音の密度分布をテーブル化することによって密度分布テーブルを作成する。具体的には、確率分布推定部１３は、系列長Ｍの雑音系列（$N_1, \cdots, N_M$）を入力とし、入力した雑音系列を用いて密度分布テーブルを作成する。

[0026] ＬＬＲ計算部１４は、受信シンボル系列と、確率分布推定部１３によって作成された密度分布テーブルに基づいて受信シンボル系列に含まれる受信シンボル毎にＬＬＲ値を算出する。ＬＬＲ計算部１４では、確率分布推定部１３によって作成された密度分布テーブルを用いて受信シンボル系列に含まれる受信シンボル毎にＬＬＲ値を算出している。すなわち、第１の実施形態におけるＬＬＲ計算部１４は、正規分布以外の確率密度分布に基づいてＬＬＲ値を算出する。ここでいう正規分布は、白色かつガウス性の雑音の確率密度分布を意味する。ＬＬＲ計算部１４は、計算部の一態様である。

[0027] 閾値判定部１５は、ＬＬＲ計算部１４によって算出された受信シンボル毎のＬＬＲ値に基づいて閾値判定を行うことによって信号を検出する。閾値判定部１５が行う信号検出の方法は、従来と同じである。

[0028] 図５は、第１の実施形態における確率分布推定部１３が行う密度分布テーブルの作成処理の流れを示すフローチャートである。図５の処理は、受信装置１０が通信を開始する前に実行される。なお、受信装置１０は、密度分布テーブルの作成処理を一度実行した後においては、通信を開始する前に毎回実行する必要はなく、ユーザからの指示がなされたタイミング等の所定のタイミングで実行してもよい。

[0029] 確率分布推定部１３は、雑音サンプルを所定の数分収集する（ステップＳ１０１）。この際、受信装置１０は、信号の送信は行わない。確率分布推定部１３が収集した雑音サンプルの値を$P_1, \cdots, P_L$とする。Ｌは２以上の整数である。図２に示したように、海中における雑音分布は、裾が極端に広い分布であるため多くの雑音サンプルが必要となる。例えば、確率分布推定部１３は、10^6程度のサンプル数を収集する。これは、水中音響通信では数分程

度（長くておよそ１０分程度）の雑音観測に相当する。

[0030] 確率分布推定部１３は、収集した所定の数分の雑音サンプル値$P_1, \cdots, P_L$を用いて累積分布$f_p(x)$を計算する（ステップＳ１０２）。具体的には、まず確率分布推定部１３は、収集した所定の数分の雑音サンプル値$P_1, \cdots, P_L$を用いて、以下の式（５）に基づいて平均μ_pを算出する。さらに、確率分布推定部１３は、収集した所定の数分の雑音サンプル値$P_1, \cdots, P_L$を用いて、以下の式（６）に基づいて分散パラメータσ_pを算出する。なお、式（５）及び式（６）においてＬは雑音サンプルの総数を表し、P_lは第ｌ（ｌは１以上の整数）番目の雑音サンプルの値を表す。

[0031] [数5]

$$\mu_p = \frac{1}{L}\sum_{l=1}^{L} P_l \quad \cdots (5)$$

[0032] [数6]

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{1}{L}\sum_{l=1}^{L}\left|P_l - \mu_p\right|^2} \quad \cdots (6)$$

[0033] その後、確率分布推定部１３は、算出した平均μ_pと、分散パラメータσ_pと、雑音サンプル値$P_1, \cdots, P_L$を用いて、以下の式（７）に基づいて雑音サンプル値$P_1, \cdots, P_L$の平均μ_pを０、分散パラメータσ_pを１に正規化する。

[0034] [数7]

$$P_l' = \frac{P_l - \mu_p}{\sigma_p} \quad \cdots (7)$$

[0035] 式（７）におけるP_j'は、第ｌ番目の雑音サンプル値を正規化した値を表す。そして、確率分布推定部１３は、以下の式（８）に基づいて累積分布のテーブル（雑音の経験累積分布）化を行う。

[0036]

[数8]

$$F_p(x) = \mathrm{Prob.}(X < x) = \frac{\#\{P_l' < x | l = 1, \ldots, L\}}{L} \quad \cdots (8)$$

[0037] 式（８）において＃｛Ｐ$_{l}$´＜ｘ｜ｌ＝１，…，Ｌ｝はｘよりも小さい雑音のサンプル数を表す。その後、確率分布推定部１３は、以下の式（９）に基づいて雑音の密度分布ｆ$_{p}$（ｘ$_{n}$）を計算する（ステップＳ１０３）。

[0038] [数9]

$$f_p(x_n) = \frac{dF_p(x_n)}{dx} = \frac{F_p(x_n + \Delta x) - F_p(x_n)}{\Delta x} \quad \cdots (9)$$

[0039] 確率分布推定部１３は、計算した雑音の密度分布ｆ$_{p}$（ｘ$_{n}$）を用いて、ｎの値を変化させた際の雑音の密度分布ｆ$_{p}$（ｘ$_{n}$）を図６に示すようにテーブルに保存することによって雑音の密度分布をテーブル化する（ステップＳ１０４）。図６は、第１の実施形態における密度分布テーブルの構成例を示す図である。密度分布テーブルに保存されている雑音の密度分布は、上述したように受信装置１０が設置される環境において事前に測定した雑音サンプルに基づいて作成される。そのため、雑音の密度分布は、ＡＷＧＮ伝送路を仮定して得られる雑音の密度分布と比較して受信装置１０が設置される環境で発生する雑音の密度分布に近い確率密度分布になる。

[0040] 図７は、第１の実施形態における受信装置１０の処理の流れを示すフローチャートである。なお、図７の処理は、送信装置１と受信装置１０との実際の通信時の処理であり、密度分布テーブルがすでに作成されているものとする。

[0041] ＬＬＲ計算部１４は、系列長Ｎの受信シンボル系列（ｙ$_{j}$，ｙ$_{j+1,}$ …，ｙ$_{j+N-1}$）を収集する（ステップＳ２０１）。ＬＬＲ計算部１４は、収集した系列長Ｎの受信シンボル系列（ｙ$_{j}$，ｙ$_{j+1,}$ …，ｙ$_{j+N-1}$）と、確率分布推定部１３によって作成された密度分布テーブルとを用いて、以下の式（１０）に基づいて、受信シンボル系列に含まれる受信シンボル毎にＬＬＲ値を算出する（

ステップＳ２０２）。具体的には、ＬＬＲ計算部１４は、式（１０）の分子においては、受信信号に所望の既知信号s_nが含まれていると仮定した場合、つまり、雑音成分x_nを$y_{j+n-1}-\sigma_s s_n$として図８に示す密度分布テーブルを参照し、式（１０）の分母においては、受信信号に所望の既知信号s_nが含まれていないと仮定した場合、つまり、雑音成分x_nをy_{j+n-1}として図６に示す密度分布テーブルを参照する。

[0042] [数10]

$$\Lambda_j = \log\left(\frac{f_n(\mathbf{y}_j|H_1)}{f_n(\mathbf{y}_j|H_0)}\right) \quad \cdots（１０）$$

[0043] なお、式（１０）内の関数f_p（ｘ）の計算時に、ｘが図６の密度分布テーブルに含まれていない場合は、ｘの最近傍に対応する列を図６の密度分布テーブルから探索し、最近傍点に対応する列の値をf_p（ｘ）の近似値として計算しても良い。あるいは、図６の密度分布テーブルに補間処理を施してｘに対応するf_p（ｘ）を推定しても良い。

[0044] ＬＬＲ計算部１４は、算出した受信シンボル毎のＬＬＲ値から、式（１０）に基づいてＬＬＲ値Λ_jを計算し、閾値判定部１５に出力する（ステップＳ２０３）。閾値判定部１５は、ＬＬＲ計算部１４から出力されたＬＬＲ値Λ_jを入力とする。閾値判定部１５は、入力したＬＬＲ値Λ_jに基づいて閾値判定を行う（ステップＳ２０４）。具体的には、閾値判定部１５は、ＬＬＲ値Λ_jと事前に設定した閾値とを比較することによって閾値判定を行う。閾値判定部１５は、閾値判定の結果として、ＬＬＲ値Λ_jが閾値を超えたか否か判定する（ステップＳ２０５）。

[0045] 閾値判定部１５が、ＬＬＲ値Λ_jが閾値を超えたと判定した場合（ステップＳ２０５－ＹＥＳ）、閾値判定部１５はｊの位置を受信信号の先頭位置として検出する。その後、閾値判定部１５は、系列長Ｋの受信シンボル系列（y_j，y_{j+1}，…，y_{j+K-1}）を復調部１２に出力する。復調部１２は、閾値判定部１５から入力された系列長Ｋの受信シンボル系列（y_j，y_{j+1}，…，y_{j+K-1}）

を復調する（ステップＳ２０６）。

[0046] 一方、閾値判定部１５が、ＬＬＲ値Λ_jが閾値を超えていないと判定した場合（ステップＳ２０５－ＮＯ）、閾値判定部１５は受信信号ベクトルを１シンボル分だけ次のフレームに進める（ステップＳ２０７）。すなわち、閾値判定部１５は、ｊの値を１だけ増やすことによって、受信信号ベクトルを１シンボル分だけ次のフレームに進める。その後、ステップＳ２０１に戻り、信号検出を続行する。

[0047] 以上のように構成された受信装置１０によれば、水中の音響通信において信号検出の性能を向上させることが可能になる。具体的には、受信装置１０は、１以上の受信シンボルを含む受信シンボル系列と正規分布以外の確率密度分布に基づいてＬＬＲ値Λ_jを算出するＬＬＲ計算部１４と、算出されたＬＬＲ値Λ_jに基づいて、信号を検出するための閾値判定を行う閾値判定部１５とを備える。ここで、受信装置１０は、正規分布以外の確率密度分布として、受信装置１０が設置される環境において事前に測定した雑音サンプルに基づいて作成された密度分布テーブルを用いて受信シンボル毎のＬＬＲ値を算出する。このように、受信装置１０は、受信装置１０が設置される環境で発生する雑音の密度分布に近い確率密度分布を用いて受信シンボル毎のＬＬＲ値を算出する。したがって、受信シンボル毎のＬＬＲ値の推定精度を向上させることができる。そのため、水中の音響通信において信号検出の性能を向上させることが可能になる。

[0048] 受信装置１０は、実際の通信前における雑音測定で得られた雑音の分布を用いて密度分布テーブルを作成し、作成した密度分布テーブルを用いて受信シンボル毎のＬＬＲ値を算出する。このように、受信装置１０は、受信装置１０が設置される環境で発生する雑音を収集して、通信開始前にあらかじめ密度分布テーブルを作成しておく。これにより、受信装置１０が設置される環境で発生する雑音の密度分布に近い確率密度分布が保存された密度分布テーブルを用いて受信シンボル毎のＬＬＲ値を算出することができる。したがって、受信シンボル毎のＬＬＲ値の推定精度を向上させることができる。そ

のため、水中の音響通信において信号検出の性能を向上させることが可能になる。

[0049]（第１の実施形態の変形例１）

雑音の確率密度分布は、図５に示した方法に限られず、他の方法で作成されてもよい。また、雑音の確率密度分布が既知である場合は推定しなくてもよい。

[0050]（第１の実施形態の変形例２）

上述した実施形態では、受信装置１０において密度分布テーブルを作成する構成を示したが、受信装置１０は密度分布テーブルを外部から取得してもよい。このように構成される場合、受信装置１０のＬＬＲ計算部１４は、外部の装置において事前に作成された密度分布テーブルを取得して受信シンボル毎にＬＬＲ値を算出する。

[0051]（第２の実施形態）

第１の実施形態では、雑音の確率密度分布の正確な直接計算のために、通信の開始前に、受信装置が設置される環境における長時間の雑音の事前測定が必要であった。第２の実施形態では、短時間の雑音の事前測定で雑音の密度分布を近似可能な構成について説明する。具体的には、第２の実施形態では、裾の広い海中の雑音の密度分布をｔ分布で近似し、さらに信号電力を推定して尤度比検定を実行する。

[0052] 図８は、第２の実施形態における信号検出部１１ａの構成例を示す図である。信号検出部１１ａは、ＬＬＲ計算部１４ａと、閾値判定部１５と、パラメータ推定部１６とを備える。信号検出部１１ａは、確率分布推定部１３を備えない点と、ＬＬＲ計算部１４に代えてＬＬＲ計算部１４ａを備える点と、パラメータ推定部１６を新たに備える点で信号検出部１１と構成が異なる。以下、信号検出部１１との相違点を中心に説明する。

[0053] パラメータ推定部１６は、系列長Ｍの雑音系列（$N_1, \cdots, N_M$）を入力とし、入力した雑音系列を用いて以下の式（１１）又は式（１２）に基づいて分散パラメータσを推定する。また、パラメータ推定部１６は、推定した分散

パラメータσと式（１３）に基づいて分布の裾の広さを表すパラメータνを推定する。

[0054] [数11]

$$\sigma^2 = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M}|N_i|^2 \quad \cdots（１１）$$

[0055] [数12]

$$\sigma^2 = \frac{1}{M-1}\sum_{i=1}^{M}|N_i|^2 \quad \cdots（１２）$$

[0056] [数13]

$$\nu = \mathrm{argmax}_{\nu_i \in \{\nu_0,\ldots,\nu_M\}} \prod_{j=1,\ldots,\mathrm{M}} f_t(N_j; 0, \nu_i, \sigma) \quad \cdots（１３）$$

[0057] 式（１３）における$f_t(N_j; 0, \nu_i, \sigma)$はｔ分布の密度関数であり、以下の式（１４）のように表される。式（１４）におけるΓはガンマ関数を表す。

[0058] [数14]

$$f_t(x; s, \nu, \sigma^2) = \frac{\Gamma\left(\frac{\nu+1}{2}\right)}{\sigma\sqrt{\pi(\nu-2)}\Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right)}\left(1+\frac{(x-s)^2}{(\nu-2)\sigma^2}\right)^{-(\nu+1)/2} \quad \cdots（１４）$$

[0059] ＬＬＲ計算部１４ａは、最小二乗規範に基づいて受信シンボル系列から受信信号電力σ_sを推定する。さらに、ＬＬＲ計算部１４ａは、ｔ分布パラメータ（σ，νｓ）と、推定した受信信号電力σ_sに基づいて受信シンボル系列に含まれる受信シンボル毎にＬＬＲ値を算出する。ＬＬＲ計算部１４ａでは、パラメータ推定部１６が推定したｔ分布パラメータ（σ，νｓ）を用いて受信シンボル系列に含まれる受信シンボル毎にＬＬＲ値を算出している。すなわち、第２の実施形態におけるＬＬＲ計算部１４ａは、正規分布以外の確率密度分布に基づいてＬＬＲ値を算出する。

[0060] 図９は、第２の実施形態における受信装置１０ａの処理の流れを示すフローチャートである。

パラメータ推定部１６は、系列長Ｍの雑音系列（$N_1, \cdots, N_M$）を収集する（ステップＳ３０１）。パラメータ推定部１６は、収集した系列長Ｍの雑音系列（$N_1, \cdots, N_M$）を用いて、上式（１１）又は上式（１２）、および上式（１３）に基づいてｔ分布パラメータ（σ，ν）を推定する（ステップＳ３０２）。その後、パラメータ推定部１６は、推定したｔ分布パラメータ（σ，ν）を用いて、雑音の密度分布をｔ分布で近似する（ステップＳ３０３）。

[0061] パラメータ推定部１６は、分散パラメータσと、推定した密度分布の裾の広さνとをｔ分布パラメータ（σ，ν）としてＬＬＲ計算部１４ａに出力する。ＬＬＲ計算部１４ａは、パラメータ推定部１６から出力されたｔ分布パラメータ（σ，ν）を入力とする。さらにＬＬＲ計算部１４ａは、系列長Ｎの受信シンボル系列（$y_j, y_{j+1}, \cdots, y_{j+N-1}$）を収集する。ＬＬＲ計算部１４ａは、入力したｔ分布パラメータ（σ，ν）と、収集した系列長Ｎの受信シンボル系列（$y_j, y_{j+1}, \cdots, y_{j+N-1}$）とを用いて、以下の式（１５）に示すように最小二乗規範に基づいて、信号電力σ_sの最尤推定値を算出する（ステップＳ３０４）。

[0062] [数15]

$$\hat{\sigma_s} = \arg\max_{\sigma_s} f_n(\mathbf{y}_j | H_1) \Leftrightarrow \arg\min_{\sigma_s} \left|\mathbf{y}_j - \sigma_s \mathbf{s}\right|^2 \quad \cdots (15)$$

[0063] ここで、式（１５）における$|y_j - \sigma_s s|^2$は下に凸の関数であるため、信号電力σ_sの最尤推定値は以下の式（１６）で与えられる。

[0064] [数16]

$$\frac{\partial}{\partial \sigma_s}\left|\mathbf{y}_j - \sigma_s \mathbf{s}\right|^2 = 0 \Rightarrow \hat{\sigma_s} = \frac{\mathrm{Re}\{\mathbf{y}_j^H \mathbf{s}\}}{|\mathbf{s}|^2} \quad \cdots (16)$$

[0065] ＬＬＲ計算部１４ａは、ステップＳ３０２及びＳ３０４で得られたパラメータ（σ, ν, σ_s）を用いて、以下の式（１７）に基づいてＬＬＲ値Λ_jを算出する（ステップＳ３０５）。

[0066] [数17]

$$\Lambda_j = \frac{f_n(\mathbf{y}_j|H_1)}{f_n(\mathbf{y}_j|H_0)} = \frac{\Pi_i\left(1+\frac{\left(y_{j+i}-\sigma_s s_i\right)^2}{(\nu-2)\sigma_n^2}\right)^{-\frac{(\nu+1)}{2}}}{\Pi_i\left(1+\frac{\left(y_{j+i}\right)^2}{(\nu-2)\sigma_n^2}\right)^{-\frac{(\nu+1)}{2}}} \quad \cdots (17)$$

[0067] ＬＬＲ計算部１４ａは、算出したＬＬＲ値Λ_jを閾値判定部１５に出力する（ステップＳ３０６）。閾値判定部１５は、ＬＬＲ計算部１４ａから出力されたＬＬＲ値Λ_jを入力とする。閾値判定部１５は、入力したＬＬＲ値Λ_jに基づいて閾値判定を行う（ステップＳ３０７）。具体的には、閾値判定部１５は、ＬＬＲ値Λ_jと事前に設定した閾値とを比較することによって閾値判定を行う。閾値判定部１５は、閾値判定の結果として、ＬＬＲ値Λ_jが閾値を超えたか否か判定する（ステップＳ３０８）。

[0068] 閾値判定部１５が、ＬＬＲ値Λ_jが閾値を超えたと判定した場合（ステップＳ３０８－ＹＥＳ）、閾値判定部１５はｊの位置を受信信号の先頭位置として検出する。その後、閾値判定部１５は、系列長Ｋの受信シンボル系列（$y_j, y_{j+1}, \cdots, y_{j+K-1}$）を復調部１２に出力する。復調部１２は、閾値判定部１５から入力された系列長Ｋの受信シンボル系列（$y_j, y_{j+1}, \cdots, y_{j+K-1}$）を復調する（ステップＳ３０９）。

[0069] 一方、閾値判定部１５が、ＬＬＲ値Λ_jが閾値を超えていないと判定した場合（ステップＳ２３０７－ＮＯ）、閾値判定部１５は受信信号ベクトルを１シンボル分だけ次のフレームに進める（ステップＳ３１０）。すなわち、閾値判定部１５は、ｊの値を１だけ増やすことによって、受信信号ベクトルを１シンボル分だけ次のフレームに進める。その後、ステップＳ２０１に戻り、信号検出を続行する。

[0070] 以上のように構成された第２の実施形態における受信装置１０によれば、

第１の実施形態と同様の効果を得ることができる。

[0071] 第２の実施形態における受信装置１０は、雑音の密度分布をｔ分布により近似する。このｔ分布による近似は短時間の雑音測定により実現可能であり、受信装置１０ａは、第１の実施形態のように通信を開始する前の長時間の雑音の測定が不要になる。そのため、長時間の雑音の事前測定なしですぐに通信を開始することができる。

[0072]（提案信号検出方式の計算機シミュレーションによる有効性評価）

雑音の確率密度分布を雑音サンプルから直接計算した提案の最適信号検出方式、そして雑音のｔ分布近似及び信号電力推定を行った提案信号検出方式の有効性評価を数値シミュレーションにより行った。比較対象は従来の相互相関検出とした。提案方式におけるｔ分布のパラメータ推定は２０００サンプルの雑音データから行った。

[0073] シミュレーション条件は以下のとおりである。

・雑音モデル：実海域で測定した雑音の確率密度分布（図２のL２の分布）から生成

・既知信号系列：M系列（１２７シンボル）

・無信号区間：既知信号区間の前後に１０００シンボル分

・閾値λ：ＲＯＣ（Receiver Operating Characteristic）曲線から最適な値を決定

・信号検出技術：第１の実施形態における提案技術（雑音の確率密度分布を雑音サンプルから直接計算し、信号電力を既知とした最適信号検出）と、第２の実施形態における提案技術（雑音の確率密度分布のｔ分布近似＋信号電力推定）と、従来技術（相互相関検出）

[0074] 上記のシミュレーション条件に基づいてシミュレーションを行った結果を図１０に示す。図１０は、雑音の確率密度分布がガウス分布から大きく乖離する浅海域（図２のL２の分布に対応）におけるシミュレーション結果を示す図である。図１０において横軸はＳＮＲを表し、縦軸は誤検出率を表す。さらに、図１０において線分Ｌ５は従来技術（相互相関検出）を用いて得られ

たシミュレーション結果であり、線分Ｌ６は第１の実施形態における提案技術である最適信号検出を用いて得られたシミュレーション結果であり、線分Ｌ７は第２の実施形態における提案技術を用いて得られたシミュレーション結果である。

[0075] 図１０に示した通り、提案技術は少ない雑音サンプルの観測という実用的な条件で、最適信号検出に近い性能を達成できることを確認した。従来の相互相関検出と比較して、約５．５ｄＢの性能改善を達成できることを確認した。

[0076] （第２の実施形態の変形例）

上記の式（１１）、式（１２）及び式（１３）におけるｔ分布パラメータ（σ, ν）は固定値であってもよい。このように構成される場合、受信装置１０は、パラメータ推定部１６を備えなくてもよい。

[0077] 第１の実施形態及び第２の実施形態における受信装置１０の各機能部のうちの一部又は全部は、ＣＰＵ（Central Processing Unit）等のプロセッサが、不揮発性の記録媒体（非一時的記録媒体）を有する記憶装置と記憶部とに記憶されたプログラムを実行することにより、ソフトウェアとして実現される。プログラムは、コンピュータ読み取り可能な非一時的記録媒体に記録されてもよい。コンピュータ読み取り可能な非一時的記録媒体とは、例えばフレキシブルディスク、光磁気ディスク、ＲＯＭ（Read Only Memory）、ＣＤ－ＲＯＭ（Compact Disc Read Only Memory）等の可搬媒体、コンピュータシステムに内蔵されるハードディスク等の記憶装置などの非一時的記録媒体である。

[0078] 第１の実施形態及び第２の実施形態における受信装置１０の各機能部のうちの一部又は全部は、例えば、ＬＳＩ（Large Scale Integrated circuit）、ＡＳＩＣ（Application Specific Integrated Circuit）、ＰＬＤ（Programmable Logic Device）又はＦＰＧＡ（Field Programmable Gate Array）等を用いた電子回路（electronic circuit又はcircuitry）を含むハードウェアを用いて実現されてもよい。

[0079] 以上、この発明の実施形態について図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計等も含まれる。

産業上の利用可能性

[0080] 本発明は、水中音響通信に適用できる。

符号の説明

[0081] １…送信装置，１０、１０ａ…受信装置，　１１…信号検出部，　１２…復調部，　１３…確率分布推定部，　１４、１４ａ…ＬＬＲ計算部，　１５…閾値判定部，　１６…パラメータ推定部

請求の範囲

[請求項1] １以上の受信シンボルと、正規分布以外の確率密度分布に基づいて尤度比を算出する計算部と、

算出された前記尤度比に基づいて、信号を検出するための閾値判定を行う閾値判定部と、

を備える受信装置。

[請求項2] 前記計算部は、雑音測定で得られた雑音の確率密度分布に基づいて、前記尤度比を算出する、

請求項１に記載の受信装置。

[請求項3] 前記雑音の確率密度分布は、通信開始前において、前記受信装置が設置される環境において収集された雑音サンプルに基づいて生成される、

請求項２に記載の受信装置。

[請求項4] 前記１以上の受信シンボルに対応する１以上の雑音系列に基づいて前記雑音の確率密度分布を推定する確率分布推定部をさらに備える、

請求項２又は３に記載の受信装置。

[請求項5] 前記計算部は、前記正規分布以外の確率密度分布をt分布に基づいて近似し、信号電力を推定することによって前記尤度比を算出する、

請求項１に記載の受信装置。

[請求項6] 前記計算部は、最小二乗規範に基づいて前記信号電力を推定する、

請求項５に記載の受信装置。

[請求項7] 前記１以上の受信シンボルに対応する１以上の雑音に基づいてｔ分布パラメータを推定するパラメータ推定部をさらに備え、

前記計算部は、前記１以上の受信シンボルと、前記ｔ分布パラメータを用いて前記正規分布以外の確率密度分布をt分布に基づいて近似し、最小二乗規範に基づいて前記信号電力を推定する、

請求項５又は６に記載の受信装置。

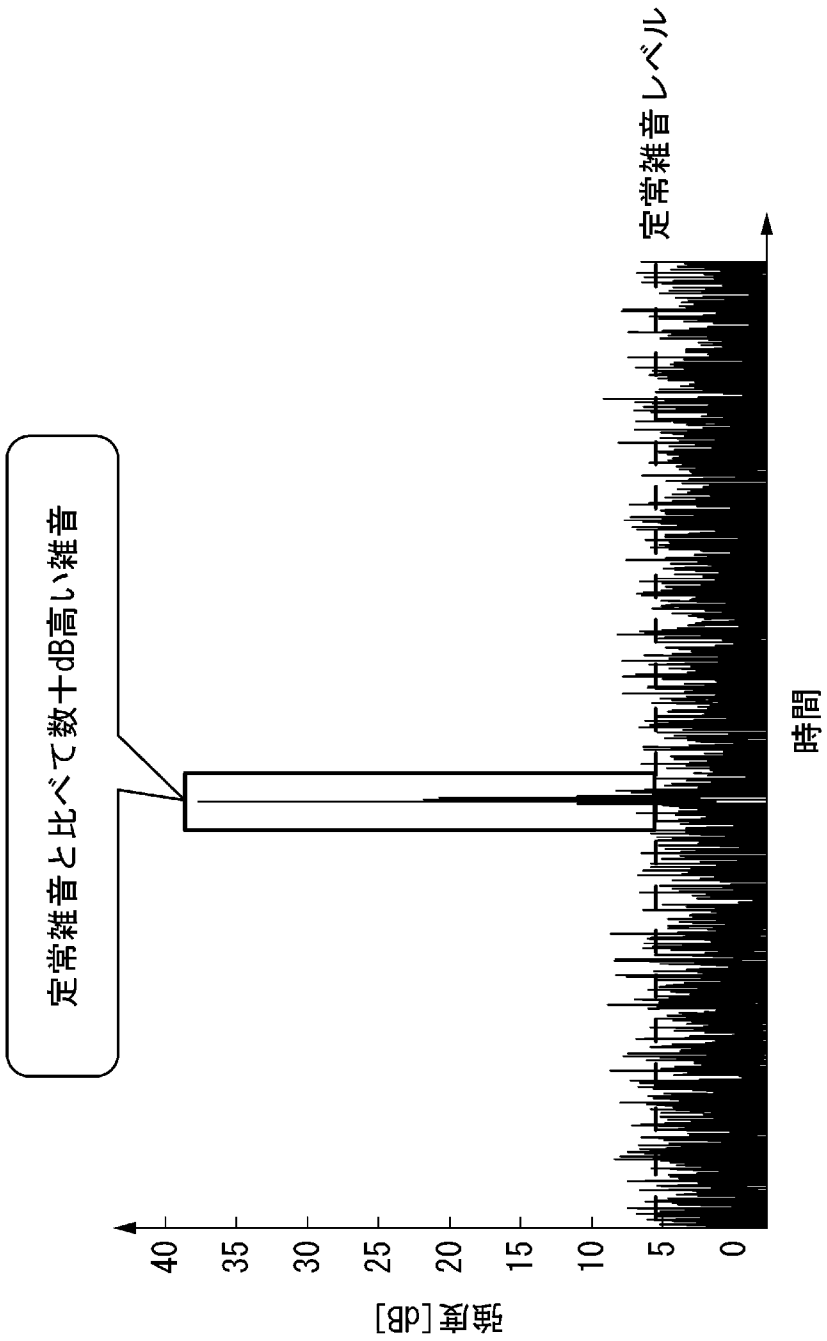
[請求項8] １以上の受信シンボルと、正規分布以外の確率密度分布に基づいて

尤度比を算出し、

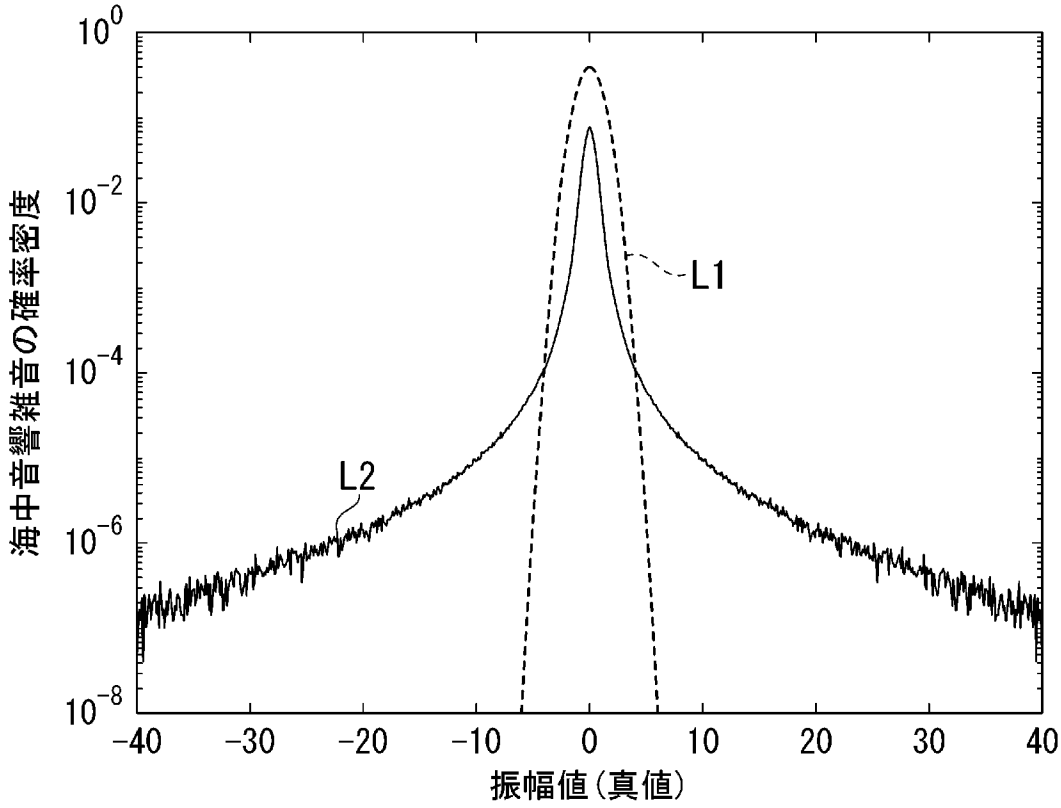
算出された前記尤度比に基づいて、信号を検出するための閾値判定を行う、

信号検出方法。

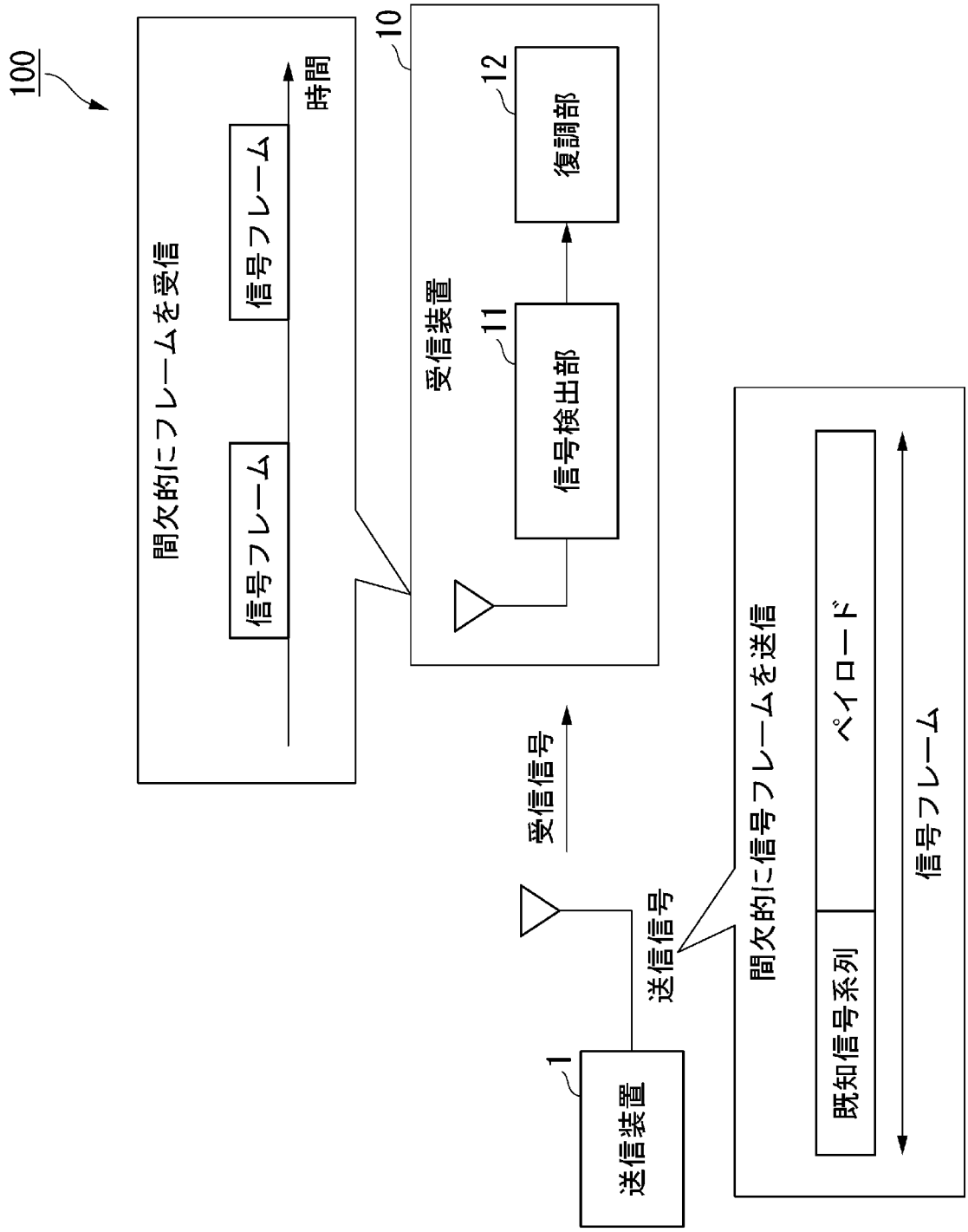
[図1]



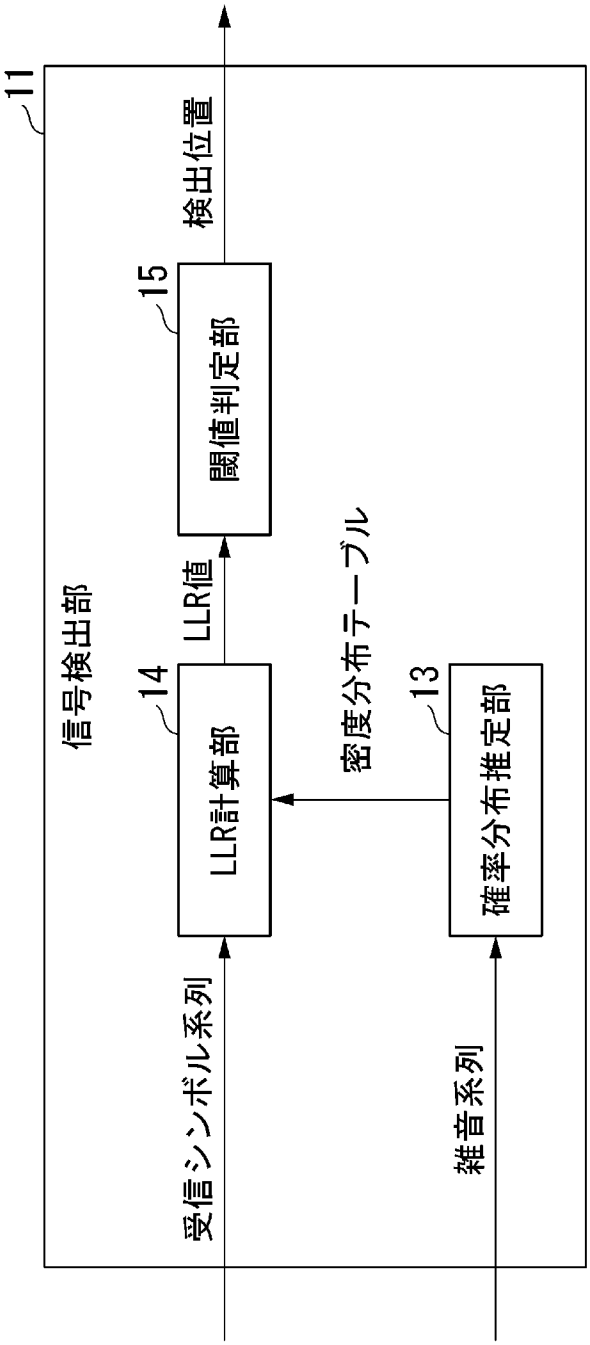
[図2]


海中音響雑音の確率密度
振幅値（真値）
L1
L2
10^{0}
10^{-2}
10^{-4}
10^{-6}
10^{-8}
−40
−30
−20
−10
0
10
20
30
40

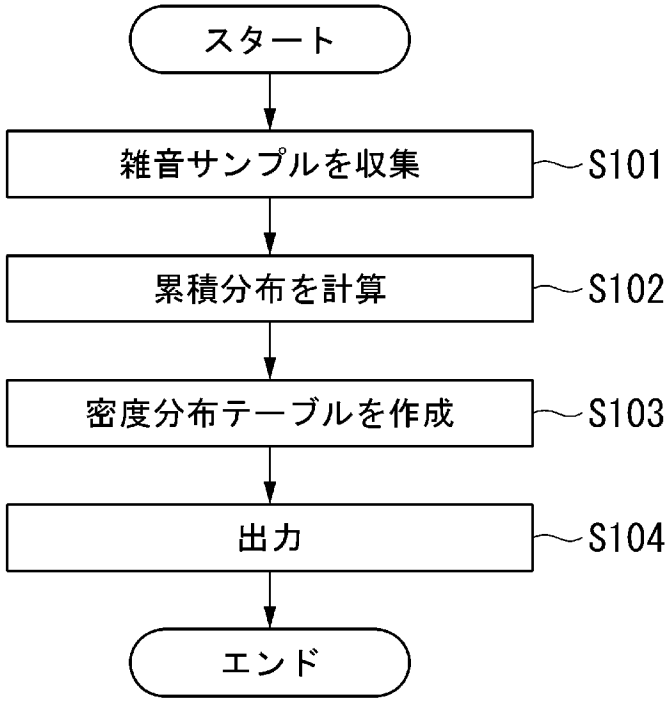
[図3]


100
間欠的にフレームを受信
信号フレーム
信号フレーム
時間
10
受信装置
12
復調部
11
信号検出部
受信信号
送信信号
1
送信装置
間欠的に信号フレームを送信
既知信号系列
ペイロード
信号フレーム

[図4]


11
信号検出部
検出位置
15
閾値判定部
LLR値
14
LLR計算部
密度分布テーブル
13
確率分布推定部
受信シンボル系列
雑音系列

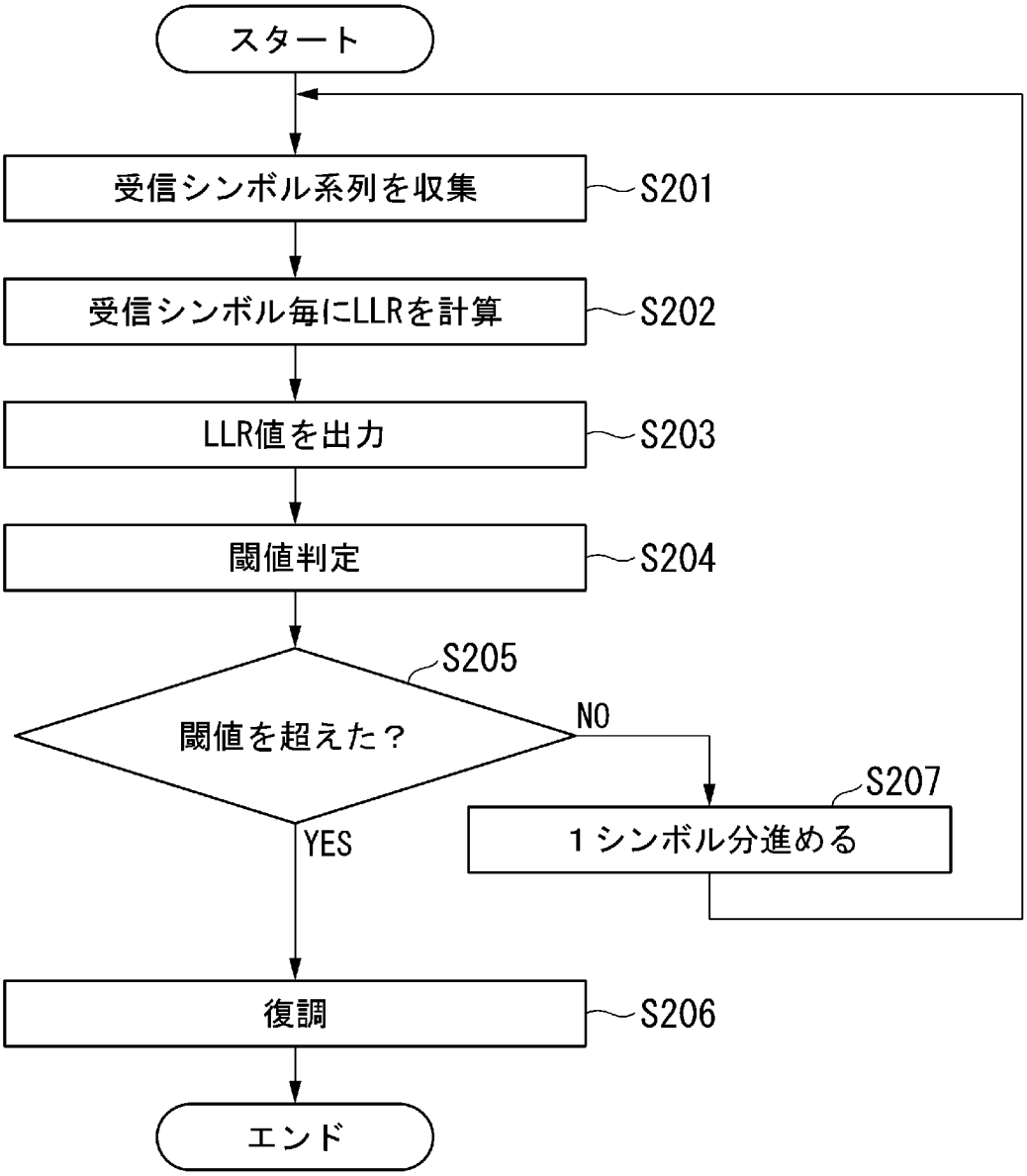
[図5]



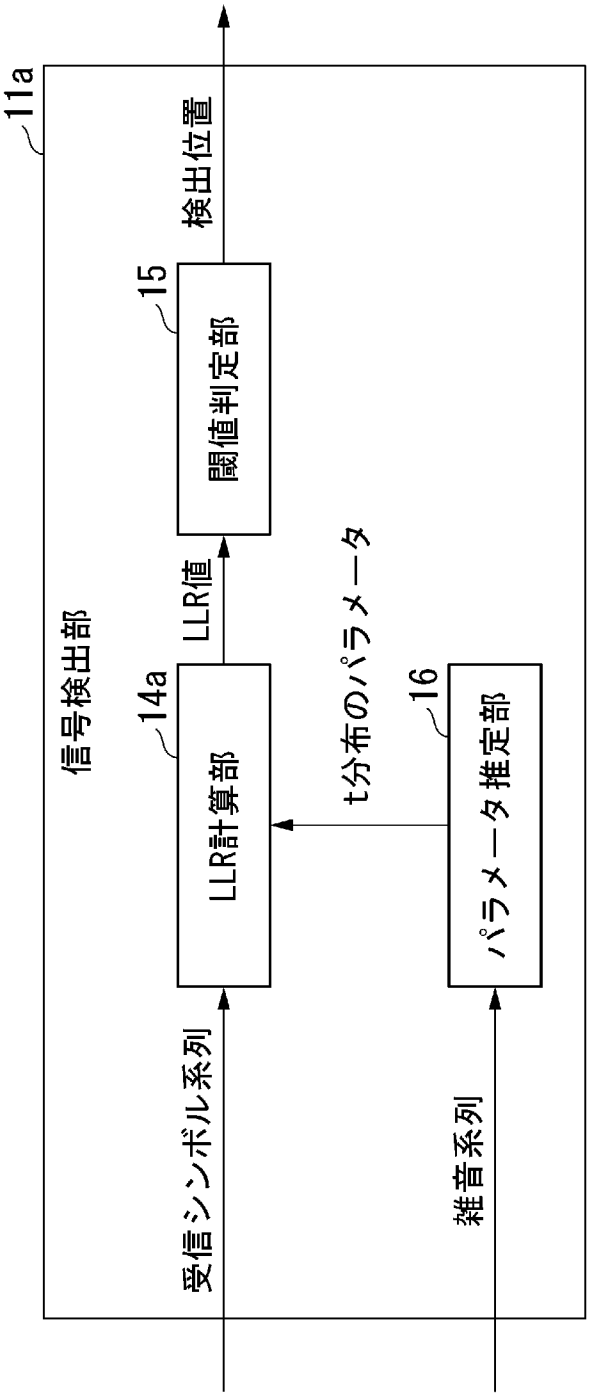
[図6]

x_1	x_2	…
$f_p(x_1)$	$f_p(x_2)$	…

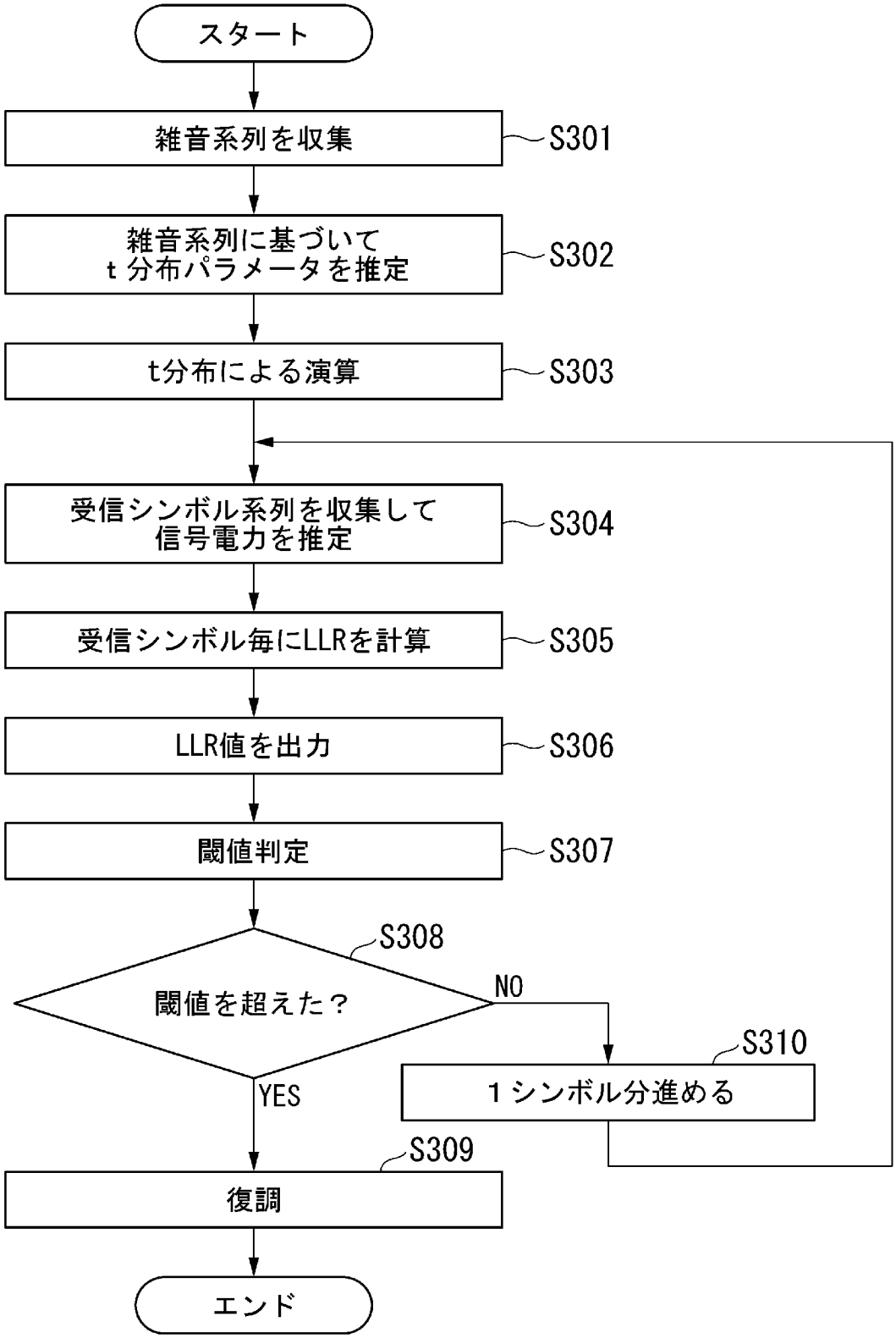
[図7]


スタート
受信シンボル系列を収集
S201
受信シンボル毎にLLRを計算
S202
LLR値を出力
S203
閾値判定
S204
S205
閾値を超えた？
NO
YES
S207
１シンボル分進める
復調
S206
エンド

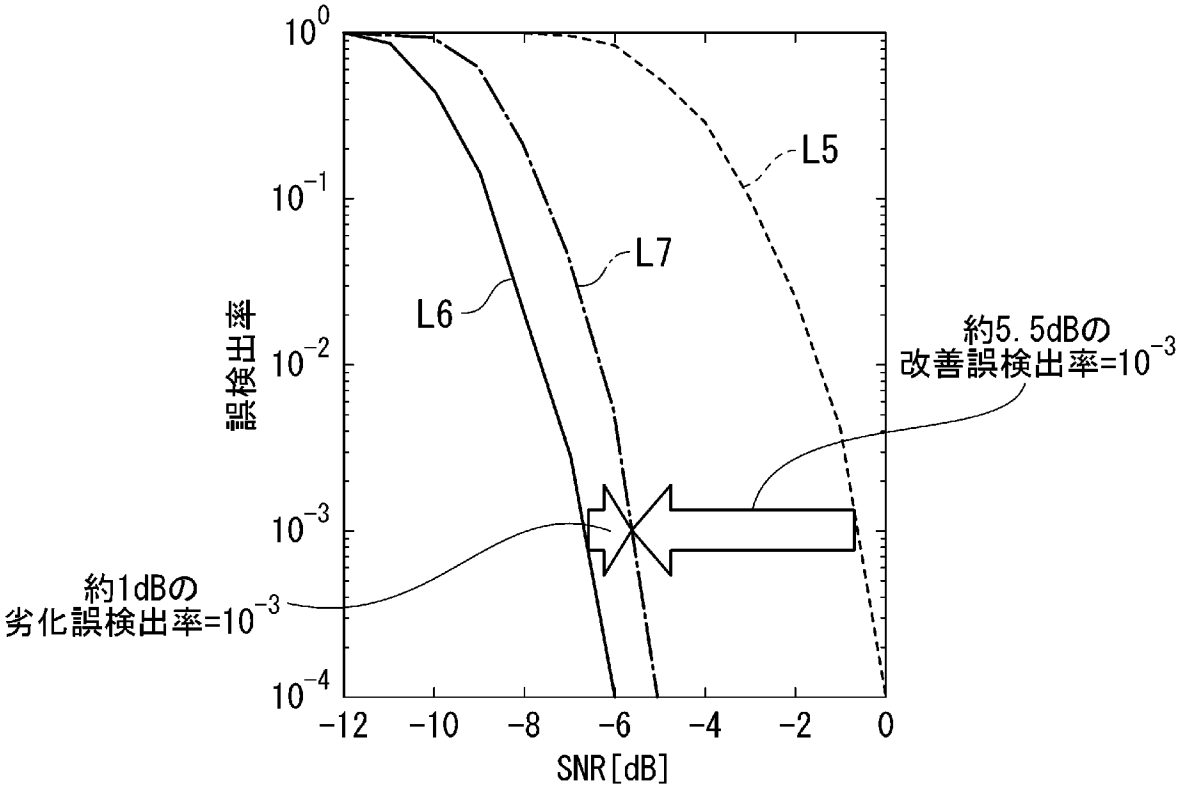
[図8]


11a
信号検出部
検出位置
15
閾値判定部
LLR値
14a
LLR計算部
t分布のパラメータ
16
パラメータ推定部
受信シンボル系列
雑音系列

[図9]


スタート
雑音系列を収集
S301
雑音系列に基づいて
t 分布パラメータを推定
S302
t分布による演算
S303
受信シンボル系列を収集して
信号電力を推定
S304
受信シンボル毎にLLRを計算
S305
LLR値を出力
S306
閾値判定
S307
S308
閾値を超えた？
NO
YES
S310
１シンボル分進める
S309
復調
エンド

[図10]


10^0
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
誤検出率
L5
L7
L6
約5.5dBの
改善誤検出率=10^{-3}
約1dBの
劣化誤検出率=10^{-3}
-12
-10
-8
-6
-4
-2
0
SNR[dB]

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2023/028462

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04B 11/00(2006.01)i
FI: H04B11/00 D

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04B11/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023
Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2010-130322 A (FUJITSU LIMITED) 10 June 2010 (2010-06-10) paragraphs [0017]-[0256], fig. 1-45	1-4, 8
A	JP 2007-272973 A (SHARP KABUSHIKI KAISHA) 18 October 2007 (2007-10-18)	1-8
A	JP 2018-502512 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 25 January 2018 (2018-01-25)	1-8
A	JP 2020-535562 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 03 December 2020 (2020-12-03)	5-7
A	KR 10-2280403 B1 (KOREA INSTITUTE OF OCEAN SCIENCE & TECHNOLOGY) 23 July 2021 (2021-07-23)	5-7

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
22 September 2023	**03 October 2023**
Name and mailing address of the ISA/JP **Japan Patent Office (ISA/JP)** **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2023/028462

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2010-130322 A	10 June 2010	US 2010/0128809 A1 paragraphs [0063]-[0321], fig. 1-45	
JP 2007-272973 A	18 October 2007	(Family: none)	
JP 2018-502512 A	25 January 2018	US 2016/0277121 A1 CN 107431538 A	
JP 2020-535562 A	03 December 2020	US 2019/0188592 A1 CN 111480126 A	
KR 10-2280403 B1	23 July 2021	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2023/028462

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

H04B 11/00(2006.01)i
FI: H04B11/00 D

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

H04B11/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０２３年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２３年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２３年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X	JP 2010-130322 A (富士通株式会社) 10.06.2010 (2010-06-10) 段落[0017]-[0256], 図1-45	1-4,8
A	JP 2007-272973 A (シャープ株式会社) 18.10.2007 (2007-10-18)	1-8
A	JP 2018-502512 A (三菱電機株式会社) 25.01.2018 (2018-01-25)	1-8
A	JP 2020-535562 A (三菱電機株式会社) 03.12.2020 (2020-12-03)	5-7
A	KR 10-2280403 B1 (KOREA INSTITUTE OF OCEAN SCIENCE & TECHNOLOGY) 23.07.2021 (2021-07-23)	5-7

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
"E" 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
"L" 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
"P" 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
"T" 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
"X" 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
"Y" 特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
"&" 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
22.09.2023	03.10.2023

名称及びあて先

日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）

鴨川　学 5K 6307

電話番号 03-3581-1101 内線 3556

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2023/028462

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2010-130322 A	10.06.2010	US 2010/0128809 A1 段落[0063]-[0321], 図1-45	
JP 2007-272973 A	18.10.2007	（ファミリーなし）	
JP 2018-502512 A	25.01.2018	US 2016/0277121 A1 CN 107431538 A	
JP 2020-535562 A	03.12.2020	US 2019/0188592 A1 CN 111480126 A	
KR 10-2280403 B1	23.07.2021	（ファミリーなし）	