(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
2024年2月15日(15.02.2024)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2024/034154 A1

(51) 国際特許分類:
H03M 13/41 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2023/001097

(22) 国際出願日： 2023年1月17日(17.01.2023)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

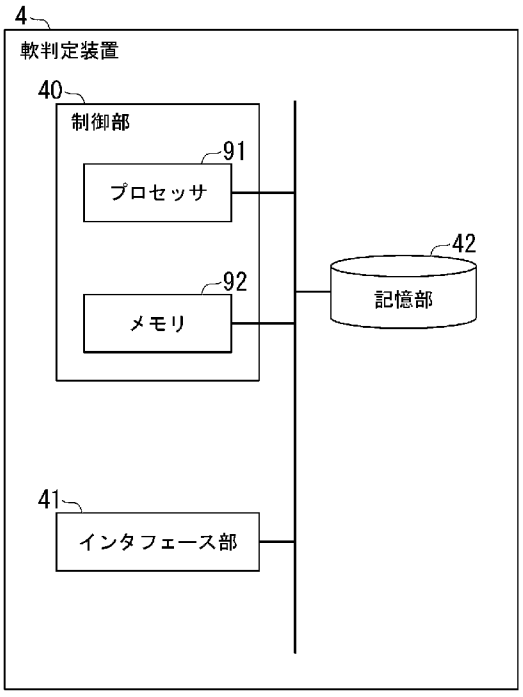
(30) 優先権データ：
PCT/JP2022/030392 2022年8月9日(09.08.2022) JP

(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: 谷口 寛樹 (**TANIGUCHI Hiroki**); 〒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). 山本 秀人 (**YAMAMOTO Shuto**); 〒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). 中村 政則 (**NAKAMURA Masanori**); 〒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). 増田 陽 (**MASUDA Akira**); 〒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). 木坂 由明 (**KISAKA Yoshiaki**); 〒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).

(54) **Title:** SOFT DECISION DEVICE, SOFT DECISION METHOD, AND PROGRAM

(54) 発明の名称： 軟判定装置、軟判定方法及びプログラム



(57) **Abstract:** The present invention provides a soft decision device that performs a soft decision on the (n+1)th symbol of a transmitted signal with a symbol multi-value degree of m, the soft decision device comprising a control unit that estimates a branch metric which is a distance obtained using a Viterbi algorithm on the basis of an estimated transfer function which is the estimation result of a transfer function of a transmission path, and a received signal, and is the distance in a distance function that indicates the likelihood of transitioning from the nth symbol of the transmitted signal

WO 2024/034154 A1

［続葉有］

(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, 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, 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)）

to each candidate for the (n+1)th symbol, estimates a path metric which is the sum of the distance that is obtained using the Viterbi algorithm on the basis of the result of the branch metric estimation process, is the distance in the distance function, and is the distance indicating the likelihood that each candidate for the (n+1)th symbol of the transmitted signal is a symbol of the transmitted signal, and the distance of a prescribed remaining path of the transmitted signal, and estimates the likelihood that the kth bit in the (n+1)th symbol of the transmitted signal is a prescribed bit.

(57) 要約：シンボル多値度がｍの送信信号、の（ｎ＋１）番目のシンボルに対する軟判定を行う軟判定装置であって、伝送路の伝達関数の推定結果である推定伝達関数と、受信信号と、に基づき、ビタビ・アルゴリズムで得られる距離であり距離関数における距離であり送信信号のｎ番目のシンボルから（ｎ＋１）番目のシンボルの各候補に遷移する尤度を示す距離であるブランチメトリックを推定し、前記ブランチメトリック推定処理の結果に基づき、ビタビ・アルゴリズムで得られる距離であり距離関数における距離であり送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルの各候補が送信信号のシンボルである尤度を示す距離と送信信号の所定の残存パスの距離との合計であるパスメトリックを推定し、送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルの各候補のパスメトリックを用い、送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルにおけるｋ番目のビットが所定のビットである尤度を推定する制御部、を備える軟判定装置。

明　細　書

発明の名称 ： 軟判定装置、軟判定方法及びプログラム

技術分野

[0001] 本発明は、軟判定装置、軟判定方法及びプログラムに関する。

本願は、２０２２年８月９日に国際出願されたＰＣＴ／ＪＰ２０２２／０３０３９２号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 近年のネットワークトラフィックの増大に対応するため、光伝送システムの高速化及び長距離化の検討が進められている。

先行技術文献

非特許文献

[0003] 非特許文献1：D. D. Falconer, et al., ‘Adaptive channel memory truncation for maximum likelihood sequence estimation,’ The Bell System Technical Journal, vol. 52, no. 9, pp. 1541 - 1562 (1973)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、光伝送システムでは高速化及び長距離化に伴い信号の歪や雑音が増大する。そのため、送信機によって送信された光信号である送信信号のシンボルを推定する技術が必要とされており、伝送路の伝達関数の逆関数を用いて送信信号のシンボルを推定することが提案されている。しかしながら、提案された技術を用いた推定は精度が低い場合があった。

[0005] 上記事情に鑑み、本発明は、送信信号のシンボルをより高精度に推定する技術を提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明の一態様は、シンボル多値度がｍ（ｍは２以上の整数）の送信信号、の（ｎ＋１）番目（ｎは１以上Ｎ以下の整数。Ｎは１以上の整数）のシンボルである主シンボルに対する軟判定を行う軟判定装置であって、前記送信

信号が伝搬する伝送路の伝達関数の予め得られた推定結果である推定伝達関数と、前記送信信号の受信の結果である受信信号と、に基づき、ビタビ・アルゴリズムで得られる距離であり所定の距離関数が示す距離であり前記送信信号のｎ番目のシンボルから（ｎ＋１）番目のシンボルの各候補に遷移する尤度を示す距離であるブランチメトリックを推定するブランチメトリック推定処理と、前記ブランチメトリック推定処理の結果に基づき、ビタビ・アルゴリズムで得られる距離であり所定の距離関数が示す距離であり前記送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルの各候補が前記送信信号のシンボルである尤度を示す距離と、前記送信信号の１番目からｎ番目の残存パスの距離との合計であるパスメトリックを推定するパスメトリック推定処理と、前記パスメトリック推定処理によって得られた前記送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルの各候補のパスメトリックを用い、前記送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルの各候補のパスメトリック以外のパスメトリックは用いずに、前記送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルにおけるｋ番目（ｋは１以上ｍ以下の整数）のビットが所定のビットである尤度を推定するビット尤度推定処理と、を実行する制御部、を備え、前記制御部は、前記ビット尤度推定処理で推定された尤度を、前記軟判定の結果として取得する、軟判定装置である。

[0007] 本発明の一態様は、シンボル多値度がｍ（ｍは２以上の整数）の送信信号、の（ｎ＋１）番目（ｎは１以上Ｎ以下の整数。Ｎは１以上の整数）のシンボルである主シンボルに対する軟判定を行う軟判定方法であって、前記送信信号が伝搬する伝送路の伝達関数の予め得られた推定結果である推定伝達関数と、前記送信信号の受信の結果である受信信号と、に基づき、ビタビ・アルゴリズムで得られる距離であり所定の距離関数が示す距離であり前記送信信号のｎ番目のシンボルから（ｎ＋１）番目のシンボルの各候補に遷移する尤度を示す距離であるブランチメトリックを推定するブランチメトリック推定処理と、前記ブランチメトリック推定処理の結果に基づき、ビタビ・アルゴリズムで得られる距離であり所定の距離関数が示す距離であり前記送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルの各候補が前記送信信号のシンボルである尤

度を示す距離と、前記送信信号の１番目からｎ番目の残存パスの距離との合計であるパスメトリックを推定するパスメトリック推定処理と、前記パスメトリック推定処理によって得られた前記送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルの各候補のパスメトリックを用い、前記送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルの各候補のパスメトリック以外のパスメトリックは用いずに、前記送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルにおけるｋ番目（ｋは１以上ｍ以下の整数）のビットが所定のビットである尤度を推定するビット尤度推定処理と、を実行する制御ステップ、を有し、前記制御ステップは、前記ビット尤度推定処理で推定された尤度を、前記軟判定の結果として取得する、軟判定方法である。

[0008] 本発明の一態様は、上記の軟判定装置としてコンピュータを機能させるためのプログラムである。

発明の効果

[0009] 本発明により、送信信号のシンボルをより高精度に推定することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]実施形態の光伝送システムを説明する説明図。

[図2]実施形態におけるビタビ・アルゴリズムを説明する説明図。

[図3]実施形態における軟判定装置のハードウェア構成の一例を示す図。

[図4]実施形態における軟判定装置が実行する処理の流れの第１の例を示すフローチャート。

[図5]実施形態における軟判定装置が実行する処理の流れの第２の例を示すフローチャート。

[図6]実施形態における実験結果の一例を示す第１の図。

[図7]実施形態における実験結果の一例を示す第２の図。

[図8]実施形態における制御部の構成例を示す図。

[図9]実施形態における軟判定装置が実行する処理の流れの第３の例を示すフローチャート。

[図10]実施形態におけるビット尤度ヒストグラムの一例を示す図。

[図11]実施形態における実験結果の一例を示す第３の図。

発明を実施するための形態

[0011] （第１実施形態）

図１は、実施形態の光伝送システム１００を説明する説明図である。光伝送システム１００は、送信機１、伝送路２、受信機３及び軟判定装置４を備える。送信機１は、光信号を送信する。以下、送信機１の送信する光信号を送信信号という。光伝送システム１００において、送信信号のシンボル多値度はｍ（ｍは１以上の整数）であった。以下、送信信号のシンボルを主シンボルという。

[0012] 伝送路２は、光ファイバ等の、光信号が伝搬する伝送路である。送信機１の送信した送信信号は伝送路２を伝搬し受信機３に到達する。受信機３は、伝送路２を伝搬してきた光信号を受信する。以下、伝送路２を伝搬してきた光信号を受信機が受信した結果を受信信号という。

[0013] 伝送路２の伝達関数をベクトルＨ＝｛h_1、・・・、h_l｝と表すと、受信信号y_nは、x_n・Ｈ＋W_nである。Ｈは重み係数を要素とするベクトルである。したがって、h_1、・・・、h_lはいずれも、重み係数である。ｌは記憶長である。すなわち、ｌは伝達関数の時間広がりである。x_nは送信信号を示すシンボル列であり、（ｎ－ｌ＋１）番目のシンボルからｎ番目のシンボルからまでのシンボルを有するシンボル列である。ドット（・）は内積を意味する。W_nは、伝送路２を伝搬することで光信号に付与される白色雑音を表す。

[0014] 軟判定装置４は、送信信号の（ｎ＋１）番目（ｎは１以上Ｎ以下の整数。Ｎは１以上の整数）のシンボルに対する軟判定を行う。軟判定装置４は、バスで接続されたＣＰＵ（Central Processing Unit）等のプロセッサ９１とメモリ９２とを備える制御部４０を備え、プログラムを実行する。

[0015] ＜ビタビ・アルゴリズム＞

軟判定装置４による軟判定では、ビタビ・アルゴリズムにおいて定義される量が用いられる。そこで軟判定装置４による軟判定の説明に先立ち、念の

ため、ビタビ・アルゴリズムについて説明する。説明の簡単のため、記憶長Ｉ＝３、シンボル多値度ｍ＝２の場合を例に説明を行う。また、信号が０と１との２つのビットの系列である場合を例に説明を行う。

[0016] 図２は、実施形態におけるビタビ・アルゴリズムを説明する説明図である。より具体的には図２は、ビタビ・アルゴリズムを説明するトレリス図である。

[0017] シンボル多値度ｍ＝２であり記憶長Ｉ＝３であるため、送信信号の各時刻ｎにおける状態の候補は、（Ｒ＋１）通りである。Ｒは、ｍの（Ｉ－１）乗から１を引き算した値である。図２において、送信信号の時刻ｎにおける状態の候補は４通りであり、Ｒ＝３である。送信信号の時刻ｎにおける状態とは、具体的には、送信信号の時刻ｎのシンボルである。なお、送信信号の時刻ｎのシンボルとは、送信信号におけるｎ番目のシンボルの意味である。図２において４通りの各状態は、S_0、S_1、S_2、S_3と表現されている。

[0018] 状態S_0は「０」ビットと「０」ビットとの順序集合で表現されるシンボルである。状態S_1は「０」ビットと「１」ビットとの順序集合で表現されるシンボルである。状態S_2は「１」ビットと「０」ビットとの順序集合で表現されるシンボルである。状態S_3は「１」ビットと「１」ビットとの順序集合で表現されるシンボルである。

[0019] $p^M{}_{n+1}$は（Ｍは０以上Ｒ以下の整数である）、ビタビ・アルゴリズムにおいてパスメトリックと呼称される量である。したがって、パスメトリック$p^M{}_{n+1}$は、ビタビ・アルゴリズムで得られる距離であり、所定の距離関数が示す距離であり、送信信号の時刻（ｎ＋１）におけるシンボルがS_rである尤度を示す距離、である。パスメトリック$p^M{}_{n+1}$は、送信信号の時刻（ｎ＋１）におけるシンボルがS_rである尤度を示す距離と、送信信号の１番目からｎ番目の残存パスの距離との合計でもよい。なお、所定の距離関数の距離は、例えば二乗誤差であってもよいし、二乗誤差の総和であってもよい。

[0020] $b^q{}_{n+1}$は（ｑは１以上Ｑ以下の整数である。Ｑ＝（Ｒ＋１）×ｍである。）、ビタビ・アルゴリズムにおいてブランチメトリックと呼称される量であ

る。したがって、ブランチメトリックb^{q}_{n+1}は、ビタビ・アルゴリズムで得られる距離であり、所定の距離関数が示す距離であり、送信信号のｎ番目のシンボルから（ｎ＋１）番目のシンボルの各候補に遷移する尤度を示す距離である。シンボル多値度がｍ＝２であるので、（ｎ＋１）番目のシンボルは、ｎ番目のシンボルの各候補に続く次のビットは０又は１のいずれかである。したがってブランチメトリックの数Ｑは、（Ｒ＋１）×ｍである。

[0021] ブランチメトリックが示す距離は、例えば二乗誤差であってもよいし、二乗誤差の総和であってもよい。パスメトリックにおける所定の距離関数の距離と、ブランチメトリックにおける所定の距離関数の距離とは異なってもよい。したがって例えば、ブランチメトリックの示す距離が二乗誤差である場合に、パスメトリックの示す距離は二乗誤差の総和である。

[0022] 図２の例では、例えば時刻（ｎ－１）のシンボルが状態S_0である場合、時刻ｎにおいて状態S_1となる場合のブランチメトリックの示す距離がb^{1}_{n}である。

[0023] ブランチメトリックの値は、伝送路２の伝達関数の予め得られた推定結果である推定伝達関数と、受信信号と、に基づき算出される。推定伝達関数は、例えば、予め用意されたトレーニング信号を、伝送路２を介して受信機３まで伝搬させた結果に基づいて推定される。

[0024] 推定伝達関数と、受信信号と、に基づくブランチメトリックの値の算出の処理は、既存のどのような処理であってもよい。推定伝達関数と、受信信号と、に基づくブランチメトリックの値の算出の処理は、例えば、受信信号と、ブランチメトリックが示すシンボル系列に対して推定伝達関数を作用させた結果と、の二乗誤差を得る処理である。なお、ブランチメトリックが示すシンボル系列とは、ブランチメトリックに対応するブランチ、に対応する候補系列を意味する。

[0025] （ｎ＋１）番目のパスメトリックは、遷移元のｎ番目のパスメトリックと、遷移元のｎ番目の状態から遷移先の（ｎ＋１）番目の状態への遷移の尤度を示すブランチメトリックとの和である。

[0026] ビタビ・アルゴリズムは、このようにしてパスメトリックとブランチメトリックとを時刻ｎ＝１からｎ＝Ｎまで逐次的に算出する処理である。

[0027] ＜第１軟判定処理＞

図１の説明に戻る。制御部４０は、送信信号の（ｎ＋１）番目（ｎは１以上Ｎ以下の整数。Ｎは１以上の整数）のシンボルに対する軟判定を行う処理として、例えば第１軟判定処理を行う。第１軟判定処理は、ブランチメトリック推定処理と、パスメトリック推定処理と、ビット尤度推定処理と、を含む処理である。

[0028] ブランチメトリック推定処理は、伝送路２の伝達関数の予め得られた推定結果である推定伝達関数と、受信信号と、に基づき、ビタビ・アルゴリズムで得られる尤度であって送信信号のｎ番目のシンボルから（ｎ＋１）番目のシンボルの各候補に遷移する尤度を推定する処理である。上述したように、送信信号のｎ番目のシンボルから（ｎ＋１）番目のシンボルの各候補に遷移する尤度は、ビタビ・アルゴリズムにおいてブランチメトリックと呼称される量である。したがって図２の例における状態S_0、S_1、S_2、S_3は、候補の一例である。

[0029] パスメトリック推定処理は、ブランチメトリック推定処理の結果に基づき、ビタビ・アルゴリズムで得られる尤度であって送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルの各候補が送信信号のシンボルである尤度を推定する処理である。上述したように、ビタビ・アルゴリズムで得られる尤度であって送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルの各候補が送信信号のシンボルである尤度は、ビタビ・アルゴリズムにおいてパスメトリックと呼称される量である。

[0030] ビット尤度推定処理は、送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルの各候補のパスメトリックを用いて、送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルにおけるｋ番目（ｋは１以上ｍ以下の整数）のビットが所定のビットである尤度を推定する処理、である。送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルの各候補のパスメトリックは、パスメトリック推定処理によって得られたパスメトリックである。ビット尤度推定処理は、送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルの各候補

のパスメトリック以外のパスメトリックは用いない処理である。

[0031] 制御部４０は、ビット尤度推定処理で推定された尤度を、送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルに対する軟判定の結果として取得する。

[0032] ＜第１軟判定処理における尤度の第１の例＞

ビット尤度推定処理で推定される尤度は、例えば以下の式（１）で表される。式（１）の左辺$\lambda_{k,n}$がビット尤度推定処理で推定される尤度であり、送信信号のｎ番目のシンボルのｋ番目のビットが０である尤度を示す。なお、式（１）の例ではビットが０と１との２種類である。したがって、ビットが０である尤度を示す情報は、ビットが１である尤度を示す情報でもある。

[0033] [数1]

$$\lambda_{k,n}=\frac{1}{2\sigma^2}\left[\min\left\{L_{M,n}\middle|c_{k,n}\in u_M,c_{k,n}=0\right\}-\min\left\{L_{M,n}\middle|c_{k,n}\in u_M,c_{k,n}=1\right\}\right] \quad \cdots (1)$$

[0034] [数2]

$$L_{M,n}=\min\left\{p_n^j\middle|j\in\mathbf{Z},j<m^{l-1},\mathrm{mod}(j,m)=M\right\} \quad \cdots (2)$$

[0035] $c_{k,n}$は、送信信号のｎ番目のシンボルのｋ番目のビットを表す。σは、伝送路２で光信号に付与される雑音の分布の標準偏差を表す。したがって、ビット尤度推定処理で推定される尤度が式（１）で表される場合、ビット尤度推定処理では伝送路２で光信号に付与される雑音の分布の標準偏差を示す情報も用いられる。

[0036] 伝送路２で光信号に付与される雑音の分布の標準偏差は、例えば予め定められた値である。なおu_Mはシンボル値の候補を表す。すなわちu_Mはu_0～u_Rの各シンボル値を表す。したがって、例えば変調方式がＰＡＭ４の場合、例えばu_Mは、Ｍ＝０であればu_0＝［$c_{1,n}$、$c_{2,n}$］＝［０、０］を表し、Ｍ＝１であればu_1＝［$c_{1,n}$、$c_{2,n}$］＝［０、１］を表し、Ｍ＝２であればu_2＝［$c_{1,n}$、$c_{2,n}$］＝［１、１］を表し、Ｍ＝３であればu_3＝［$c_{1,n}$、$c_{2,n}$］＝［１、０］を表す。

[0037] ＜第１軟判定処理における尤度の第２の例＞

ビット尤度推定処理で推定される尤度は、例えば以下の式（３）で表されてもよい。なお、式（１）は式（３）の近似式である。近似の内容は、具体的には、最大のシンボル尤度以外を０へと置き換える近似である。

[0038] 式（３）の左辺$\lambda_{k,n}$がビット尤度推定処理で推定される尤度であり、送信信号のｎ番目のシンボルのｋ番目のビットが０である尤度を示す。なお、式（３）の例ではビットが０と１との２種類である。したがってビットが０である尤度を示す情報は、ビットが１である尤度を示す情報でもある。

[0039] [数3]

$$\lambda_{k,n} = \ln \frac{\sum_{M=1}^{m} \left\{ L_{M,n} \middle| c_{k,n} \in u_M, c_{k,n} = 1 \right\}}{\sum_{M=1}^{m} \left\{ L_{M,n} \middle| c_{k,n} \in u_M, c_{k,n} = 0 \right\}} \quad \cdots (3)$$

[0040] [数4]

$$L_{M,n} = \prod_{j=1}^{m^{l-1}-1} \left\{ \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{p_n^j}{2\sigma^2}} \middle| \mathrm{mod}(j,m) = M \right\} \quad \cdots (4)$$

[0041] 式（４）には伝送路２で光信号に付与される雑音の分布の標準偏差の値が含まれている。したがって、ビット尤度推定処理で推定される尤度が式（３）で表される場合、ビット尤度推定処理では伝送路２で光信号に付与される雑音の分布の標準偏差を示す情報も用いられる。

[0042] ＜第２軟判定処理＞

制御部４０は、送信信号の（ｎ＋１）番目（ｎは１以上Ｎ以下の整数。Ｎは１以上の整数）のシンボルに対する軟判定を行う処理として、例えば第２軟判定処理を行ってもよい。第２軟判定処理は、硬判定処理と、尤度推定処理と、違い取得処理とを含む。

[0043] 硬判定処理は、推定伝達関数と受信信号とに基づき、ビタビ・アルゴリズムによる硬判定を行う処理である。

[0044] 尤度推定処理は、送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルの候補（以下「シ

ンボル候補」という。）ごとに、硬判定処理の結果と推定伝達関数と受信信号とに基づいて各候補の尤度を推定する処理である。図２の例における状態Ｓ$_0$、Ｓ$_1$、Ｓ$_2$、Ｓ$_3$はシンボル候補の一例である。尤度推定処理で推定された尤度を推定尤度という。

[0045] 違い取得処理は、シンボル候補のうちｋ番目（ｋは１以上Ｋ以下の整数）のビットが所定のビットであるシンボル候補の推定尤度と、シンボル候補のうちｋ番目のビットが所定のビットでは無いシンボル候補の推定尤度と、の違い（以下「尤度違い」という。）を取得する処理である。

[0046] 制御部４０は、違い取得処理で得られた尤度違いを、送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルに対する軟判定の結果として取得する。

[0047] ＜第２軟判定処理における推定尤度の第１の例＞

推定尤度は、例えば以下の式（５）で表される。

[0048] [数5]

$$L_{M,n} = \left(\boldsymbol{C'}_{M,n} \cdot \hat{\boldsymbol{H}} - y_n\right)^2 \quad \cdots (5)$$

[0049] [数6]

$$\boldsymbol{C'}_{M,n} = \{x'_{n-l+1}, \cdots, x'_{n-1}, u_M\} \quad \cdots (6)$$

[0050] 式（５）にある、ハット（＾）がアクセント記号として付いたＨは、推定伝達関数を表す。ｙ$_n$は、受信信号を表す。式（６）で表されるＣ´$_{M、n}$は、硬判定処理の結果と、送信信号のｎ番目のシンボルの候補のひとつであるシンボルｕ$_M$と、の順序集合を表す。以下、順序集合Ｃ´$_{M、n}$を対象順序集合という。ｘ´$_n$は、硬判定処理で推定された送信信号のｎ番目のシンボルを表す。なおｌは上述したように記憶長である。

[0051] 推定尤度が式（５）で表される場合、尤度違いは、例えば以下の式（７）で表される。なお、式（７）の例ではビットが０と１との２種類である。したがって、ビットが０である尤度を示す情報は、ビットが１である尤度を示す情報でもある。

[0052]

[数7]

$$\lambda_{k,n} = \frac{1}{2\sigma^2}\left[\min\left\{L_{M,n}\middle|c_{k,n} \in u_M, c_{k,n} = 0\right\} - \min\left\{L_{M,n}\middle|c_{k,n} \in u_M, c_{k,n} = 1\right\}\right] \quad \cdots (7)$$

[0053] 式（７）には伝送路２で光信号に付与される雑音の分布の標準偏差の値が含まれる。したがって、違い取得処理で推定される尤度違いが式（７）で表される場合、違い取得処理では伝送路２で光信号に付与される雑音の分布の標準偏差を示す情報も用いられる。

[0054] ＜第２軟判定処理における推定尤度の第２の例＞

推定尤度は、例えば以下の式（８）で表されてもよい。なお、式（５）は式（８）を規格化し、自然対数を取ったものである。ここでＭ及びｎに依存しない係数を規格化している。

[0055] [数8]

$$L_{M,n} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{\left(C'_{M,n}\cdot\hat{H} - y_n\right)^2}{2\sigma^2}} \quad \cdots (8)$$

[0056] 式（８）には伝送路２で光信号に付与される雑音の分布の標準偏差の値が含まれる。したがって、尤度推定処理で推定される尤度が式（８）で表される場合、尤度推定処理では伝送路２で光信号に付与される雑音の分布の標準偏差を示す情報も用いられる。

[0057] 推定尤度が式（８）で表される場合、尤度違いは、例えば以下の式（９）で表される。なお、式（９）の例ではビットが０と１との２種類である。したがって、ビットが０である尤度を示す情報は、ビットが１である尤度を示す情報でもある。

[0058] [数9]

$$\lambda_{k,n} = \ln\frac{\sum_{M=1}^{m}\left\{L_{M,n}\middle|c_{k,n} \in u_M, c_{k,n} = 1\right\}}{\sum_{M=1}^{m}\left\{L_{M,n}\middle|c_{k,n} \in u_M, c_{k,n} = 0\right\}} \quad \cdots (9)$$

[0059] ＜第２軟判定処理における推定尤度の第３の例＞

推定尤度は、例えば、推定伝達関数を硬判定処理の結果に作用させた結果と受信信号との違いに基づいて得られてもよい。推定伝達関数を硬判定処理の結果に作用させた結果と受信信号との違いは、雑音分布の推定結果を表す。

[0060] 推定伝達関数を硬判定処理の結果に作用させた結果と受信信号との違いは、具体的には、以下の式（１０）で表される。

[0061] [数10]

$$\mathrm{W} = \boldsymbol{x'}_{\boldsymbol{n}} \cdot \hat{\boldsymbol{H}} - y_n \quad \cdots (10)$$

[0062] 式（１０）において太字で表されたｘ´$_n$は以下の式（１１）の順序集合を意味する。

[0063] [数11]

$$\left\{ \boldsymbol{x'}_{n-l+1}, \cdots, \boldsymbol{x'}_{n-1} \right\} \quad \cdots (11)$$

[0064] 上述したように推定伝達関数を硬判定処理の結果に作用させた結果と受信信号との違いの分布は、雑音分布の推定結果であるので、Ｗは雑音の推定結果を表す量である。

[0065] 以下、推定伝達関数を硬判定処理の結果に作用させた結果と受信信号との違いの分布に基づいて送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルの候補の推定尤度を得る処理を、変形尤度推定処理という。変形尤度推定処理は、送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルの候補ごとに、硬判定処理の結果と推定伝達関数と受信信号とに基づいて各候補の尤度を推定する処理であるので、尤度推定処理の１種である。

[0066] なお式（１１）からわかるように、変形尤度推定処理において用いられる硬判定処理の結果は、変形尤度推定処理における推定対象より前のｌ個のシンボルに対する硬判定処理の結果である。したがって例えば、送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルの候補が変形尤度推定処理による推定対象である場合、硬判定処理では、ｎ番目以前のｌ個のシンボルに対する硬判定が行われる。

[0067] 変形尤度推定処理では、例えば、サンプル数αの雑音Wに対して所定の階級幅のヒストグラムを生成することが行われる。ヒストグラムの横軸は階級を表し、縦軸は度数を表す。なお、サンプル数αの雑音に対する処理は、要素が雑音Wであり要素数がαの集合に対する処理を意味する。このような場合、変形尤度推定処理では次に、各階級におけるサンプル数が最大のサンプル数を持つ階級のサンプル数で規格化される。

[0068] このような場合、変形尤度推定処理では次に、対象順序集合$C'_{M,n}$に対して推定伝達関数を作用させた結果と受信信号との違いが含まれる階級、に属するサンプルの数であって規格化されたサンプルの数が、各シンボルにおける尤度として取得される。なお、対象順序集合$C'_{M,n}$に対して推定伝達関数を作用させた結果と受信信号との違いが含まれる、との意味は、具体的には、時間インデックスｎにおけるシンボルMの尤度に対応する階級を選択することを意味する。

[0069] ＜ハードウェアの説明＞

図３は、実施形態における軟判定装置４のハードウェア構成の一例を示す図である。軟判定装置４は、バスで接続されたＣＰＵ等のプロセッサ９１とメモリ９２とを備える制御部４０を備え、プログラムを実行する。軟判定装置４は、プログラムの実行によって制御部４０、インタフェース部４１及び記憶部４２を備える装置として機能する。

[0070] より具体的には、プロセッサ９１が記憶部４２に記憶されているプログラムを読み出し、読み出したプログラムをメモリ９２に記憶させる。プロセッサ９１が、メモリ９２に記憶させたプログラムを実行することによって、軟判定装置４は、制御部４０、インタフェース部４１及び記憶部４２を備える装置として機能する。

[0071] 制御部４０は、軟判定装置４が備える各種機能部の動作を制御する。制御部４０は、例えば第１軟判定処理を実行する。制御部４０は、例えば第１軟判定処理に代えて第２軟判定処理を実行する。

[0072] インタフェース部４１は、軟判定装置４を外部装置に接続するためのイン

タフェースを含んで構成される。インタフェース部４１は、有線又は無線を介して外部装置と通信する。外部装置は、例えば受信機３である。このような場合、インタフェース部４１は例えば、受信機３が取得した受信信号を取得する。

[0073] インタフェース部４１は、例えばマウスやキーボード、タッチパネル等の入力装置を含んで構成される。インタフェース部４１は、これらの入力装置を軟判定装置４に接続するインタフェースを含んで構成されてもよい。

[0074] インタフェース部４１は、例えばＣＲＴ（Cathode Ray Tube）ディスプレイや液晶ディスプレイ、有機ＥＬ（Electro-Luminescence）ディスプレイ等の表示装置を含んで構成される。インタフェース部４１は、これらの表示装置を軟判定装置４に接続するインタフェースを含んで構成されてもよい。

[0075] 記憶部４２は、磁気ハードディスク装置や半導体記憶装置などのコンピュータ読み出し可能な記憶媒体装置（non-transitory computer-readable recording medium）を用いて構成される。記憶部４２は軟判定装置４に関する各種情報を記憶する。記憶部４２は、例えば制御部４０の実行した処理の結果生じた各種情報を記憶してもよい。記憶部４２は、例えばインタフェース部４１が取得した受信信号を記憶してもよい。記憶部４２は、例えば予め推定伝達関数を記憶済みであってもよい。

[0076] 図４は、実施形態における軟判定装置４が実行する処理の流れの第１の例を示すフローチャートである。より具体的には、図４は、第１軟判定処理を実行する軟判定装置４が実行する処理の流れの一例を示すフローチャートである。

[0077] 制御部４０が、記憶部４２の記憶する推定伝達関数と、インタフェース部４１の取得した受信信号と、を取得する（ステップＳ１０１）。次に制御部４０が、ブランチメトリック推定処理を実行する（ステップＳ１０２）。次に制御部４０が、パスメトリック推定処理を実行する（ステップＳ１０３）。

[0078] 次に制御部４０が、ビット尤度推定処理を実行する（ステップＳ１０４）

。制御部４０は、ステップＳ１０４の処理で推定された尤度を、送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルに対する軟判定の結果として取得する。次に制御部４０は、インタフェース部４１の動作を制御して、ステップＳ１０４で推定された尤度をインタフェース部４１に出力させる（ステップＳ１０５）。

[0079] 図５は、実施形態における軟判定装置４が実行する処理の流れの第２の例を示すフローチャートである。より具体的には、図５は、第２軟判定処理を実行する軟判定装置４が実行する処理の流れの一例を示すフローチャートである。

[0080] 制御部４０が、記憶部４２の記憶する推定伝達関数と、インタフェース部４１の取得した受信信号と、を取得する（ステップＳ２０１）。次に制御部４０が、硬判定処理を実行する（ステップＳ２０２）。次に制御部４０が、尤度推定処理を実行する（ステップＳ２０３）。

[0081] 次に制御部４０が、違い取得処理を実行する（ステップＳ２０４）。制御部４０は、ステップＳ２０４の処理で取得された尤度違いを、送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルに対する軟判定の結果として取得する。次に制御部４０は、インタフェース部４１の動作を制御して、ステップＳ２０４で推定された尤度違いをインタフェース部４１に出力させる（ステップＳ２０５）。

[0082] このように、第２軟判定処理を実行する軟判定装置４は、シンボル多値度がｍの送信信号、の（ｎ＋１）番目のシンボルである主シンボルに対する軟判定を行う。そして第２軟判定処理を実行する軟判定装置４は、制御部４０を備える。制御部４０は、送信信号が伝搬する伝送路２の伝達関数の予め得られた推定結果である推定伝達関数と、送信信号の受信の結果である受信信号と、に基づき、ビタビ・アルゴリズムによる硬判定を行う硬判定処理を実行する。制御部４０は、（ｎ＋１）番目のシンボルの候補ごとに硬判定処理の結果と推定伝達関数と受信信号とに基づいて各候補の尤度を推定する尤度推定処理を実行する。制御部４０は、候補のうちｋ番目（ｋは１以上ｍ以下の整数）のビットが所定のビットである候補の尤度と、候補のうちｋ番目の

ビットが所定のビットでは無い候補の尤度と、の違いを取得する違い取得処理を実行する。制御部４０は、取得した違いを、軟判定の結果として出力する。

[0083] ＜実験結果＞

軟判定装置４を用いた実験の結果の一例を説明する。実験では、軟判定装置４を用いた実験の効果を評価するための比較対象の実験も行われた。比較対象の実験で用いられた技術は、軟判定装置４を用いない技術（以下「比較対象技術」という。）であった。より具体的には、比較対象技術は、伝達関数の逆関数を受信信号に作用させることで主シンボルを推定する技術である。

[0084] まず実験において用いられた光伝送システム１００の一例を説明する。

[0085] 実験において送信機１では、ユーザが伝送したい内容を示すデジタル信号、がアナログ信号に変換された。実験における変換は、１２８Ｇｓａｍｐｌｅ／ｓ、６５ＧＨｚの変換であった。実験において送信機１では、変換により得られたアナログ信号が増幅器によって増幅された。

[0086] 実験において送信機１は、波長１３１０ｎｍのレーザ光を増幅後のアナログ信号によって変調した結果、を光信号として出力した。変調方式は、ＰＡＭ４であった。送信機１の出力した光信号は、伝送路２に入射し伝送路２を伝搬した。

[0087] 実験において伝送路２は、長さ１０ｋｍのシングルモードファイバであった。伝送路２の波長分散は、波長１３１０ｎｍにおいて、－８ｐｓ／ｎｍであった。

[0088] 実験において受信機３は可変光減衰器を備えており、受信機３では伝送路２から出射された光信号のパワーが可変光減衰器によって減衰された。受信機３は、可変光減衰器によるパワーの減衰後の光信号をフォトダイオードで電気信号に変換した。フォトダイオードの帯域幅は５０ＧＨｚであった。

[0089] 受信機３では、フォトダイオードにより得られた電気信号が増幅された後、デジタル信号に変換された。デジタル信号への変換は、１６０Ｇｓａｍｐ

Ｉｅ／ｓ、６３ＧＨｚの変換であった。変換後の信号は受信信号の一例であり、実験における受信信号の一例であった。

[0090] 実験において軟判定装置４は、このようにして得られた受信信号を取得した。実験において軟判定装置４の備える制御部４０は、第１軟判定処理を実行し、第１軟判定処理によって推定された尤度を軟判定の結果として取得した。実験において制御部４０は、より具体的には、第１軟判定処理の実行により、式（１）で表される尤度を推定した。

[0091] 図６は、実施形態における実験結果の一例を示す第１の図である。より具体的には、図６は、比較対象技術を用いた実験結果の一例を示す図である。図６の横軸は、周波数を示す。図６の縦軸は損失を示す。図６は、比較対象技術を用いた場合、周波数６０ＧＨｚ近傍で損失が大きくなることを示す。

[0092] 図７は、実施形態における実験結果の一例を示す第２の図である。図７の横軸は、ＲＯＰ（Received Optical Power）を示す。図７の縦軸は、規格一般化相互情報量（NGMI：Normalized General Mutual Information）を示す。

[0093] “MLSE(NGMI)”（Maximum Likelihood Sequence Estimation）が軟判定装置４を用いて第１軟判定処理を実行し式（１）で表される尤度を推定した結果を、ＮＧＭＩの値で示す。“FFE(NGMI)”（Feed-Forward Equalizer）は比較対象技術を用いた結果をＮＧＭＩの値で示す。図７は、比較対象技術よりも軟判定装置４を用いて第１軟判定処理を実行し式（１）で表される尤度を推定した方が、ＮＧＭＩが高いことを意味する。

[0094] 図７は、軟判定装置４による軟判定の結果を用いることで、比較対象技術よりも高い精度で主シンボルが推定されることを示す。

[0095] ＜軟判定装置４が奏する効果の説明＞

比較対象技術は、上述したように、伝達関数の逆関数を受信信号に作用させることで主シンボルを推定する。逆関数を作用させる場合、伝送路２で信号に付与された雑音までも増幅されてしまう。一方、軟判定装置４であれば伝達関数の逆関数は用いないので、雑音が増幅されてしまうことは無い。そ

のため、軟判定装置４は、比較対象技術よりも高い精度で主シンボルを推定することができる。

[0096] このように構成された軟判定装置４は、第１軟判定処理又は第２軟判定処理を実行する。そのため、伝達関数の逆関数を用いることなく軟判定の結果を得るので、軟判定装置４は、送信信号のシンボルをより高精度に推定することができる。

[0097] ＜第１実施形態の変形例＞

[0098] なお、上述の式（１）、式（４）、式（７）、式（８）には、伝送路２で光信号に付与される雑音の分布の標準偏差σが含まれているが、伝送路２で光信号に付与される雑音の分布の標準偏差σの値は予め定められた値であってもよいし、予め定められた所定の値でなくてもよい。

[0099] 例えば標準偏差σの値は、正解データに対して推定伝達関数を作用させた結果と受信信号との差分に基づいて得られてもよい。正解データは、送信信号の正解を示すデータである。したがって例えば標準偏差σは以下の式（１２）が表す処理で得られてもよい。

[0100] [数12]

$$\sigma = \left\{ \frac{1}{D} \sum_{d=e}^{e+D-1} \left(\boldsymbol{C}_d \cdot \hat{\boldsymbol{H}} - \boldsymbol{y}_d \right)^2 \right\}^{1/2} \quad \cdots (12)$$

[0101] [数13]

$$\boldsymbol{C}_d = \{ x_{d-l+1}, \cdots, x_d \} \quad \cdots (13)$$

[0102] 式（１３）におけるx_dは、正解データが示す送信信号のｄ番目のシンボルを示す。式（１３）のｌは推定伝達関数の記憶長を意味し、一方で、式（１２）のｅは正解データが示す送信信号の開始の位置を示す。開始の位置とは、使用する正解データにおける時間軸方向の位置を示す。Ｄは標準偏差σの算出に用いられたシンボル数を表す。ｄは、使用する正解データにおける時間インデックスを意味する。したがって、式（１２）はＤ個の推定雑音の平

均値を標準偏差σとして取得する処理を表す。推定雑音とは、正解データに対して推定伝達関数を作用させた結果と受信信号との二乗誤差である。

[0103] 例えば標準偏差σの値は、硬判定処理の結果に対して推定伝達関数を作用させた結果と受信信号との差分に基づいて得られてもよい。したがって例えば標準偏差σは以下の式（１４）が表す処理で得られてもよい。

[0104] [数14]

$$\sigma = \left\{ \frac{1}{D} \sum_{d=e}^{e+D-1} \left(\boldsymbol{C'}_d \cdot \hat{\boldsymbol{H}} - y_d \right)^2 \right\}^{1/2} \quad \cdots (14)$$

[0105] [数15]

$$\boldsymbol{C'}_d = \{ x'_{d-l+1}, \cdots, x'_d \} \quad \cdots (15)$$

[0106] 式（１５）におけるx'_dは、硬判定処理の結果が示す送信信号のｄ番目のシンボルを示す。式（１５）のｌは推定伝達関数の記憶長を意味し、一方で、式（１４）のｅは硬判定処理の結果が示す送信信号の開始の位置を示す。開始の位置とは、硬判定処理結果における時間軸方向の位置を示す。Ｄは標準偏差σの算出に用いられたシンボル数を表す。ｄは、使用する硬判定結果における時間インデックスを意味する。したがって、式（１４）はＤ個の推定雑音の平均値を標準偏差σとして取得する処理を表す。

[0107] 例えば標準偏差σの値は、ＮＧＭＩを最大にする、という条件を満たす値であってもよい。ＮＧＭＩは、例えば以下の式（１６）で定義される量である。

[0108] [数16]

$$NGMI \triangleq \frac{GMI}{m'} \quad \cdots (16)$$

[0109]

[数17]

$$CrossEntropy = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{m'}\sum_{n=1}^{N}\log_2\left(1+\exp\left[(-1)^{c_{k,n}}\times\lambda_{k,n}\right]\right) \quad \cdots (17)$$

[0110] [数18]

$$GMI \triangleq m' - CrossEntropy \quad \cdots (18)$$

[0111] ｍ´は送信信号ビット数を表す。したがってｍ´は、例えば変調方式がＰＡＭ４の場合は、$\log_2 m' = 2$である。Ｎは、ＣｒｏｓｓＥｎｔｒｏｐｙの算出に用いられたシンボルの数を表す。

[0112] なお、軟出力の値（すなわち、軟判定の結果）は、プラス側又はマイナス側に発散する場合がある。プログラム言語によっては、発散すると値を出さないものが存在する。そこで、値が出ない事態を回避するため、送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルに対する軟判定を行う処理では、予め軟出力の値の上限又は下限が定められていてもよい。

[0113] なお、軟判定装置４は、ネットワークを介して通信可能に接続された複数台の情報処理装置を用いて実装されてもよい。この場合、軟判定装置４が備える各機能部は、複数の情報処理装置に分散して実装されてもよい。

[0114] なお、軟判定装置４の各機能の全て又は一部は、ＡＳＩＣ（Application Specific Integrated Circuit）やＰＬＤ（Programmable Logic Device）やＦＰＧＡ（Field Programmable Gate Array）等のハードウェアを用いて実現されてもよい。プログラムは、コンピュータ読み取り可能な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、ＣＤ－ＲＯＭ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である。プログラムは、電気通信回線を介して送信されてもよい。

[0115] （第２実施形態）

第２実施形態では、トレリス図における後ろ向き演算（残存パスの遡り）によるシンボル判定結果（硬判定結果）と、前向き演算（パスメトリックの

算出と残存パス選択）によるシンボル判定結果とが異なっている場合には、残存パス以外のパスが示すパスメトリックも必要となる複雑な軟判定出力のための後ろ向き演算による軟判定結果を、簡易な演算による所定の軟判定結果で代替するという点が、第１実施形態との主な差分である。第２実施形態では、第１実施形態との差分を中心に説明する。

[0116] 図８は、実施形態における制御部４０の構成例を示す図である。制御部４０は、伝達関数推定部４０１と、ブランチメトリック処理部４０２と、パスメトリック処理部４０３と、硬判定出力部４０４と、軟判定出力部４０５とを備える。

[0117] 以下では、数式又は関数（以下「数式等」という。）において文字の上に付されている記号は、文字の前に記載される。例えば、数式等において文字の上に付されている記号「＾」は、以下では文字「Ｈ」の前に「＾Ｈ」のように記載される。

[0118] 伝達関数推定部４０１は、式（１９）のように推定伝達関数「＾Ｈ」を算出する。

[0119] [数19]

$$\widehat{\boldsymbol{H}} = \{\widehat{h_1}, \cdots, \widehat{h_l}\} \qquad \cdots (19)$$

[0120] ブランチメトリック処理部４０２は、式（２０）のようにブランチメトリック「ｂ」を算出する。

[0121] [数20]

$$b_n^i = \left(\boldsymbol{C}_i \cdot \widehat{\boldsymbol{H}} - y_n\right)^2, \qquad \{i \middle| i \in \mathbf{Z}, i < m^l\} \qquad \cdots (20)$$

[0122] パスメトリック処理部４０３は、式（２１）のようにパスメトリック「ｐ」を算出する。

[0123]

[数21]

$$p_n^j = \min\left\{ p_{n-1}^q + b_n^d \middle| j \in \mathbf{Z}, j < m^{l-1}, \mathrm{mod}\left(d, m^{l-1}\right) = j, q = \left\lfloor \frac{d}{m} \right\rfloor \right\}$$

・・・（２１）

[0124] 硬判定出力部４０４は、各状態「ｓ」のパスメトリック「ｐ」を、時間インデックスごとに比較する。硬判定出力部４０４は、パスメトリック「ｐ」の比較結果に基づいて、時間インデックス「ｎ」における「ｍ^l^」個の状態「ｓ」のパスメトリックのうちから、最小パスメトリックを選択する。選択された最小パスメトリックの演算に使用されたブランチで構成された時間方向の道は、「残存パス」と呼ばれる。

[0125] トレリス図の残存パスを時間方向（状態遷移方向）とは逆の方向に遡るための起点としていずれの状態「ｓ」が選択されたとしても、同じパスを遡るようになる。同じパスを遡るようになることは、「後ろ向き演算によるパスのマージ」と呼ばれる。マージされたパスを遡った先（以下「遡り先」という。）の状態に対応するシンボルが、シンボルの判定結果として出力される。シンボルの判定結果は、硬判定結果（硬判定の出力）に相当する。

[0126] 硬判定出力部４０４は、トレリス図において、後ろ向き演算による硬判定結果「ｘ’$_{n-a}$」を生成する。シンボルの判定結果は、式（２２）のように表される。

[0127] [数22]

$$x'_{n-a} = u_{\mathrm{mod}(j,m)} \quad \text{・・・（２２）}$$

[0128] ここで、「ａ」は、状態遷移方向とは逆の方向にパスを遡る回数（遡り数）を表す。「ｓ$_j$」は、遡り先「ｊ」における状態を表す。

[0129] また、硬判定出力部４０４は、トレリス図において、前向き演算による硬判定結果「ｘ’’$_{n-a}$」を生成する。時間インデックス「ｎ」における最小パスメトリックを持つ状態が「ｓ$_j$」である場合、前向き演算（パスメトリックの算出と残存パス選択）の結果として判定されたシンボル「ｘ’’$_n$」は、式

（２３）のように表される。なお、式（２３）の状態Ｓ$_j$の時間インデックスは、式（２２）の状態Ｓ$_j$の時間インデックスとは異なる。このため、式（２３）の左辺と式（２２）の左辺とはイコール関係にはならない点に留意すべきである。

[0130] [数23]

$$x''_n = u_{\mathrm{mod}(j,m)} \quad \cdots (23)$$

[0131] この判定されたシンボル「ｘ’’$_n$」は、後ろ向き演算（残存パスの遡り）が用いられずに、前向き演算（パスメトリックの算出と残存パス選択）のみが用いられたことによって得られた判定結果である。ここで、最も尤もらしいシンボル候補の系列長の系列推定しか出来ていないので、後ろ向き演算による遡り数を含む系列長の系列推定の効果は得られない。

[0132] このため、同じ時間インデックス「ｎ－ａ」であっても、後ろ向き演算によるシンボル判定結果「ｘ’$_{n-a}$」と、前向き演算によるシンボル判定結果「ｘ’’$_{n-a}$」とが異なる場合がある。また、異なる場合には、前向き演算によるシンボル判定結果「ｘ’’$_{n-a}$」よりも、後ろ向き演算によるシンボル判定結果「ｘ’$_{n-a}$」のほうが正確である可能性が高い。

[0133] 第１実施形態において例示された式（１）では、前向き演算によるパスメトリックの情報に基づいて、対数尤度比「λ$_{M,\,n}$」が算出されている。このため、後ろ向き演算のシンボル判定結果「ｘ’$_{n-a}$」と前向き演算のシンボル判定結果「ｘ’’$_{n-a}$」とが異なる場合、前向き演算によるパスメトリックの情報に基づいて推定された対数尤度比「λ」の精度が高くない可能性がある。

[0134] そこで第２実施形態では、軟判定出力部４０５は、トレリス図におけるパスの遡り（後ろ向き演算）の効果を、簡易な計算によって、近似的に取り入れる。すなわち、軟判定出力部４０５は、複雑な後ろ向き演算の軟判定結果を、簡易な演算の軟判定結果で代替する。この簡易な計算の複雑さは、例えば、硬判定の最尤系列推定（MLSE）において用いられるビタビ・アルゴリズムの複雑さと同程度である。

[0135] 対数尤度比「λ’$_{k,n}$」は、式（２５）を用いて、式（２４）のように表される。式（２４）の演算は、本質的に式（７）と同じになる。

[0136] [数24]

$$\lambda'_{k,n}=\frac{1}{2\sigma^2}\left[\min\left\{L_{M,n}\middle|c'_{k,n}\in u_M,c'_{k,n}=0\right\}-\min\left\{L_{M,n}\middle|c'_{k,n}\in u_M,c'_{k,n}=1\right\}\right] \quad \cdots (24)$$

[0137] [数25]

$$L_{M,n}=\min\left\{p_n^j\middle|j\in\mathbf{Z},j<m^{l-1},\mathrm{mod}(j,m)=M\right\} \quad \cdots (25)$$

[0138] ここで、「ｎ」は、時間インデックス（１≦ｎ≦Ｎ）を表す。「ｋ」は、時間インデックス「ｎ」におけるシンボル判定結果の何番目（１≦ｋ≦ｍ）のビットであるかを表す。「ｃ’$_{k,n}$」は、時間インデックス「ｎ」におけるシンボル判定結果「ｘ’$_n$」のｋ番目のビット（０又は１）を表す。なお、「ｃ’’$_{k,n}$」は、時間インデックス「ｎ」におけるシンボル判定結果「ｘ’’$_n$」のｋ番目のビット（０又は１）を表す。

[0139] 軟判定出力部４０５は、予め定められた正の定数「Ａ」を、例えばメモリ９２から取得する。この定数「Ａ」は、例えば、正の変数が所定間隔で変更された結果に応じて規格一般化相互情報量（NGMI）が最大になるように、予め定められる。例えば、０．００１から１．０００までの値を採る変数が０．００１間隔で変更されることによって、変数の値ごとに対数尤度比「λ」が算出される。規格一般化相互情報量が最大になる場合における変数の値が、正の定数「Ａ」と予め定められる。

[0140] 軟判定出力部４０５は、後ろ向き演算のシンボル判定結果「ｘ’$_{n-a}$」と、前向き演算のシンボル判定結果「ｘ’’$_{n-a}$」とを、ビットごとに比較する。軟判定出力部４０５は、シンボル判定結果「ｘ’$_{n-a}$」とシンボル判定結果「ｘ’’$_{n-a}$」とが同じである場合、軟判定出力部４０５は、軟判定結果「λ$_{k,n-a}$」として、対数尤度比「λ’$_{k,n-a}$」を出力する。

[0141] 軟判定出力部４０５は、シンボル判定結果「ｘ’$_{n-a}$」とシンボル判定結果

「ｘ’’$_{n-a}$」とが異なっている場合、符号関数「ｓｇｎ」を用いて、式（２４）の対数尤度比「λ’$_{k,n}$」の符号を取得する。軟判定出力部４０５は、式（２４）の対数尤度比「λ’$_{k,n}$」の符号を取得する代わりに、式（１）の対数尤度比「λ$_{k,n}$」の符号を取得してもよい。軟判定出力部４０５は、対数尤度比「λ’$_{k,n}$」の符号とは逆の符号と、予め定められた定数「Ａ」と、雑音の分布の標準偏差「σ」とに基づいて、新たな軟判定結果「λ$_{k,n-a}$」を算出する。

[0142] シンボル判定結果「ｘ’$_{n-a}$」とシンボル判定結果「ｘ’’$_{n-a}$」とが同じ場合における軟判定結果「λ$_{k,n-a}$」（対数尤度比）と、シンボル判定結果「ｘ’$_{n-a}$」とシンボル判定結果「ｘ’’$_{n-a}$」とが異なっている場合における新たな軟判定結果「λ$_{k,n-a}$」（変更された対数尤度比）とのそれぞれは、式（２６）のように表される。

[0143] [数26]

$$\lambda_{k,n-a}=\begin{cases}-\dfrac{A}{2\sigma^2}\operatorname{sgn}(\lambda'_{k,n-a}), & x'_{n-a}\neq x''_{n-a}\\ \lambda'_{k,n-a}, & x'_{n-a}=x''_{n-a}\end{cases} \quad \cdots (26)$$

[0144] 図９は、実施形態における軟判定装置４が実行する処理の流れの第３の例を示すフローチャートである。制御部４０が、記憶部４２の記憶する推定伝達関数と、インタフェース部４１の取得した受信信号と、を取得する（ステップＳ３０１）。次に制御部４０が、ブランチメトリック推定処理を実行する（ステップＳ３０２）。次に制御部４０が、パスメトリック推定処理を実行する（ステップＳ３０３）。

[0145] 制御部４０が、硬判定処理を実行することによって、後ろ向き演算のシンボル判定結果と、前向き演算のシンボル判定結果とを生成する（ステップＳ３０４）。制御部４０が、後ろ向き演算のシンボル判定結果と、前向き演算のシンボル判定結果と、予め定められた定数「Ａ」とに基づいて、ビット尤度推定処理を実行する（ステップＳ３０５）。制御部４０は、ステップＳ３

０５の処理において推定された尤度を、軟判定の結果として取得する。制御部４０は、インタフェース部４１の動作を制御して、ステップＳ３０５において推定された尤度「$\lambda_{k,n-a}$」を、インタフェース部４１に出力させる（ステップＳ３０６）。

[0146] 以上のように、制御部４０は、送信信号の（ｎ＋ａ）番目（例えば、ａ＝１）からｎ番目の順に演算したことによるｎ番目のシンボルの判定結果「x'_n」と、送信信号のｎ番目から（ｎ＋ａ）番目の順に演算したことによるｎ番目のシンボルの判定結果「x''_n」とが異なる場合、推定された尤度の符号（ｓｇｎ（$\lambda'_{k,n}$））とは逆の符号「－」と、予め定められた定数「Ａ」と、標準偏差「σ」とに基づいて、尤度「$\lambda_{k,n}$」を変更する。予め定められた定数「Ａ」は、分布の正のピークを示す尤度「Ｐ」と、標準偏差「σ」とに基づいて、「$2\sigma^2 P$」と定められる。

[0147] このように第２実施形態では、シンボル判定結果「x'_{n-a}」とシンボル判定結果「x''_{n-a}」とが同じである場合と、シンボル判定結果「x'_{n-a}」とシンボル判定結果「x''_{n-a}」とが異なる場合とで、ビットごとの対数尤度比（ビット尤度）「$\lambda_{k,n-a}$」を異ならせる。これによって、規格一般化相互情報量（NGMI）をより改善することが可能である。

[0148] また、第１実施形態と比較して、送信信号のシンボルをより高精度に推定することが可能となる。

[0149] ＜第２実施形態の変形例＞

図１０は、実施形態におけるビット尤度ヒストグラムの一例を示す図である。軟判定出力部４０５は、予め定められた正の定数「Ａ」を、例えばメモリ９２から取得する。式（２６）に例示されているように、軟判定結果の絶対値は、「$A/2\sigma^2$」と表される。

[0150] ビット尤度ヒストグラムの分散「σ^2」に関係なく、正の定数「Ａ」の最適値が伝送系及び復調方法ごとに一定になる傾向がある。また、正の定数「Ａ」の最適値は、ビット尤度ヒストグラムのピークを示す正の尤度「Ｐ（＝$A/2\sigma^2$）」に近い。そこで、その尤度「Ｐ（＝$A/2\sigma^2$）」に基づいて、

正の定数「Ａ」が予め定められてもよい。

[0151] ＜実験結果＞

軟判定装置４を用いた実験の結果の一例を説明する。

図１１は、実施形態における実験結果の一例を示す第３の図である。図１１では、シンボル多値度「Ｍ」は、一例として４である。記憶長「ｄ」は、一例として５である。遡り数「Ｔ」は、一例として２０である。第２実施形態における予め定められた正の定数「Ａ」は、一例として０．０１８である。

[0152] 第１実施形態の対数尤度比「λ」の算出に必要とされるパスメトリックの個数「M^{d}」は、一例として１０２４である。第２実施形態の対数尤度比「λ」の算出に必要とされるパスメトリックの個数「$２M^{d}$」は、一例として１０２４である。ＦＦＥ方式の対数尤度比「λ」の算出に必要とされるパスメトリックの個数「$M^{d+1}T$」は、一例として８１９２０である。

[0153] 図１１における左側のグラフは、ＦＦＥ方式と、第１実施形態におけるＮＬ－ＭＬＳＥ方式と、第２実施形態におけるＮＬ－ＭＬＳＥ方式とについて、受信光強度（ROP）と、規格一般化相互情報量（NGMI）との関係が示されている。

[0154] 第１実施形態におけるＮＬ－ＭＬＳＥ方式の受信光強度と、第２実施形態におけるＮＬ－ＭＬＳＥ方式の受信光強度とのいずれでも、ＦＦＥ方式よりも高い規格一般化相互情報量が達成されている。ＲＯＰが３ｄＢｍである場合、第１実施形態では、規格一般化相互情報量が約１８％改善される。また、第２実施形態では、規格一般化相互情報量が約２２％改善される。

[0155] 図１１における右側のグラフは、ＦＦＥ方式と、第１実施形態におけるＮＬ－ＭＬＳＥ方式と、第２実施形態におけるＮＬ－ＭＬＳＥ方式とについて、符号誤り率（BER : Bit Error Rate）と、規格一般化相互情報量（NGMI）との関係が示されている。右側のグラフにおいて、ＦＦＥ方式の結果と重なる破線は、加法性白色ガウス雑音（AWGN）チャネルの理論曲線を表す。理論曲線が表す性能は、ＮＬ－ＭＬＳＥ方式と同じＢＥＲが得られる場合の、演

算量が非常に多いソフト出力ビタビ・アルゴリズム（SOVA：Soft Output Viterbi Algorithm）の性能に相当する。

[0156] ＦＦＥ方式では、符号誤り率「０．８」を達成することができない。これに対して、第１実施形態におけるＮＬ－ＭＬＳＥ方式では、符号誤り率「０．９３１」を達成することができる。また、第２実施形態におけるＮＬ－ＭＬＳＥ方式では、符号誤り率「０．９６２」を達成することができる。このように、第２実施形態における光伝送システム１００は、ソフト出力ビタビ・アルゴリズムによる規格一般化相互情報量「０．９８５」に近い性能を、より少ない演算量で実現することができる。

[0157] 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。

符号の説明

[0158] １００…光伝送システム、 １…送信機、 ２…伝送路、 ３…受信機、 ４…軟判定装置、 ４０…制御部、 ４１…インタフェース部、 ４２…記憶部、 ９１…プロセッサ、 ９２…メモリ、４０１…伝達関数推定部、４０２…ブランチメトリック処理部、４０３…パスメトリック処理部、４０４…硬判定出力部、４０５…軟判定出力部

請求の範囲

[請求項1] シンボル多値度がｍ（ｍは２以上の整数）の送信信号、の（ｎ＋１）番目（ｎは１以上Ｎ以下の整数。Ｎは１以上の整数）のシンボルである主シンボルに対する軟判定を行う軟判定装置であって、

前記送信信号が伝搬する伝送路の伝達関数の予め得られた推定結果である推定伝達関数と、前記送信信号の受信の結果である受信信号と、に基づき、ビタビ・アルゴリズムで得られる距離であり所定の距離関数が示す距離であり前記送信信号のｎ番目のシンボルから（ｎ＋１）番目のシンボルの各候補に遷移する尤度を示す距離であるブランチメトリックを推定するブランチメトリック推定処理と、

前記ブランチメトリック推定処理の結果に基づき、ビタビ・アルゴリズムで得られる距離であり所定の距離関数が示す距離であり前記送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルの各候補が前記送信信号のシンボルである尤度を示す距離と、前記送信信号の１番目からｎ番目の残存パスの距離との合計であるパスメトリックを推定するパスメトリック推定処理と、

前記パスメトリック推定処理によって得られた前記送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルの各候補のパスメトリックを用い、前記送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルの各候補のパスメトリック以外のパスメトリックは用いずに、前記送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルにおけるｋ番目（ｋは１以上ｍ以下の整数）のビットが所定のビットである尤度を推定するビット尤度推定処理と、

を実行する制御部、

を備え、

前記制御部は、前記ビット尤度推定処理で推定された尤度を、前記軟判定の結果として取得する、

軟判定装置。

[請求項2] 前記制御部は、前記伝送路で前記送信信号に付与される雑音の分布

の標準偏差、も用いて、前記尤度を推定する、

請求項１に記載の軟判定装置。

[請求項3] 前記標準偏差は、送信信号の正解を示す正解データに対して前記推定伝達関数を作用させた結果と前記受信信号との差分に基づいて得られる、

請求項２に記載の軟判定装置。

[請求項4] 前記制御部は、前記送信信号の（ｎ＋１）番目からｎ番目の順に演算したことによるｎ番目のシンボルの判定結果と、前記送信信号のｎ番目から（ｎ＋１）番目の順に演算したことによるｎ番目のシンボルの判定結果とが異なる場合、推定された前記尤度の符号とは逆の符号と、予め定められた定数と、前記標準偏差とに基づいて、前記尤度を変更する、

請求項２に記載の軟判定装置。

[請求項5] 前記予め定められた定数は、前記分布の正のピークを示す前記尤度と、前記標準偏差とに基づいて定められる、

請求項４に記載の軟判定装置。

[請求項6] シンボル多値度がｍ（ｍは２以上の整数）の送信信号、の（ｎ＋１）番目（ｎは１以上Ｎ以下の整数。Ｎは１以上の整数）のシンボルである主シンボルに対する軟判定を行う軟判定方法であって、

前記送信信号が伝搬する伝送路の伝達関数の予め得られた推定結果である推定伝達関数と、前記送信信号の受信の結果である受信信号と、に基づき、ビタビ・アルゴリズムで得られる距離であり所定の距離関数における距離であり前記送信信号のｎ番目のシンボルから（ｎ＋１）番目のシンボルの各候補に遷移する尤度を示す距離であるブランチメトリックを推定するブランチメトリック推定処理と、

前記ブランチメトリック推定処理の結果に基づき、ビタビ・アルゴリズムで得られる距離であり所定の距離関数における距離であり前記送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルの各候補が前記送信信号のシン

ボルである尤度を示す距離と、前記送信信号の１番目からｎ番目の残存パスの距離との合計であるパスメトリックを推定するパスメトリック推定処理と、

前記パスメトリック推定処理によって得られた前記送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルの各候補のパスメトリックを用い、前記送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルの各候補のパスメトリック以外のパスメトリックは用いずに、前記送信信号の（ｎ＋１）番目のシンボルにおけるｋ番目（ｋは１以上ｍ以下の整数）のビットが所定のビットである尤度を推定するビット尤度推定処理と、

を実行する制御ステップ、

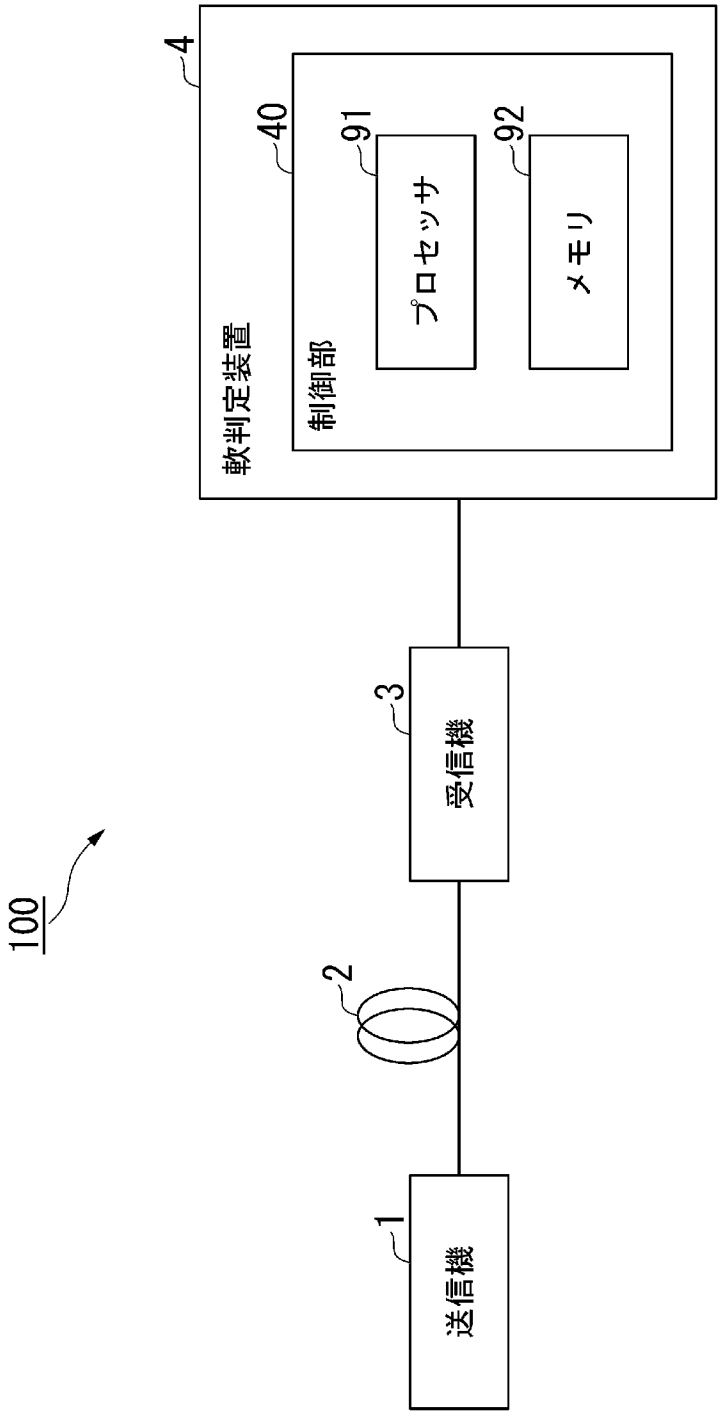
を有し、

前記制御ステップは、前記ビット尤度推定処理で推定された尤度を、前記軟判定の結果として取得する、

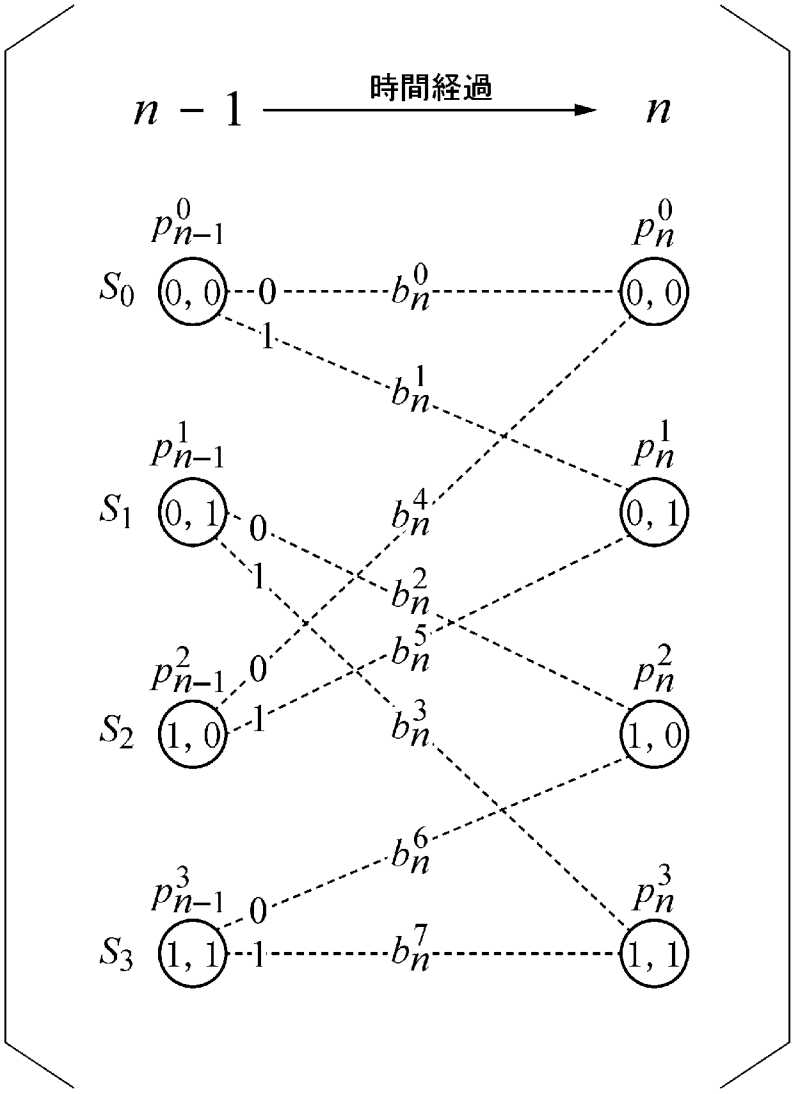
軟判定方法。

[請求項7] 請求項１から５のいずれか一項に記載の軟判定装置としてコンピュータを機能させるためのプログラム。

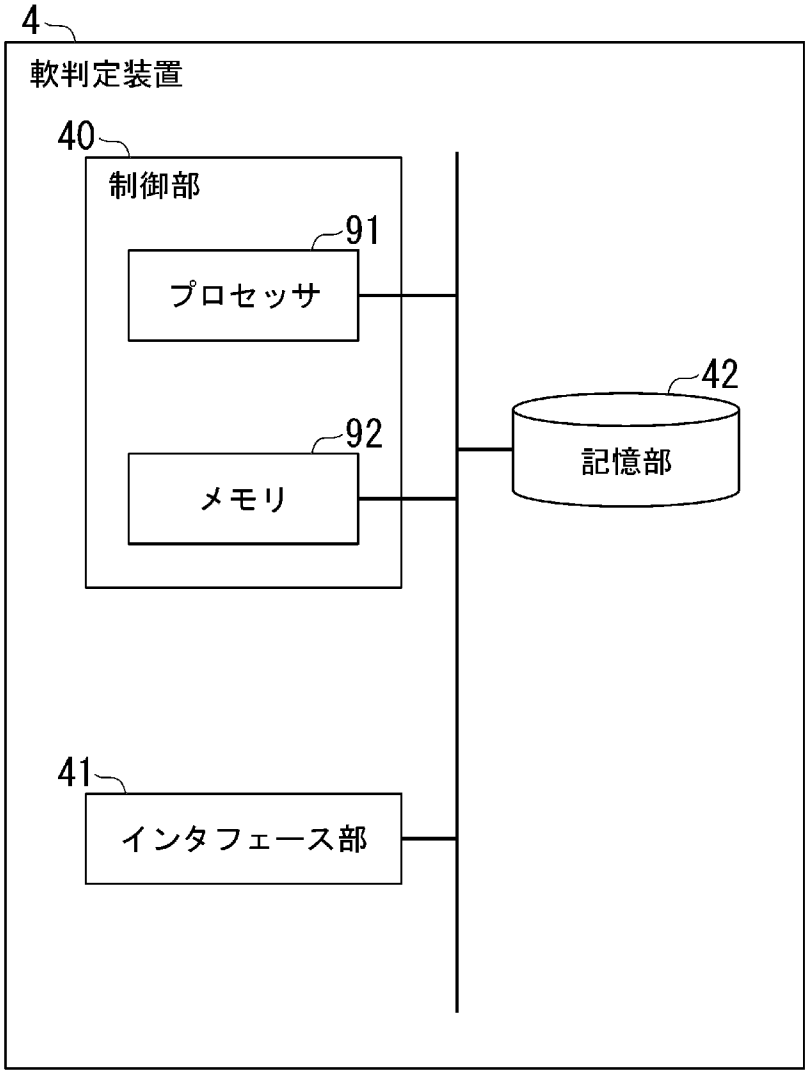
[図1]



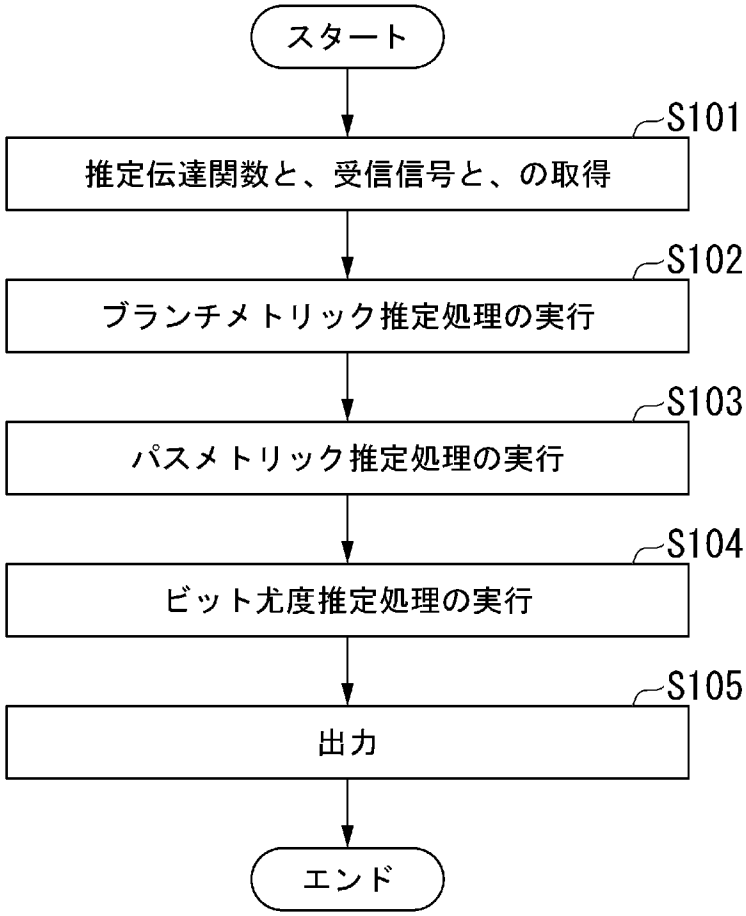
[図2]


n − 1
時間経過
n
p_{n-1}^0
p_n^0
S_0
(0, 0)
0
b_n^0
(0, 0)
1
b_n^1
p_{n-1}^1
p_n^1
S_1
(0, 1)
0
b_n^4
(0, 1)
1
b_n^2
b_n^5
p_{n-1}^2
0
p_n^2
S_2
(1, 0)
1
b_n^3
(1, 0)
b_n^6
p_{n-1}^3
0
p_n^3
S_3
(1, 1)
1
b_n^7
(1, 1)

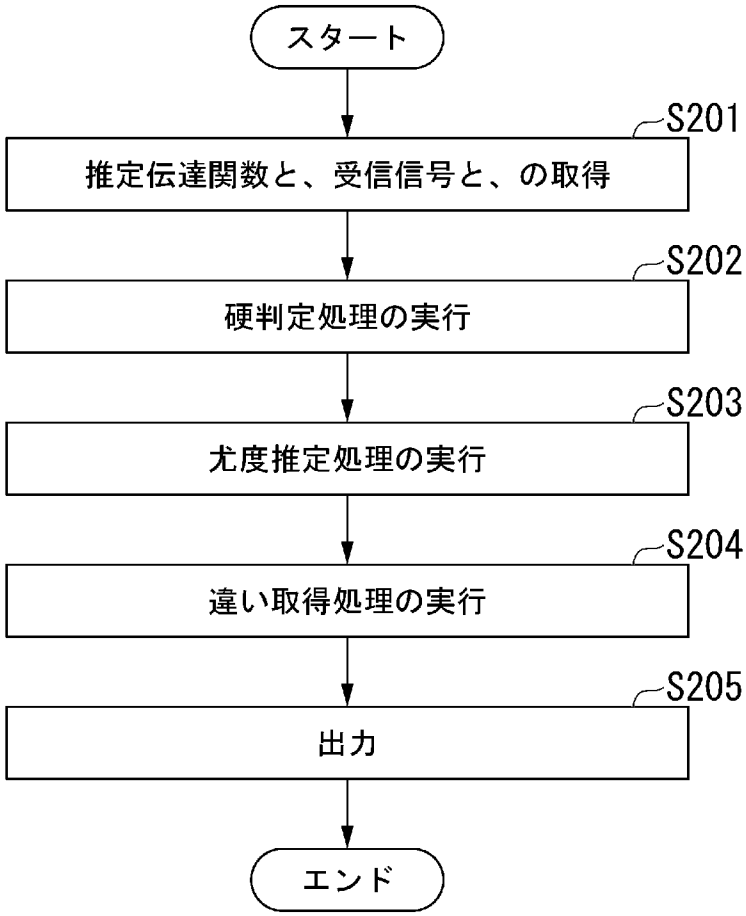
[図3]



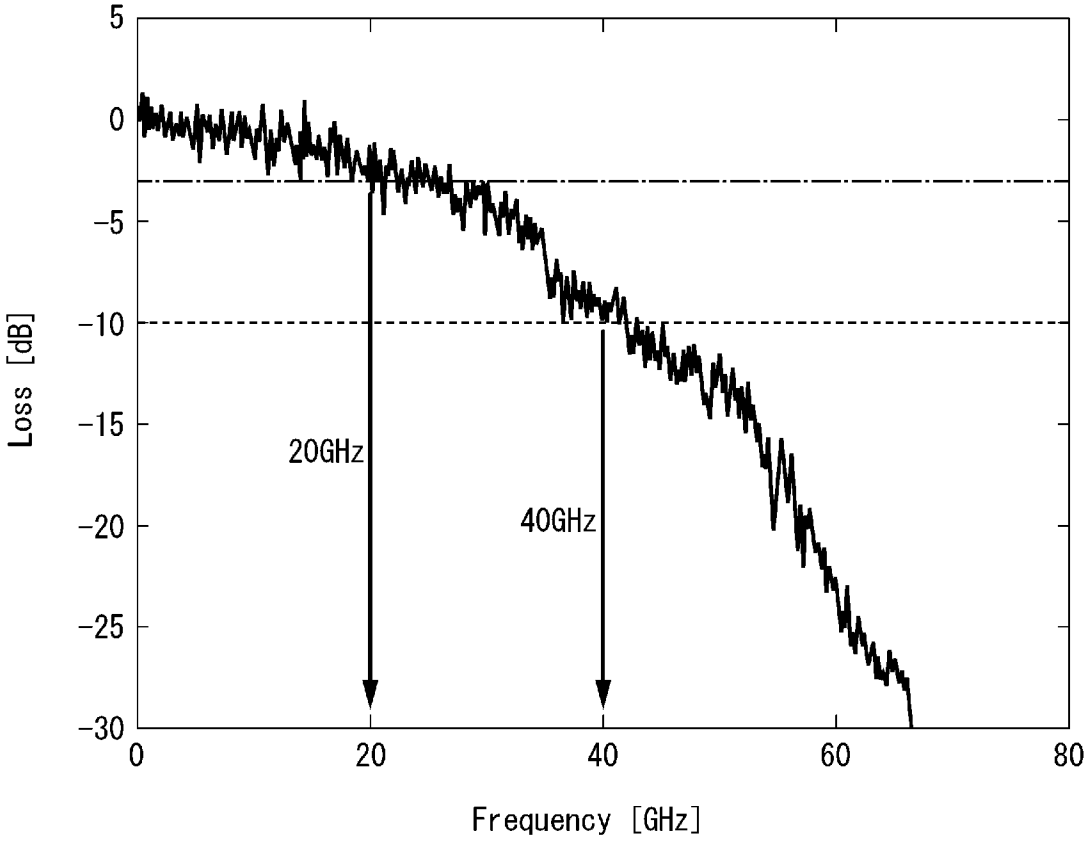
[図4]


スタート
S101
推定伝達関数と、受信信号と、の取得
S102
ブランチメトリック推定処理の実行
S103
パスメトリック推定処理の実行
S104
ビット尤度推定処理の実行
S105
出力
エンド

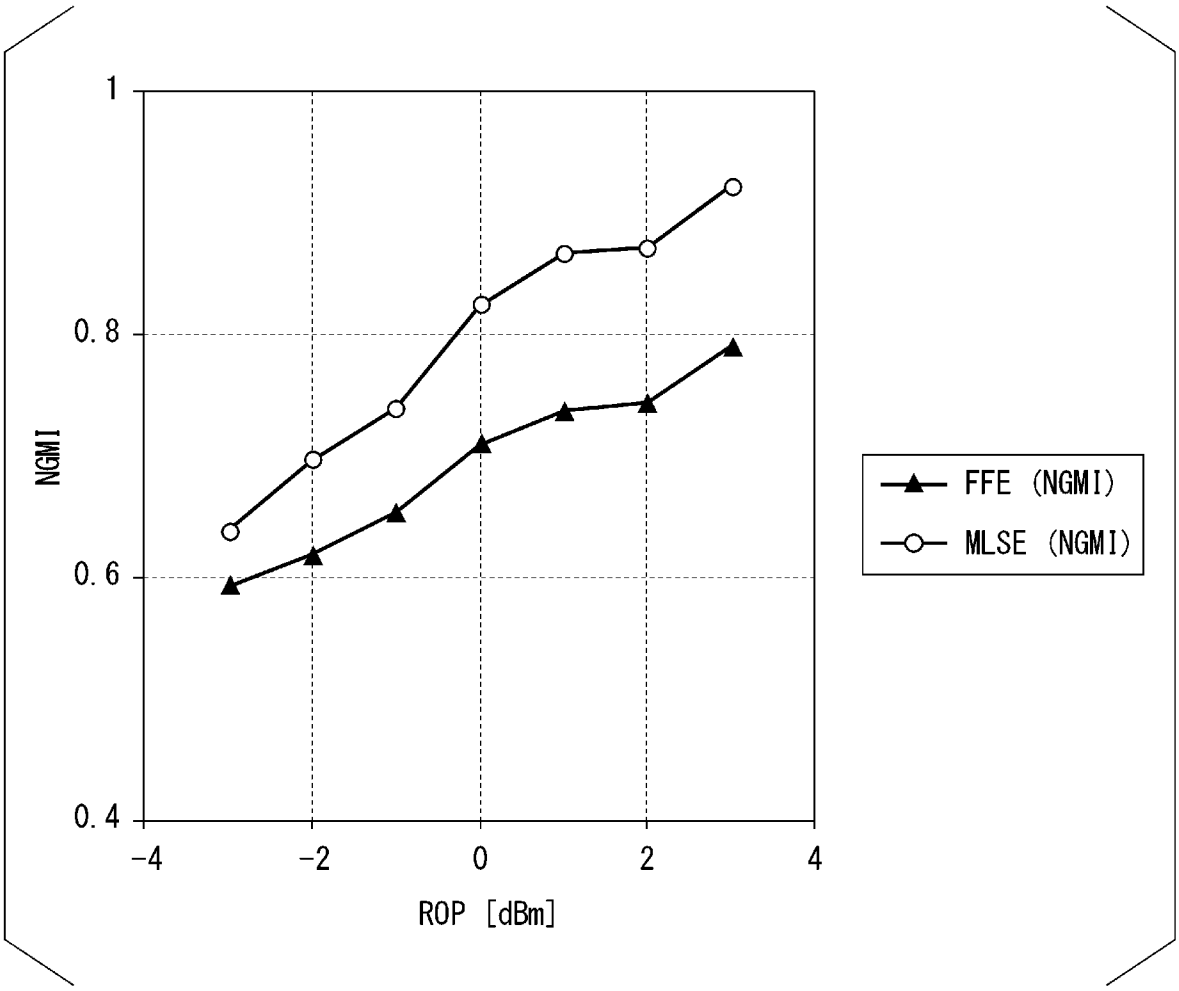
[図5]


スタート
S201
推定伝達関数と、受信信号と、の取得
S202
硬判定処理の実行
S203
尤度推定処理の実行
S204
違い取得処理の実行
S205
出力
エンド

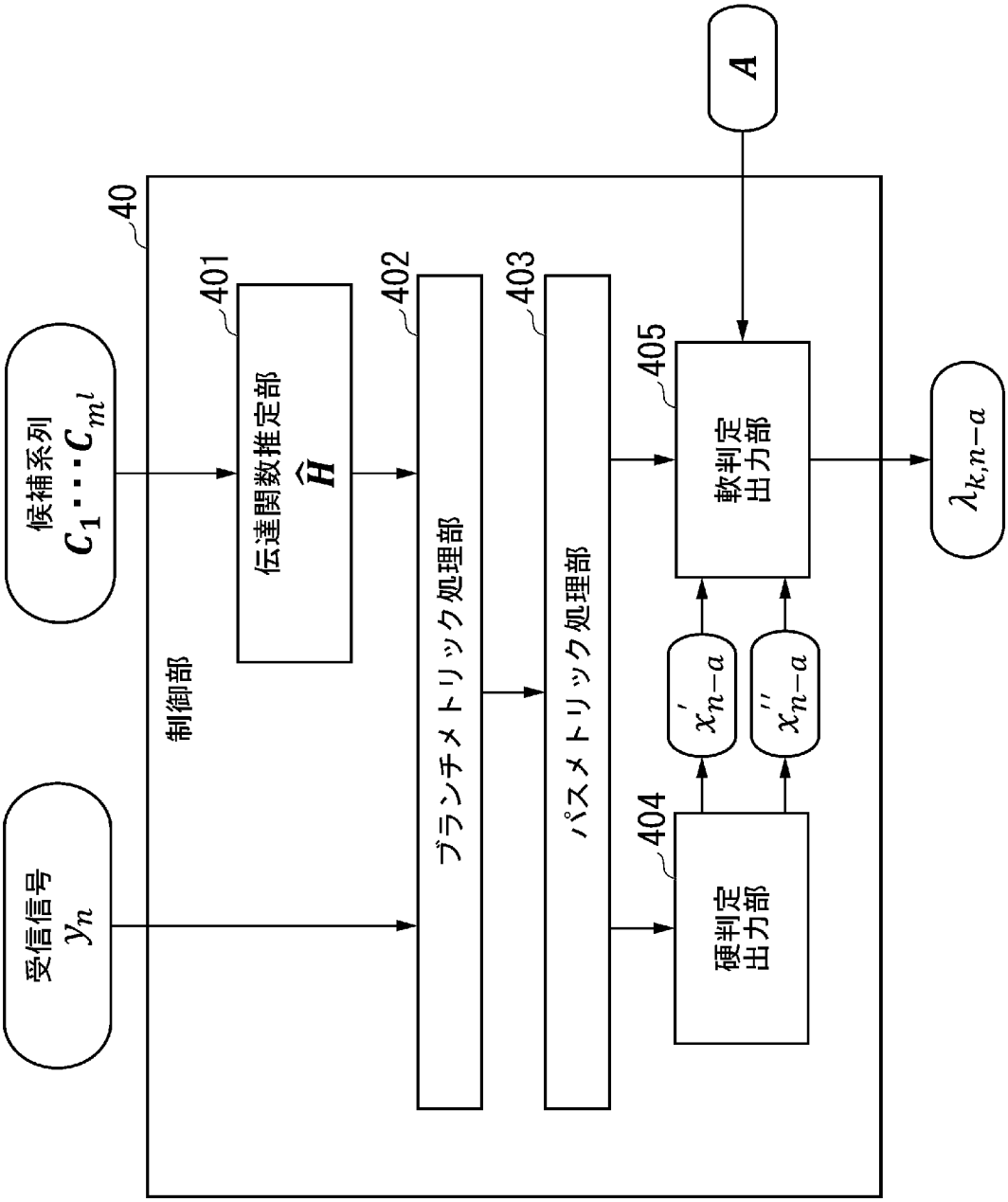
[図6]


5
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
Loss [dB]
20GHz
40GHz
0
20
40
60
80
Frequency [GHz]

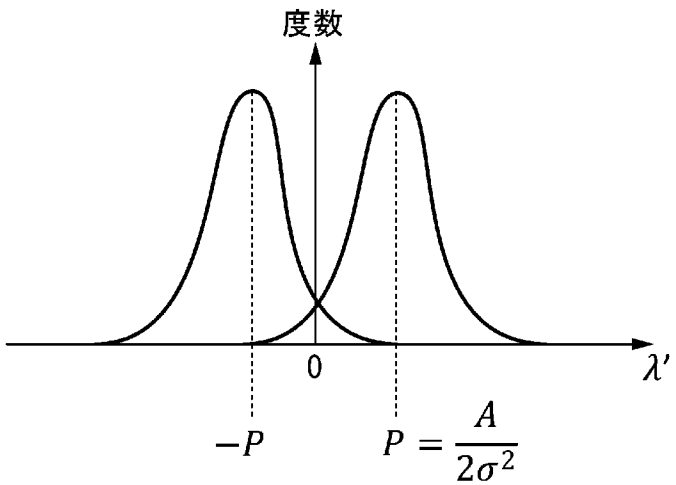
[図7]


1
0.8
0.6
0.4
NGMI
-4
-2
0
2
4
ROP [dBm]
FFE (NGMI)
MLSE (NGMI)

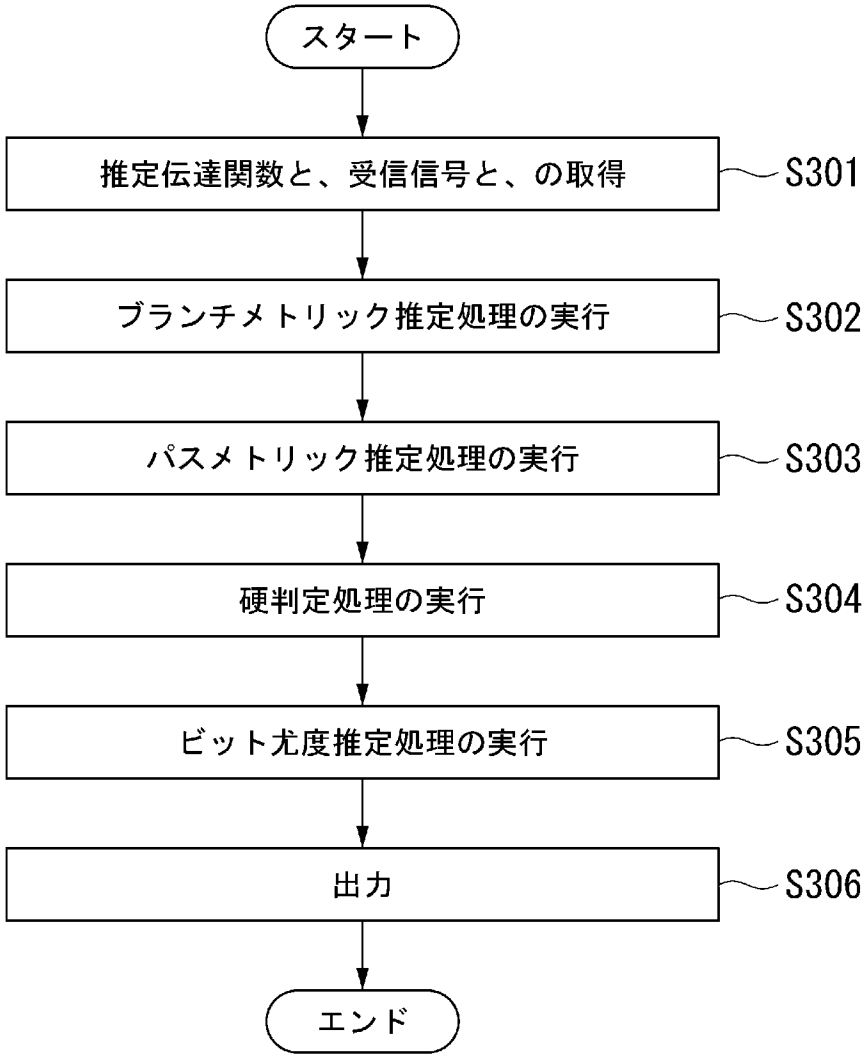
[図8]


A
40
401
402
403
405
候補系列
$C_1 \cdots C_{m^l}$
伝達関数推定部
$\hat{H}$
ブランチメトリック処理部
パスメトリック処理部
軟判定
出力部
$\lambda_{k,n-a}$
制御部
受信信号
y_n
404
硬判定
出力部
x'_{n-a}
x''_{n-a}

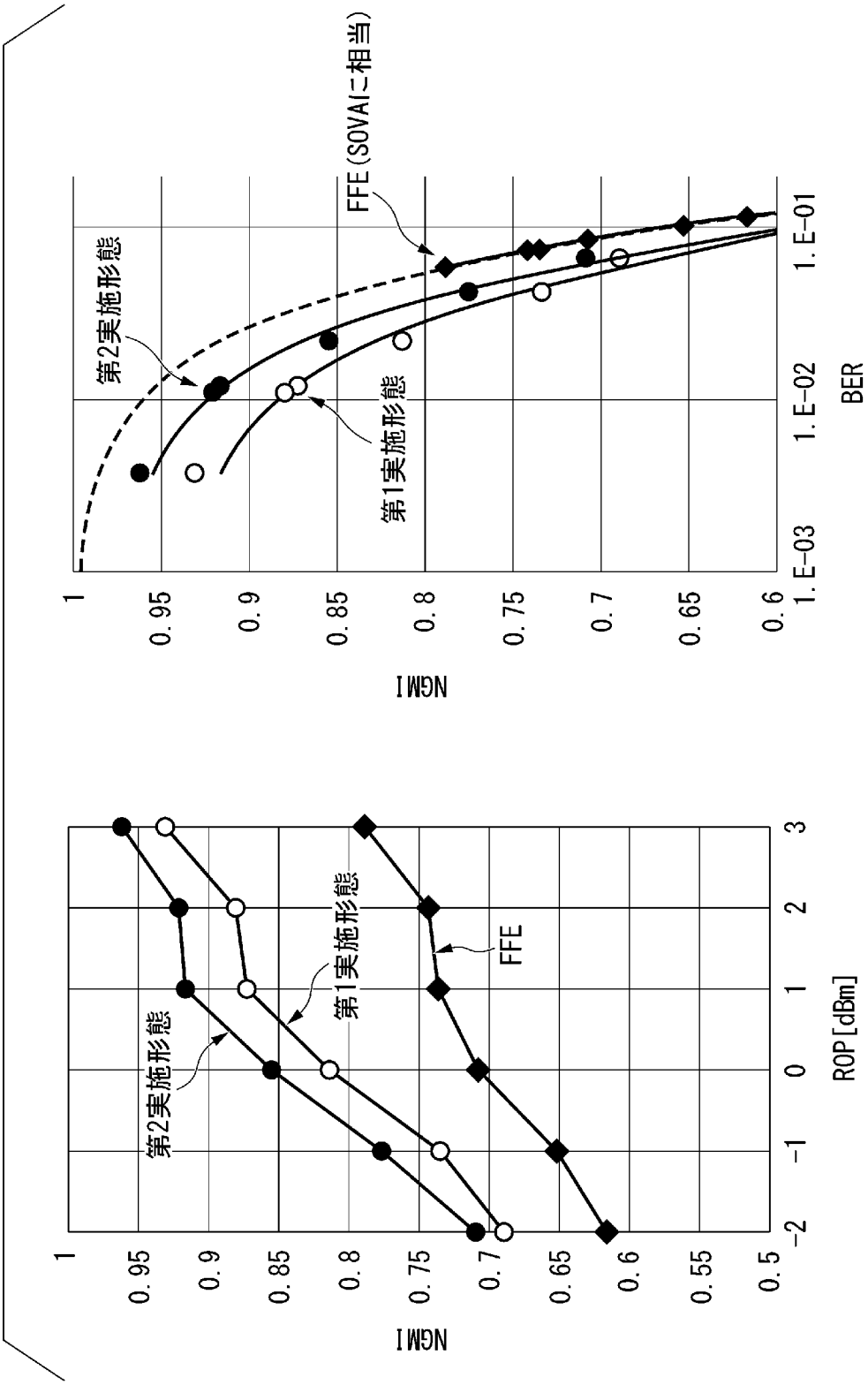
[図9]


度数
0
λ'
$-P$
$P = \frac{A}{2\sigma^2}$

[図10]


スタート
推定伝達関数と、受信信号と、の取得
S301
ブランチメトリック推定処理の実行
S302
パスメトリック推定処理の実行
S303
硬判定処理の実行
S304
ビット尤度推定処理の実行
S305
出力
S306
エンド

[図11]


FFE(SOVAに相当)
第2実施形態
第1実施形態
NGMI
1
0.95
0.9
0.85
0.8
0.75
0.7
0.65
0.6
1.E-01
1.E-02
1.E-03
BER
第2実施形態
第1実施形態
FFE
NGMI
1
0.95
0.9
0.85
0.8
0.75
0.7
0.65
0.6
0.55
0.5
-2
-1
0
1
2
3
ROP[dBm]

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2023/001097

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H03M 13/41(2006.01)i
FI: H03M13/41

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)

H03M13/41

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.
A	JP 4188079 B2 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 26 November 2008 (2008-11-26)	1-7
A	WO 2022/029835 A1 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 10 February 2022 (2022-02-10)	1-7
A	JP 2002-537688 A (LUCENT TECHNOLOGIES INC) 05 November 2002 (2002-11-05)	1-7
A	JP 2003-273751 A (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) 26 September 2003 (2003-09-26)	1-7

☐ 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
24 February 2023	**07 March 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/JP2023/001097

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 4188079 B2	26 November 2008	EP 1213852 A1	
		WO 2002/009315 A1	
		CN 1393066 A	
WO 2022/029835 A1	10 February 2022	(Family: none)	
JP 2002-537688 A	05 November 2002	US 6421395 B1	
		WO 2000/048369 A1	
		CN 1340262 A	
JP 2003-273751 A	26 September 2003	US 2004/0151258 A1	
		WO 2003/077426 A1	
		CN 1522499 A	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2023/001097

A.　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

H03M 13/41(2006.01)i
FI: H03M13/41

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））

H03M13/41

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
A	JP 4188079 B2 (三菱電機株式会社) 26.11.2008 (2008-11-26)	1-7
A	WO 2022/029835 A1 (日本電信電話株式会社) 10.02.2022 (2022-02-10)	1-7
A	JP 2002-537688 A (ルーセント テクノロジーズ インコーポレーテッド) 05.11.2002 (2002-11-05)	1-7
A	JP 2003-273751 A (松下電器産業株式会社) 26.09.2003 (2003-09-26)	1-7

☐ 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
24.02.2023	07.03.2023

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）

谷岡　佳彦 5K 3463

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/JP2023/001097

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	4188079	B2	26.11.2008	EP	1213852	A1	
				WO	2002/009315	A1	
				CN	1393066	A	
WO	2022/029835	A1	10.02.2022	（ファミリーなし）			
JP	2002-537688	A	05.11.2002	US	6421395	B1	
				WO	2000/048369	A1	
				CN	1340262	A	
JP	2003-273751	A	26.09.2003	US	2004/0151258	A1	
				WO	2003/077426	A1	
				CN	1522499	A	