

(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
2012年4月5日(05.04.2012)

PCT

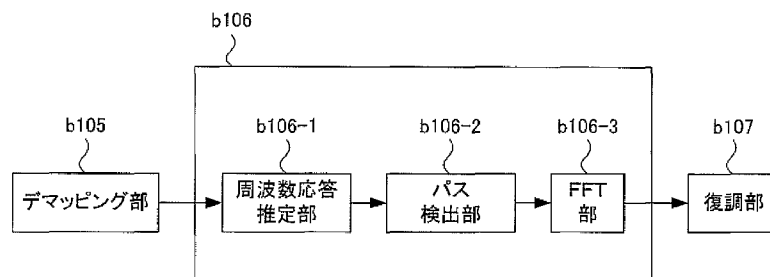
(10) 国際公開番号
WO 2012/043072 A1

- (51) 国際特許分類:
H04J 11/00 (2006.01) H04B 7/005 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/068224
- (22) 国際出願日: 2011年8月10日(10.08.2011)
- (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:
特願 2010-218988 2010年9月29日(29.09.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): シャープ株式会社(SHARP KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒5458522 大阪府大阪市阿倍野区長池町2番22号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 加藤勝也 (KATO Katsuya). 吉本貴司(YOSHIMOTO Takashi). 山田良太(YAMADA Ryota).
- (74) 代理人: 平木祐輔, 外(HIRAKI Yusuke et al.); 〒1050001 東京都港区虎ノ門4丁目3番20号 神谷町MTビル19階 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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: RECEIVER APPARATUS, RECEPTION METHOD AND RECEPTION PROGRAM

(54) 発明の名称: 受信装置、受信方法、受信プログラム

[図6]



b105... DEMAPPING UNIT
b106-1... FREQUENCY RESPONSE ESTIMATING UNIT
b106-2... PATH DETECTING UNIT
b106-3... FFT UNIT
b107... DEMODULATING UNIT

(57) Abstract: A receiver apparatus comprises a propagation path estimating unit for performing propagation path estimations. The propagation path estimating unit includes a path detecting unit that repeats path detecting processes in such an order that improves the propagation path suitability level. In this way, there can be provided a receiver apparatus that can perform highly precise propagation path estimations with a low computational complexity.

(57) 要約: 伝搬路推定を行う伝搬路推定部を備えた受信装置であって、伝搬路推定部は、伝搬路適合度を向上させる順番にパスを検出する処理を繰り返すパス検出部を備える受信装置。これにより高精度な伝搬路推定が可能な低演算量の受信装置を提供することができる。

明 細 書

発明の名称：受信装置、受信方法、受信プログラム

技術分野

[0001] 本発明は、受信装置、受信方法、受信プログラムに関する。

背景技術

[0002] 無線通信においては、特に広帯域伝送の場合、先行して受信するパスに加え、建物や山などの障害物からの反射を経由する等して遅延して到来するパスが存在する。このように複数のパスが到来する環境をマルチパス環境という。例えば、受信装置が時間領域の受信信号に対して復調処理を行う場合は、時間領域の伝搬路であるチャネルインパルス応答が必要であり、周波数領域の受信信号に対して復調処理を行う場合は、周波数領域の伝搬路である周波数応答が必要である。これら、伝搬路を推定するため、受信装置がその波形（あるいは、その信号系列）の振幅値を予め記憶するパイロットシンボルを、送信装置から受信装置へ送信する方法がある。高精度な伝搬路推定値を得るためには、遅延パスの電力等の伝搬路の統計的性質を知っている必要がある。

[0003] 下記非特許文献1には、スカッタード・パイロットOFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing; 直交周波数分割多重) において、推定するパスを選択することで、雑音および干渉の影響を低減し、推定精度を向上する技術が記載されている。具体的に、非特許文献1は、周波数応答の推定値をIFFT (Inverse Fast Fourier Transform; 逆高速フーリエ変換) することで近似的に得られるチャネルインパルス応答のうち、電力の高いパスを抽出し、それに対応した遅延時間を推定に用いるタップの遅延時間として選択する。

[0004] しかしながら、この方法では、推定できる周波数応答の数に限りがある場合、IFFTで得られる近似チャネルインパルス応答は、本来パスのある位

置から広がった形になる。この場合、推定すべきパスの周辺の遅延時間であって、推定精度を向上させることができない遅延時間も選択されてしまうため、推定精度の向上には限界がある。

[0005] 図1は、パスの広がりがない場合の伝搬モデルの例であり、横軸は遅延時間軸、縦軸はパスの電力である。なお、パス101とパス102の2つのパスが存在している。このとき、閾値103を超える電力のパスを選択するため、パス101とパス102が選ばれる。

[0006] 一方、図2はパスの広がりがある場合の例を示した図である。パス101、パス102、閾値103は図1と同一のものである。パス101に対する広がり201とパス102に対する広がり202のため、余分なパスである203～206が閾値を超えたパスとして選択されている様子を表わしている。

[0007] 一方、下記特許文献1には、複数のチャネルモデル構造による推定値を算出し、推定された評価値と受信信号との分散等から最適なチャネルモデル構造を選択する技術が記載されている。この手法では、電力ではなく統計的な情報量基準に基づいてパスを選択することになるため、非特許文献1のような問題は低減できる。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：特表2002-527997号公報

非特許文献

[0009] 非特許文献1：加藤、須山、鈴木、府川、「スキャッタード・パイロットOFDM受信機に用いる繰り返し検出と適応タップ選択チャネル推定」、電子情報通信学会技術報告、RCS2006-76、2006年7月

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] しかしながら、近年の無線通信技術の広帯域化により、受信機の観測でき

る有効パスの数が増加しているため、特許文献 1 の技術では、演算量が大幅に増大するという問題がある。

[0011] 本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであり、その目的は、高精度な伝搬路推定が可能な低演算量の受信装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0012] 本発明の一観点によれば、伝搬路推定を行う伝搬路推定部を備えた受信装置であって、前記伝搬路推定部は、伝搬路適合度を向上させる順番にパスを検出する処理を繰り返すパス検出部、を備えることを特徴とする受信装置が提供される。

[0013] 前記パス検出部は、伝搬路適合度を向上できるパスが無くなるまで、パスを検出する処理を繰り返すことが好ましい。また、前記パス検出部は、1 パスずつ検出を行うことが好ましい。前記パス検出部は、伝搬路適合度を向上できないパスを候補から削除する処理をさらに備えるようにしても良い。前記パス検出部は、前記伝搬路適合度として、伝搬路推定値と受信信号の誤差の評価値と検出したパス数が増加することへのペナルティとの和を用いることが好ましい。

[0014] また、前記パス検出部は、前記伝搬路適合度を、伝搬路推定値を算出するために用いる参照信号の物理構造に基づいて算出することが好ましい。

[0015] 前記物理構造は、配置周波数であることが好ましい。或いは、前記物理構造は、時間波形であることが好ましい。

[0016] また、前記パス検出部は、前記伝搬路適合度として、赤池情報量基準を用いるようにしても良い。前記パス検出部は、前記伝搬路適合度として、ベイズ情報量基準を用いるようにしても良い。

[0017] 前記受信装置は、検出したパス情報を外部情報として用いるパス情報外部入力伝搬路推定部を備え、前記パス検出部が前記パス情報外部入力伝搬路推定部にパス情報を出力することが好ましい。また、前記パス情報外部入力伝搬路推定部は、周波数領域で伝搬路推定を行うことが好ましい。前記パス情報外部入力伝搬路推定部は、時間領域で伝搬路推定を行うことが好ましい。

[0018] 本発明の他の観点によれば、伝搬路推定を行う伝搬路推定ステップを備えた受信方法であって、前記伝搬路推定ステップは、伝搬路適合度を向上できるパスが無くなるまで、伝搬路適合度を向上させる順番にパスを検出する処理を繰り返すパス検出過程、を有することを特徴とする受信方法が提供される。

[0019] 本発明は上記に記載の受信方法をコンピュータに実行させるための受信プログラムであっても良く、当該プログラムを記録するコンピュータ読み取り可能な記録媒体であっても良い。

[0020] 本明細書は本願の優先権の基礎である日本国特許出願2010-218988号の明細書および／または図面に記載される内容を包含する。

発明の効果

[0021] 本発明によれば、伝搬路推定の演算量を大きく低減することができる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1]パスの広がりがない場合の伝搬モデルの例であり、横軸は遅延時間軸、縦軸はパスの電力である。

[図2]パスの広がりがある場合の例を示す図であり、横軸は遅延時間軸、縦軸はパスの電力である。

[図3]本発明の第1の実施形態に係る送信装置の概略ブロック図である。

[図4]マッピング部a104がパイロットシンボルと変調信号をマッピングする例である。

[図5]本実施形態に係る受信装置b1の構成を示す概略ブロック図である。

[図6]伝搬路推定部b106の構成を示す概略ブロック図である。

[図7]本実施形態に係る受信信号の一例を示す概略図である。

[図8]本実施形態に係る受信信号の一例を示す概略図である。

[図9]本実施形態に係る受信信号の一例を示す概略図である。

[図10]本実施形態に係る受信信号の一例を示す概略図である。

[図11]同期ずれがなく、 $d = 0, 1, 3$ の位置に、平均電力 σ_0^2 、 σ_1^2 、 σ_3^2 のパスが存在し、 $T = 2$ 、 $L = 5$ の場合の例を示す図である。

[図12]パスを1つずつ探索していく動作を示すフローチャートの一例を示す図である。

[図13]本実施形態に係る受信装置の動作を示すフローチャート図である。

[図14]パス構造の一例を示す図である。

[図15]本発明の第2の実施形態に係る送信装置の構成を示す概略ブロック図である。

[図16]マッピング部が情報データシンボルとパイロットシンボルをマッピングする一例である。

[図17]本発明の第2の実施形態に係る受信装置b2の構成を示す概略ブロック図である。

[図18]伝搬路推定部b206の構成を示す概略ブロック図である。

[図19]図11のように、遅延時間 $d = 0$ 、 1 、 3 を想定して推定する場合の受信信号モデルであって、 $K = 12$ の場合の例である。

[図20]本発明の第2の実施形態に係る受信装置の動作を示すフローチャートである。

[図21]全てのサブキャリアにパイロットシンボルがマッピングされるOFDMシンボルがある場合のマッピング例を示す図である。

[図22]本発明の第3の実施形態に係る受信装置b3の構成を示す概略ブロック図である。

[図23]伝搬路推定部b306の構成を示す概略ブロック図である。

[図24]第2の実施形態に係る送信装置a2を前提とした受信装置の場合の、第3の実施の形態による受信装置の一構成例を示す図である。

[図25]本発明の第4の実施形態に係る受信装置b4の構成を示す概略ブロック図である。

[図26]第2の実施形態に係る送信装置a2を前提とした受信装置の場合の、第4の実施の形態による受信装置の一構成例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0023] (第1の実施形態)

図3は、本発明の第1の実施形態に係る送信装置の概略ブロック図である。以下、本実施形態では、送信装置を符号a1で示す。図1において、送信装置a1は、パイロット生成部a101、符号部a102、変調部a103、マッピング部a104、IFFT部a105、GI挿入部a106、送信部a107、及び、送信アンテナ部a108を含んで構成され、OFDM信号を送信する。

[0024] パイロット生成部a101は、受信装置がその波形（あるいは、その信号系列）の振幅値を予め記憶するパイロットシンボルを生成し、マッピング部a104に出力する。なお、以下、本実施形態では、受信装置を符号b1で示す。受信装置b1では、パイロットシンボルを参照信号として伝搬路推定を行う。

[0025] 符号部a102は、受信装置b1に送信する情報ビットに対して畳込み符号、ターボ符号、LDPC（Low Density Parity Check：低密度パリティ検査）符号などの誤り訂正符号を用いて符号化し、符号化ビットを生成する。符号部a102は、生成した符号化ビットを変調部a103に出力する。

[0026] 変調部a103は、符号部a102から入力された符号化ビットを、PSK（Phase Shift Keying：位相偏移変調）やQAM（Quadrature amplitude modulation：直交振幅変調）などの変調方式を用いて変調し、変調シンボルを生成する。変調部a103は、生成した変調シンボルをマッピング部a104に出力する。

[0027] マッピング部a104は、パイロット生成部a101から入力されたパイロットシンボル、及び、変調部a103から入力された変調シンボルを、予め定められたマッピング情報に基づいてリソース（時間一周波数帯域）にマッピングして周波数領域の信号を生成し、生成した周波数領域の信号をIFFT部a105に出力する。なお、リソースとは、送信装置a1が送信するフレームにおいて1つのサブキャリアと1つの後述するFFT区間から成る、変調シンボルを配置する単位である。また、マッピング情報は、送信装置

a 1 が決定し、送信装置 a 1 から受信装置 b 1 へ予め通知される。

[0028] 図 4 は、マッピング部 a 1 0 4 がパイロットシンボルと変調信号をマッピングする例を示す図である。

[0029] 図 3 の I F F T 部 a 1 0 5 は、マッピング部 a 1 0 4 から入力された周波数領域の信号を周波数－時間変換し、時間領域の信号を生成する。ここで、I F F T を行う単位の時間区間を F F T 区間という。I F F T 部 a 1 0 5 は、生成した時間領域の信号を G I 挿入部 a 1 0 6 に出力する。

[0030] G I 挿入部 a 1 0 6 は、I F F T 部 a 1 0 5 から入力された時間領域の信号に対して、F F T 区間の信号毎にガードインターバル (Guard Interval: G I) を付加する。ここで、ガードインターバルとは、F F T 区間の信号の後方の一部を複製したものであるサイクリックプレフィックス (Cyclic Prefix: C P) やゼロ区間が続くゼロパディング、Golay 符号等を用いた既知信号等であり、G I 挿入部 a 1 0 6 は、このような信号をこの F F T 区間の信号の前方に付加する。

[0031] なお、F F T 区間と、G I 挿入部 a 1 0 6 がその時間区間の信号に付加したガードインターバルの時間区間 (G I 区間という) と、を併せて O F D M シンボル区間という。また、O F D M シンボル区間の信号を O F D M シンボルという。G I 挿入部 a 1 0 6 は、ガードインターバルを付加した信号を送信部 a 1 0 7 に出力する。

[0032] なお、ガードインターバルを F F T 区間の後方に挿入してもよい。例えば、サイクリックプレフィックスを用いる場合、F F T 区間の前方の一部の複製を F F T 区間の信号の後方に付加する。また、サイクリックプレフィックスの場合は、O F D M シンボル区間で周期性が保たれるようにすればよく、前記の限りではない。

[0033] 送信部 a 1 0 7 は、G I 挿入部 a 1 0 6 から入力された信号をデジタル・アナログ変換し、変換したアナログ信号を波形整形する。送信部 a 1 0 7 は、波形整形した信号をベースバンド帯から無線周波数帯にアップコンバートし、送信アンテナ a 1 0 8 から受信装置 b 1 (図 5) へ送信する。

[0034] 図5は、本実施形態に係る受信装置b1の構成を示す概略ブロック図である。この図において、受信装置b1は、受信アンテナb101、受信部b102、GI除去部b103、FFT部b104、デマッピング部b105、伝搬路推定部b106、復調部b107、復号部b108を含んで構成される。

[0035] 受信部b102は、送信装置a1が送信した送信信号を、受信アンテナb101を介して受信する。受信部b102は、受信した信号に対して、周波数変換及びアナログーデジタル変換を行う。

[0036] GI除去部b103は、受信部b102から入力された受信信号から、ガードインターバルを除去し、FFT部b104へ出力する。

[0037] FFT部b104は、GI除去部b103から入力された時間領域の信号に対して時間周波数変換を行い、変換した周波数領域の信号をデマッピング部b105へ出力する。

[0038] デマッピング部b105は、送信装置a1から予め通知されたマッピング情報に基づいてデマッピングし、分離されたパイロットシンボルが送信されたサブキャリアの受信信号を伝搬路推定部b106に出力する。また、データが送信されたサブキャリアの受信信号を復調部b107に出力する。

[0039] 図6は、伝搬路推定部b106の構成例を示す概略ブロック図である。この図において、伝搬路推定部b106は、デマッピング部b105側から順番に、周波数応答推定部b106-1、パス検出部b106-2、FFT部b106-3を含んで構成される。

[0040] 周波数応答推定部b106-1は、デマッピング部b105から入力された受信信号と、予め記憶するパイロットシンボルに基づいて周波数応答を推定し、パス検出部b106-2に出力する。

[0041] パス検出部b106-2は、想定する最大遅延時間Lまでの範囲で、伝搬路適合度を向上させるパスを1つずつ検出していく。ここで、伝搬路適合度とは、計算した推定値と観測したデータ（ここでは受信信号）の適合度合いを定量的に表わす量である。同時に、チャネルインパルス応答の推定を行う

。なお、伝搬路適合度の向上度合いの大きいパスから選択していく。また、同時に伝搬路適合度を向上できないパスは候補から削除していく。この原理については後述する。

[0042] パス検出部 b 1 0 6 - 2 は、伝搬路適合度を向上させるパスが無くなった時点で処理を終了し、推定されているチャネルインパルス応答の推定値を F F T 部 b 1 0 6 - 3 に出力する。

[0043] なお、想定する最大遅延時間 L は、実際の伝搬路の最大遅延時間より大きくなるようにしておけばよく、様々な環境においてその条件を満たすように余裕を持った値にしておけばよい。これには、通信システムを運用する前に詳細な実地調査を行って L を決定するようにしてもよいし、設計段階では可変にしておき、受信装置 b 1 のファームウェア、ソフトウェア等をアップデートするときに更新する等してもよい。なお、L を事前決定せず、伝搬路と同様に推定してもよい。

[0044] また、伝搬路適合度の算出は、チャネルインパルス応答の推定に用いる参照信号の物理構造を利用して行うことができる。これは、本実施形態だけでなく、他の実施形態でも同様である。この原理については後述する。

[0045] F F T 部 b 1 0 6 - 3 は、パス検出部 b 1 0 6 - 2 から入力されたチャネルインパルス応答に時間周波数変換を施し、復調部 b 1 0 7 に出力する。

[0046] また、伝搬路推定部 b 1 0 6 は、予め記憶するパイロットシンボルを用い、パイロットシンボルが配置されるサブキャリア（パイロットサブキャリアという）において、雑音電力を測定する。具体的な算出方法は、動作原理と併せて後述する。

[0047] 復調部 b 1 0 7 は、伝搬路推定部 b 1 0 6 から入力された周波数応答および雑音電力を用いて、Z F (Z e r o F o r c i n g) 基準、M M S E (M i n i m u m M e a n S q u a r e E r r o r) 基準等のフィルタ係数を算出する。復調部 b 1 0 7 は、算出したフィルタ係数を用いて、信号の振幅と位相の変動の補償（伝搬路補償という）を行う。

[0048] 復調部 b 1 0 7 は、復調処理の結果のビット対数尤度比 (L L R ; L o g

L i k e l i h o o d R a t i o) を復号部 b 1 0 8 に出力する。

[0049] 復号部 b 1 0 8 は、復調部 b 1 0 7 から入力された復調シンボルに対して、例えば、最尤復号法 (M L D ; M a x i m u m L i k e l i h o o d D e c o d i n g)、最大事後確率 (M A P ; M a x i m u m A p o s t e r i o r i P r o b a b i l i t y)、log-MAP、Max-l o g-MAP、SOVA (S o f t O u t p u t V i t e r b i A l g o r i t h m) 等を用いて、復号処理を行う。

[0050] 図 7 は、本実施形態に係る受信信号の一例を示す概略図である。この図において、最大遅延は G I 長を超えず、前の O F D M シンボルによる干渉は無い。

[0051] この図において、横軸は時間軸であり、予め定めた時間幅で区切られた離散時刻である。この図において、右斜め上がりの斜線でハッチングした領域は G I を示す。また、左斜め上がりの斜線でハッチングした領域は前後の O F D M シンボルの受信信号を表わす。

[0052] また、N は F F T (F a s t F o u r i e r T r a n s f o r m ; フーリエ変換) 区間のポイント数 (I F F T (I n v e r s e F a s t F o u r i e r T r a n s f o r m ; 逆フーリエ変換) 区間のポイント数でもある)、N_g は G I のポイント数である。ここで、ポイント数とは離散時刻の数である。

[0053] 図 8 は、本実施形態に係る受信信号の一例を示す概略図である。この図においては、図 7 に比べて同期位置が後ろに N_g ポイントずれており、先行パスにおける後ろの O F D M シンボルが干渉となっている。

[0054] 図 9 は、本実施形態に係る受信信号の一例を示す概略図である。この図において、最大遅延が G I 長を超えており、前の O F D M シンボルによる干渉が発生している。

[0055] 図 1 0 は、本実施形態に係る受信信号の一例を示す概略図である。この図において、同期位置が後ろに N_g ポイントずれており、かつ、そのときの最大遅延が G I 長を超えているため、前と後ろの O F D M シンボルによる干渉が

発生している。

[0056] また、FFT区間内において、各パスの伝搬路値が大きく時間変動する場合、キャリア間干渉（Inter Carrier Interference：ICI）が発生する。

[0057] 本発明は、図10のような場合で、かつ、伝搬路変動による干渉の存在する場合にも有効であるため、以下では干渉が存在するものとして説明する。

[0058] <動作原理について>

以下、受信装置b1の動作原理について、図5を参照しながら説明する。

[0059] 受信部b102が受信した第k離散時刻の第iシンボルの受信信号 $r_{i,k}$ は、次式（1）、（2）で表わされる。

[数1]

$$r_{i,k} = \sum_{d=0}^D h_{i,d,k} s_{i,k-d} + z_{i,k} \quad \dots (1)$$

$$s_{i,k} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} S_{i,n} \exp \left[j \frac{2\pi n}{N} (k - N_g) \right] \quad \dots (2)$$

[0060] ここで、Dは最大遅延時間、 $h_{i,d,k}$ は第iシンボルの伝搬路番号dのパス（第dパスという）における第k離散時刻の複素振幅、 $s_{i,k}$ は第iシンボルの時間領域の送信信号であり、 $z_{i,k}$ は第iシンボルの時間領域の雑音である。また、NはFFT区間のポイント数、 $S_{i,n}$ は第nサブキャリアの第iシンボルの変調信号、 N_g はGI区間のポイント数（図5参照）、jは虚数単位である。なお、 $d=0 \sim D$ の複素振幅をまとめて、チャネルインパルス応答という。

[0061] FFT区間の受信信号 $r_{i,k}$ に対して、FFT部b103にて、時間周波数変換を行った後の信号 $R_{i,n}$ は、次式（3）、（4）で表わされる。

[数2]

$$R_{i,n} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=N_g+N_e}^{N_g+N+N_e-1} r_{i,k} \exp\left[-j\frac{2\pi m}{N}(k-N_g)\right]$$

$$= W_{i,n,n} S_{i,n} + Z'_{i,n} \quad \cdots (3)$$

$$Z'_{i,n} = \sum_{m=0, m \neq n}^{N-1} W_{i,n,m} S_{i,m} + \sum_{m=0}^{N-1} V_{i,n,m,0} S_{i-1,m} + \sum_{m=0}^{N-1} V_{i,n,m,1} S_{i+1,m} + Z_{i,n} \quad \cdots (4)$$

[0062] ただし、 N_e だけ後ろへの同期ずれがあるものとした。ここで、 $W_{i,n,m}$ は第 m サブキャリアから第 n サブキャリアへの信号の $|C|$ 係数、 $V_{i,n,m,0}$ は第 m サブキャリアから第 n サブキャリアへの一つ前のOFDMシンボルによる $|S|$ 係数、 $V_{i,n,m,1}$ は第 m サブキャリアから第 n サブキャリアへの一つ後のOFDMシンボルによる $|S|$ 係数、 $Z_{i,n}$ は第 n サブキャリアにおける雑音である。なお、 $Z'_{i,n}$ は雑音と $|C|$ および $|S|$ の和である。また、 $m=n$ である場合の $W_{i,n,n}$ は、第 n サブキャリアの周波数応答であり、次式(5)～(7)で表わされる。

[数3]

$$W_{i,n,n} = \sum_{d=0}^D a_{d-N_e} c_{i,d} \exp\left[-j\frac{2\pi m}{N}(d-N_e)\right] \quad \cdots (5)$$

$$c_{i,d} = \begin{cases} \frac{1}{N-N_e+d} \sum_{k=N_g+N_e}^{N_g+N+N_e-1} h_{i,d,k} & \text{for } 0 \leq d < N_e \\ \frac{1}{N} \sum_{k=N_g+N_e}^{N_g+N+N_e-1} h_{i,d,k} & \text{for } N_e \leq d \leq N_g+N_e \\ \frac{1}{N+N_g+N_e-d} \sum_{k=N_g+N_e+d}^{N_g+N+N_e-1} h_{i,d,k} & \text{for } N_g+N_e < d \leq D \end{cases} \quad \cdots (6)$$

$$a_d = \begin{cases} \frac{N-|d|}{N} & \text{for } d < 0 \\ 1 & \text{for } 0 \leq d \leq N_g \\ \frac{N_g+N-d}{N} & \text{for } N_g < d \leq D \end{cases} \quad \cdots (7)$$

[0063] なお、 $c_{i,d}$ は、OFDMシンボル内で時間変動しているチャネルインパルス応答の時間平均である。伝搬路推定部106において、 $W_{i,n,n}$ の推定が

行われるが、これは後述する。ここでは、推定値が得られているものとして、受信装置 b 1 の残りの機能を説明する。

[0064] 復調部 b 1 0 7 は、例えば M M S E 基準のフィルタリングを用いた場合、復調シンボル $S'_{i,n}$ を次式 (8) を用いて算出する。

[数4]

$$S'_{i,n} = \frac{W_{i,n,n}^*}{W_{i,n,n}^* W_{i,n,n} + \sigma_z'^2} R_{i,n} \quad \dots (8)$$

[0065] ここで、 Y^* は Y の複素共役であることを示す。また、式 (8) において $\sigma_z'^2$ は $Z'_{i,n}$ の電力であり、次式 (9) のように表わされる。

[数5]

$$\sigma_z'^2 = E \left[|Z_{i,n}|^2 \right] + E \left[\left| \sum_{m=0, m \neq n}^{N-1} W_{i,n,m} S_{i,m} + \sum_{m=0}^{N-1} V_{i,n,m,0} S_{i-1,m} + \sum_{m=0}^{N-1} V_{i,n,m,1} S_{i+1,m} \right|^2 \right] \quad \dots (9)$$

[0066] ここで、 $E[X]$ は、 X のアンサンブル平均を示す。なお、この電力は次式 (10) のように計算することができ、その結果を式 (8) に用いて復調シンボル $S'_{i,n}$ を算出する。

[数6]

$$\sigma_z'^2 = \left(\sum_{n \in P_i} |R_{i,n}|^2 - |P_i| \right) / |P_i| \quad \dots (10)$$

[0067] ここで、 $\sigma_z'^2$ は $\sigma_z'^2$ の推定値であり、 P_i は第 i シンボルにおいて、パイロットサブキャリアを表わす集合である。なお、これは十分な数の算術平均がアンサンブル平均に等しいと仮定した場合、式 (10) が次式 (11) のようにできることを利用した算出法である。

[数7]

$$\begin{aligned}
\sigma_z^2 &= \left(\sum_{n \in P_i} |W_{i,n,n} S_{i,n}|^2 + \sum_{n \in P_i} \left| \sum_{m=0, m \neq n}^{N-1} W_{i,n,m} S_{i,m} + \sum_{m=0}^{N-1} V_{i,n,m,0} S_{i-1,m} + \sum_{m=0}^{N-1} V_{i,n,m,1} S_{i+1,m} \right|^2 + \sum_{n \in P_i} |Z_{i,n}|^2 - |P_i| \right) / |P_i| \\
&= \left(|P_i| + \sum_{n \in P_i} \left| \sum_{m=0, m \neq n}^{N-1} W_{i,n,m} S_{i,m} + \sum_{m=0}^{N-1} V_{i,n,m,0} S_{i-1,m} + \sum_{m=0}^{N-1} V_{i,n,m,1} S_{i+1,m} \right|^2 + |P_i| \sigma_z^2 - |P_i| \right) / |P_i| \\
&= \frac{1}{|P_i|^2} \sum_{n \in P_i} \left| \sum_{m=0, m \neq n}^{N-1} W_{i,n,m} S_{i,m} + \sum_{m=0}^{N-1} V_{i,n,m,0} S_{i-1,m} + \sum_{m=0}^{N-1} V_{i,n,m,1} S_{i+1,m} \right|^2 + \sigma_z^2 \quad \cdots (11)
\end{aligned}$$

[0068] ここで、第1項が|S|および|C|の電力を表わし、第2項が雑音電力を表わしている。この式は、パイロット信号の電力が1に正規化され、周波数応答の電力平均が1に正規化される場合のものである。すなわち、この式は次式(12)が満たされる場合のものである。

[数8]

$$\sum_{n \in P_i} |W_{i,n,n} S_{i,n}|^2 = |P_i| \quad \cdots (12)$$

[0069] なお、パイロット信号の電力が1でない場合は、その分の調整係数を導入すればよい。また、周波数応答の正規化は、受信部b102にてアナログーデジタル変換されるときに振幅調整に起因する。

[0070] 復調部b107は、式(8)の復調シンボル $S'_{i,n}$ からビット対数尤度比を算出する。この算出処理には等価振幅利得が用いられる。具体的には、QPSKの場合、次式(13)で表わされる第nサブキャリアの等価振幅利得 $\mu_{i,n}$ に対して、ビット対数尤度比 λ は、次式(14)、(15)で表わされる。ここで、式(14)、(15)は、それぞれ、1ビット目のビット $b_{i,n,0}$ 、2ビット目のビット $b_{i,n,1}$ のビット対数尤度比 $\lambda(b_{i,n,0})$ 、 $\lambda(b_{i,n,1})$ である。

[数9]

$$\mu_{i,n} = \frac{W_{i,n,n}^* W_{i,n,n}}{W_{i,n,n}^* W_{i,n,n} + \sigma^2} \quad \dots (13)$$

$$\lambda(b_{i,n,0}) = \frac{4 \operatorname{Re}[S_{i,n}^*]}{\sqrt{2}(1 - \mu_{i,n})} \quad \dots (14)$$

$$\lambda(b_{i,n,1}) = \frac{4 \operatorname{Im}[S_{i,n}^*]}{\sqrt{2}(1 - \mu_{i,n})} \quad \dots (15)$$

[0071] 次に伝搬路推定の動作を説明する。周波数応答推定部 106-1 は、式 (3) に基づいて周波数応答の推定値 $W'_{i,n,n}$ を算出する。具体的には、次式 (16) のように推定する。

[数10]

$$W'_{i,n,n} = \frac{R_{i,n}}{S_{i,n}} \quad \dots (16)$$

[0072] これを行うためには、第 n サブキャリアの信号 $S_{i,n}$ が既知である必要があるが、パイロットシンボル等を用いればよい。

[0073] ここで、周波数応答の推定値からチャネルインパルス応答を推定する方法について説明する。 n_1 、 n_2 、 $\dots$ 、 n_p をパイロットサブキャリアとし、周波数応答推定ベクトル H_p を次式 (17) のように定義する。

[数11]

$$H_p = \begin{pmatrix} W'_{i,n_1,n_1} & W'_{i,n_2,n_2} & \dots & W'_{i,n_p,n_p} \end{pmatrix}^T \quad \dots (17)$$

[0074] ただし、太字はベクトル又は行列を表わし、 Y^T は Y の転置を表わす。なお、例えば図 4 における最初の OFDM シンボルを考えると、 n_1 は一番低いサブキャリア、 n_2 はそれより 2 つ先のサブキャリア、 n_3 はさらに 2 つ先のサブキャリア、 $\dots$ 、ということになる。このとき、MMSE によるチャネルインパルス応答推定ベクトル h_{MMSE} は、次式 (18~21) のようになる。

[数12]

$$\mathbf{h}_{\text{MMSE}} = \mathbf{C}_h \mathbf{F}^H (\mathbf{F} \mathbf{C}_h \mathbf{F}^H + \sigma_z^2 \mathbf{I}_{N_p})^{-1} \mathbf{H}_p \quad \dots (18)$$

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}' \mathbf{A} \quad \dots (19)$$

$$\mathbf{F}' = \begin{bmatrix} \exp\left(-j \frac{2\pi m_1}{N} (-T)\right) & \exp\left(-j \frac{2\pi m_1}{N} (-T+1)\right) & \dots & \exp\left(-j \frac{2\pi m_1}{N} L\right) \\ \exp\left(-j \frac{2\pi m_2}{N} (-T)\right) & \exp\left(-j \frac{2\pi m_2}{N} (-T+1)\right) & \dots & \exp\left(-j \frac{2\pi m_2}{N} L\right) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \exp\left(-j \frac{2\pi m_p}{N} (-T)\right) & \exp\left(-j \frac{2\pi m_p}{N} (-T+1)\right) & \dots & \exp\left(-j \frac{2\pi m_p}{N} L\right) \end{bmatrix} \quad \dots (20)$$

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{-T} & & & \\ & a_{-T+1} & & \\ & & \ddots & \\ & & & a_L \end{pmatrix} \quad \dots (21)$$

[0075] ただし、 N_p はパイロットサブキャリア数であり、 $\mathbf{I}_x$ はサイズ x の単位行列である。また、同期位置から負の遅延時間も考慮しており、 $-T$ まで考慮する。 $N_p \leq T$ ならば問題なく、ここではこれが満たされるものとして説明する。具体的な T の値は、受信装置を設計する段階で決めておいてもよいし、設計段階では可変にしておき、受信装置のファームウェア、ソフトウェア等をアップデートするときに更新する等してもよい。

[0076] なお、 $\mathbf{C}_h$ は主対角要素に、 $-T \sim L$ までのパスの平均電力の値を持つサイズ $L+T+1$ の対角行列である。図11は、同期ずれが無く、 $d=0$ 、1、3の位置に、平均電力 σ_0^2 、 σ_1^2 、 σ_3^2 のパスが存在し、 $T=2$ 、 $L=5$ の場合の例である。

[0077] 実際には具体的な $\mathbf{C}_h$ が未知であるので、 d によらずに σ_d^2 を一定値 β として計算を行う。ただし、伝搬路適合度を向上するパスだけを β とし、それ以外は0とする。以下では、 $-T \sim L$ までのパスのうち、伝搬路適合度を向上するパスを1つずつ探索していき、最終的なチャネルインパルス応答推定値を計算する方法について説明する。

[0078] 図12は、パスを1つずつ探索していく動作の流れを示すフローチャート図の一例である。なお、この図は、パス検出部b106-2（図6）の動作

を示している。

[0079] (ステップS 1 0 1) 初期値として、選択したパス (selected_path) を空、候補パス (candidate_path) を $-T \sim L$ 、伝搬路適合度 (channel_match_prev) を小さい値 (負の無限大等) とする。その後、ステップS 1 0 2に進む。

[0080] (ステップS 1 0 2) 既に選択されているパス (selected_path) に加え、候補パス (candidate_path) のそれぞれを加えた場合のチャネルインパルス応答を推定する。具体的には、式 (1 8) において、 C_n をパス位置のみ β 、それ以外の位置をゼロにすればよい。なお、その際に逆行列の補助定理を利用し、計算量を削減してもよい。例えば、次式 (2 2) のようにしてもよい。

[数13]

$$\mathbf{h}_q = \left(\mathbf{F}_q^H \mathbf{F}_q + \alpha \mathbf{I}_{|q|} \right)^{-1} \mathbf{F}_q^H \mathbf{H}_p \quad \dots (2 2)$$

[0081] ただし、 q は選択したパスに候補パスの一つを追加した時のパス集合を表し、例えば、図 1 1 のように $d = 0, 1, 3$ を推定する場合、 $q = [0, 1, 3]$ である。また、 $\mathbf{h}_q$ はパス位置の推定値のみを持つベクトルであり、ゼロに設定した位置の情報は含んでいない。また、 $\mathbf{F}_q$ は式 (1 9) の $\mathbf{F}$ において、 q の要素に対応する列だけを抜き出した行列、 $|q|$ はそのときのパス数であり、 $\alpha = \sigma_z'^2 / \beta$ である。例えば、図 1 1 のように $d = 0, 1, 3$ を推定する場合、 $\mathbf{F}_q$ は次式 (2 3) のようになる。

[数14]

$$\mathbf{F}_q = \begin{bmatrix} \exp\left(-j \frac{2\pi m_1}{N} 0\right) & \exp\left(-j \frac{2\pi m_1}{N} 1\right) & \exp\left(-j \frac{2\pi m_1}{N} 3\right) \\ \exp\left(-j \frac{2\pi m_2}{N} 0\right) & \exp\left(-j \frac{2\pi m_2}{N} 1\right) & \exp\left(-j \frac{2\pi m_2}{N} 3\right) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \exp\left(-j \frac{2\pi m_p}{N} 0\right) & \exp\left(-j \frac{2\pi m_p}{N} 1\right) & \exp\left(-j \frac{2\pi m_p}{N} 3\right) \end{bmatrix} \quad \dots (2 3)$$

[0082] なお、 α は q によらずに一定とし、事前に $\sigma_z'^2$ に応じた代表値を保持す

るようにしておいてもよい。代表値は、設計段階では可変にしておき、受信装置 b 1 のファームウェア、ソフトウェア等をアップデートするときに更新する等してもよい。

[0083] 次に、パス候補を加えた場合毎に伝搬路適合度を計算する。伝搬路適合度は、次式 (24) のようなモデルエビデンス $M(q)$ で表わされる。

[数15]

$$M(q) = \int p(\mathbf{H}_p | \mathbf{h}_{q,t}) p(\mathbf{h}_{q,t}) d\mathbf{h}_{q,t} \\ = \frac{(\mathbf{F}_q^H \mathbf{H}_p)^H \mathbf{h}_q}{\sigma_z^2} \sigma_p^2 - \ln \det \left(\frac{1}{\alpha} \mathbf{F}_q^H \mathbf{F}_q + \mathbf{I}_{|q|} \right) \quad \cdots (24)$$

[0084] なお、 $p(\mathbf{H}_p | \mathbf{h}_{q,t})$ は尤度関数、 $p(\mathbf{h}_{q,t})$ は事前確率、 $\mathbf{h}_{q,t}$ は q と同じパス構造のときのチャネルインパルス応答を表わす変数ベクトルである。また、 σ_p^2 はパイロットシンボルの電力である。第 1 項は推定値と観測値の誤差に起因する量、第 2 項はモデルの複雑さに対するペナルティを表わす量である。式 (24) のペナルティは、いくつか（この場合は n_1 、 n_2 、 $\cdots$ 、 n_p ）の周波数応答の推定値が求まる場合の、無線通信に適したペナルティであり、パイロットシンボルの配置周波数によって決まる。

[0085] なお、式 (24) の第 1 項は推定値と観測データ（受信信号）の誤差の評価値であり、具体的には推定ベクトル $\mathbf{h}_q$ と式 (17) の周波数応答推定ベクトルの適合度合いを表わす。これは、パス数が多くなると大きくなる傾向にある。また、式 (24) の第 2 項（マイナスを含む）は、推定のために用いたパスが増加すると小さくなり、式 (24) 全体の増加を抑えるペナルティである。

[0086] なお、伝搬路適合度として、誤差の評価値とペナルティの和で表される別の量を用いてもよい。例えば、赤池情報量基準 (Akaike Information Criteria: AIC) やベイズ情報量基準 (Bayesian Information Criterion: BIC) 等の情報量基準を用いてもよい。その後、ステップ S103 に進む。

[0087] (ステップ S103) 選択されたパス (selected_path) に候補パス (cand

idate_path) の各要素を追加したパスを用いてチャネルインパルス応答を推定し、得られた伝搬路適合度 (channel_match) のうち、選択されたパス (selected_path) のみによる推定値の伝搬路適合度 (channel_match_prev) より小さいパスは、候補パスから削除する。すなわち、対応するパス番号をcandidate_pathから削除する。また、伝搬路適合度 (channel_match) から対応するものを削除する。その後、ステップS 1 0 4に進む。

[0088] (ステップS 1 0 4) ステップS 1 0 3によって候補パスが無くなった場合、すなわち、candidate_pathが空になった場合、処理を終了する。候補パスが残っている場合はステップS 1 0 5に進む。

[0089] (ステップS 1 0 5) 得られた伝搬路適合度 (channel_match) のうち、最大のものに対応する候補パス (candidate_path) の要素を、新たな選択パスとして選択パス (selected_path) に追加する。また、このときのチャネルインパルス応答をchannelに保存する。また、このときの伝搬路適合度を、channel_match_prevに保存する。その後、ステップS 1 0 6に進む。

[0090] (ステップS 1 0 6) ステップS 1 0 5によって候補パスが無くなった場合、すなわち、candidate_pathが空になった場合、処理を終了する。候補パスが残っている場合はステップS 1 0 2に戻る。

[0091] 最終的にchannelに保存されているチャネルインパルス応答を、FFT部b 1 0 6-3に出力する。FFT部b 1 0 6-3は、パス検出部b 1 0 6-2から入力されたチャネルインパルス応答推定値に時間周波数変換を施し、全サブキャリアの周波数応答に変換する。

[0092] <受信装置b 1の動作について>

図1 3は、本実施形態に係る受信装置の動作を示すフローチャート図である。なお、この図が示す動作は、図5の受信部b 1 0 2が受信信号をGI除去部b 1 0 3に出力した後の処理である。

[0093] (ステップS 1 0 0 1) GI除去部b 1 0 3は、受信信号からガードインターバルを除去する。その後、ステップS 1 0 0 2へ進む。

[0094] (ステップS 1 0 0 2) FFT部b 1 0 4は、ステップS 1 0 0 1で得ら

れる信号に対して時間周波数変換を行う。デマッピング部 b 1 0 5 は、得られた周波数領域の信号から、データとパイロットを分離する。パイロットサブキャリアの受信信号を伝搬路推定部 b 1 0 6 に出力した後、ステップ S 1 0 0 3 へ進む。

[0095] (ステップ S 1 0 0 3) 伝搬路推定部 b 1 0 6 は、ステップ S 1 0 0 2 で得られるパイロットサブキャリアの受信信号を用いて伝搬路推定を行い、復調用の周波数応答推定値を復調部 b 1 0 7 に出力する。その後、ステップ S 1 0 0 4 へ進む。

[0096] (ステップ S 1 0 0 4) 復調部 b 1 0 7 は、ステップ S 1 0 0 3 で得られる周波数応答推定値を用い、復調処理を行う。その後、ステップ S 1 0 0 5 へ進む。

[0097] (ステップ S 1 0 0 5) 復号部 b 1 0 8 は、ステップ S 1 0 0 4 で得られる復調結果を用いて復号を行う。その後、受信装置 b 1 は動作を終了する。

[0098] このように、本実施形態によれば、伝搬路推定部 b 1 0 6 は、伝搬路適合度を向上させるパスを 1 つずつ検出し、推定精度を向上する。これにより、推定するパスを必要なものだけに制限することができ、雑音および干渉の抑圧効果を増加させることで、伝搬路推定精度を向上させることができる。また、伝搬路適合度を向上できないパスを削除する動作を同時に行うことで、計算量を大幅に削減する。

[0099] なお、上記第 1 の実施形態において、OFDMシンボル毎にパイロットシンボルを用いて周波数応答を推定する場合について説明したが、近傍のOFDMシンボルのパイロットシンボルを用いて補間してもよい。例えば、図 4 の最初のOFDMシンボルにおいては、パイロットサブキャリアの位置は一番低いサブキャリア、2 つ先のサブキャリア、さらに 2 つ先のサブキャリア、・・・、となっているが、パイロットサブキャリアでない場所についても時刻の異なるOFDMシンボルのパイロットシンボルを用いて推定してもよい。

[0100] また、パイロットシンボルのあるサブキャリアに関しても、異なる時刻の

パイロットシンボルを用いることで、雑音・干渉を低減することができる。このようにすることで、伝搬路推定精度をさらに改善できる。具体的には、伝搬路変動が大きくない場合には算術平均を行ってもよいし、伝搬路変動に合わせて重み付け平均を行ってもよい。その際、式（24）において、周波数応答推定の段階で低減できた雑音・干渉の分は、 σ'^2_z に反映させる。例えば、時間変動無しの場合において、2つの時刻の周波数応答を平均する場合は、 σ'^2_z を $1/2$ とする。

[0101] なお、上記第1の実施形態において、周波数応答の推定に用いる参照信号として、パイロットシンボルを用いて行う場合について説明したが、判定したデータを用いて推定してもよい。具体的には、復調部b107又は復号部b108の出力を周波数応答推定部b106-1にフィードバックすること等で実現できる。

[0102] なお、上記第1の実施形態において、パスを1つずつ検出する場合について説明したが、一度に検出するパス数を増やしてもよい。そのパス数は、予め決めておいてもよいし、設計段階では可変にしておき、受信装置b1のファームウェア、ソフトウェア等をアップデートするときに更新する等してもよい。

[0103] なお、上記第1の実施形態において、遅延時間Lまでのパスを検出する方法について説明したが、事前に他の手法で候補パス数を制限してから行ってもよい。具体的には、背景技術で説明した非特許文献1のような手法を用いてもよい。

[0104] なお、上記第1の実施形態において、通信システムはマルチキャリア信号の通信を行う場合について説明したが、本発明はこれに限らず、FFTを用いてシングルキャリア信号の通信を行う場合にも、適用することができる。

[0105] なお、上記第1の実施形態において、パスを1つずつ検出し、同時に伝搬路適合度を増加できないパスを削除する方法について説明したが、削除を省略してもよい。

[0106] なお、上記第1の実施形態において、式（22）、（24）のように、 α

を一定としてどのパスも等電力と仮定しているが、重みをつけてもよい。具体的には、図 1 2 の伝搬路推定のフローチャートにおける s 1 0 2 において、パス候補 (candidate_path) の要素を追加してチャネルインパルス応答の推定と伝搬路適合度の計算をする際に、追加するパスに対応する α を複数用意しておく。その複数の α で計算した結果、最大となる伝搬路適合度を channel_match に保存すればよい。

[0107] なお、上記第 1 の実施形態において、式 (1) のように、パスの位置が FFT のサンプリング位置に存在するものとして説明したが、サンプリング点の間を考慮してもよい。その場合は、式 (19) のフーリエ変換行列が、小数点位置を含むようになる。例えば、図 1 4 のようなパス構造を考える場合、フーリエ変換行列は次式 (25) のようになる。

[数16]

$$F_q = \begin{bmatrix} \exp\left(-j\frac{2\pi m_1}{N}0\right) & \exp\left(-j\frac{2\pi m_1}{N}0.5\right) & \exp\left(-j\frac{2\pi m_1}{N}1\right) & \exp\left(-j\frac{2\pi m_1}{N}3\right) \\ \exp\left(-j\frac{2\pi m_2}{N}0\right) & \exp\left(-j\frac{2\pi m_2}{N}0.5\right) & \exp\left(-j\frac{2\pi m_2}{N}1\right) & \exp\left(-j\frac{2\pi m_2}{N}3\right) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \exp\left(-j\frac{2\pi m_p}{N}0\right) & \exp\left(-j\frac{2\pi m_p}{N}0.5\right) & \exp\left(-j\frac{2\pi m_p}{N}1\right) & \exp\left(-j\frac{2\pi m_p}{N}3\right) \end{bmatrix} \cdots (25)$$

[0108] (第 2 の実施形態)

以下、図面を参照しながら本発明の第 2 の実施形態について詳しく説明する。第 1 の実施形態では、送信装置 a 1 がパイロットシンボルを周波数領域にマッピングするマルチキャリア信号等を送信し、受信装置 b 1 が、パイロットサブキャリアにおいて周波数応答推定値を算出し、チャネルインパルス応答を推定したときに伝搬路適合度を向上させるパスを 1 つずつ選択していく。本実施形態では、パイロットシンボルが時間領域で連続して送信される場合のチャネルインパルス応答の推定方法について説明する。

[0109] 図 1 5 は、本発明の第 2 の実施形態に係る送信装置 a 2 の構成を示す概略ブロック図である。本実施形態に係る送信装置 a 2 (図 1 5) と第 1 の実施形態に係る送信装置 a 1 (図 3) とを比較すると、マッピング部 a 2 0 4 の

処理が異なり、IFFT部及びGI挿入部が存在しない。しかし、その他の構成要素（パイロット生成部a101、符号部a102、変調部a103、送信部a107、送信アンテナa108）が持つ機能は第1の実施形態と同じである。第1の実施形態と同じ機能の説明は省略する。

[0110] マッピング部a204は、パイロット生成部a101から入力されたパイロットシンボル、及び変調部a103から入力された変調シンボルを、予め定められたマッピング情報に基づいて時間領域にマッピングして時間領域の信号を生成し、生成した時間領域の信号を送信部a107に出力する。また、マッピング情報は、送信装置a2が決定し、送信装置a2から受信装置b2へ予め通知される。図16は、マッピング部a204が情報データシンボルとパイロットシンボルをマッピングする一例である。この図において、白の四角形は情報データシンボル、網掛けの四角形はパイロットシンボルを表わす。パイロットシンボルはKシンボル連続で送信される。

[0111] 図17は、本発明の第2の実施形態に係る受信装置b2の構成を示す概略ブロック図である。本実施形態に係る受信装置b2（図17）と第1の実施形態に係る受信装置b1（図5）とを比較すると、デマッピング部b205、伝搬路推定部b206、復調部b207の処理が異なり、GI除去部及びIFFT部が存在しない。しかし、その他の構成要素（受信アンテナb101、受信部b102、復号部b108）が持つ機能は第1の実施形態と同じである。第1の実施形態と同じ機能の説明は省略する。

[0112] デマッピング部b205は、送信装置a2から予め通知されたマッピング情報に基づいてデマッピングし、分離されたパイロットシンボルが送信された時刻の受信信号を伝搬路推定部b206に出力する。また、データが送信された時刻の受信信号を復調部b207に出力する。

[0113] 図18は、伝搬路推定部b206の構成を示す概略ブロック図である。この図において、伝搬路推定部b206は、パス検出部b206-2から構成される。

[0114] パス検出部b206-2は、デマッピング部b205から入力された受信

信号と、予め記憶するパイロットシンボルに基づいて、想定する最大遅延時間 L までの範囲で、伝搬路適合度を向上させるパスを 1 つずつ検出していく。同時に、チャネルインパルス応答の推定を行う。なお、伝搬路適合度の向上度合いの大きいパスから選択していく。また、同時に伝搬路適合度を向上できないパスは候補から削除していく。この原理については後述する。

[0115] パス検出部 $b206-2$ は、伝搬路適合度を向上させるパスが無くなった時点で処理を終了し、推定されているチャネルインパルス応答の推定値を復調部 $b207$ に出力する。本実施形態では、参照信号としてパイロットシンボルを用いる場合について説明し、伝搬路適合度を計算する物理構造としてパイロットシンボルの時間波形を用いる。

[0116] 伝搬路推定部 $b206$ は、想定する最大遅延時間 L を予め決めておくものとする。この扱いは第 1 の実施形態と同様である。また、伝搬路推定部 $b206$ は、予め記憶するパイロットシンボルを用い、雑音電力を測定する。

[0117] 復調部 $b207$ は、デマッピング部 $b205$ から入力される受信信号と伝搬路推定部 $b206$ から入力されるチャネルインパルス応答推定値を用いて復調処理を行う。この際、マルチパスによる ISI を補償する。これには、MMSE や MLSE（最尤系列推定：Maximum Likelihood Sequence Estimation）等の既知技術を用いればよい。

[0118] <動作原理について>

以下、受信装置 $b2$ の動作原理について、図 17 を参照しながら説明する。

[0119] 受信部 $b102$ が受信した第 i シンボルの受信信号 r_i は、次式 (26) で表わされる。

[数17]

$$r_i = \sum_{d=0}^D h_{i,d} s_{i-d} + z_i \quad \cdots (26)$$

[0120] ここで、 $h_{i,d}$ は第 i シンボルの第 d パスにおける複素振幅、 s_i は第 i 送

信シンボル、 z_i は第 i シンボルの雑音である。

[0121] 次に伝搬路推定部の動作を説明する。パス検出部**206-2**は、第1の実施形態と同様に、 $-T \sim L$ までのパスのうち、伝搬路適合度を向上するパスを1つずつ探索していき、最終的なチャネルインパルス応答推定値を計算する。この動作は、図12のフローチャートと同じである。しかし、具体的なチャネルインパルス応答推定値の算出と、伝搬路適合度の算出の部分が異なる。本実施形態の説明では、図12のフローチャートにおいて、第1の実施形態と異なる部分について説明する。

[0122] 第2の実施形態における、ステップ**S102**のチャネルインパルス応答の推定について説明する。 $s_0, \dots, s_{K-1}$ をパイロットシンボルであるとする。図11のように、遅延時間 $d = 0, 1, 3$ を想定して推定する場合、受信信号モデルは図19のようになる。この図は、 $K = 12$ の場合の例である。図中のように、伝搬路推定区間を $|S|$ の生じない区間に制限する。すなわち、 q に含まれるパスの中で最大の遅延時間を D_q とすると、 $D_q \sim K-1$ が推定区間となる。この例の場合は、離散時刻3～11までが推定区間となる。

[0123] 推定するパス集合が q のときの受信信号ベクトル r_q は、次式(27)で表される。

[数18]

$$\mathbf{r}_q = (r_{D_q} \quad \dots \quad r_{K-1}) \quad \dots \quad (27)$$

[0124] ここで、伝搬路推定区間での伝搬路変動が無い($h_{i,d} = h_d$)とすると、チャネルインパルス応答の推定ベクトル h_q は、次式(28)で表される。

[数19]

$$\mathbf{h}_q = (\mathbf{S}_q^H \mathbf{S}_q + \alpha \mathbf{I}_{|q|})^{-1} \mathbf{S}_q^H \mathbf{r}_q \quad \dots \quad (28)$$

[0125] ここで、 $\mathbf{S}_q$ はパイロットシンボルからなる行列であり、例えば図11のように、遅延時間 $d = 0, 1, 3$ を想定して推定する場合は次式(29)で表

わされる。

[数20]

$$\mathbf{S}_{q=5} = \begin{pmatrix} s_3 & s_2 & s_0 \\ s_4 & s_3 & s_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ s_{K-1} & s_{K-2} & s_{K-4} \end{pmatrix} \cdots (29)$$

[0126] また、伝搬路適合度は、次式(30)のように算出される。

[数21]

$$\begin{aligned} M(q) &= \int p(\mathbf{r}_q | \mathbf{h}_{q,t}) p(\mathbf{h}_{q,t}) d\mathbf{h}_{q,t} \\ &= \frac{(\mathbf{S}_q^H \mathbf{r}_q)^H \mathbf{h}_q}{\sigma_z^2} \sigma_p^2 - \ln \det \left(\frac{1}{\alpha_q} \mathbf{S}_q^H \mathbf{S}_q + \mathbf{I}_{|q|} \right) \cdots (30) \end{aligned}$$

[0127] ただし、 σ_z^2 は z_i の電力である。式(30)のペナルティは、パイロットシンボルの時間波形によって決まる。

[0128] <受信装置b2の動作について>

図20は、本実施形態に係る受信装置の動作を示すフローチャートである。なお、この図が示す動作は、図17の受信部b102が受信信号をデマッピング部b205に出力した後の処理である。

[0129] (ステップS2001) デマッピング部b205は、入力された受信信号からデータとパイロットを分離する。伝搬路推定部b206は、得られたパイロットシンボルの受信信号を用いて伝搬路推定を行い、チャンネルインパルス応答推定値を復調部b207に出力する。その後、ステップS2002へ進む。

[0130] (ステップS2002) 復調部b207は、ステップS2002で得られるチャンネルインパルス応答推定値を用い、復調処理を行う。その後、ステップS2003へ進む。

[0131] (ステップS2003) 復号部b108は、ステップS2002で得られる復調結果を用いて復号を行う。その後、受信装置b2は動作を終了する。

[0132] このように、本実施形態によれば、伝搬路推定部b206は、伝搬路適合

度を向上させるパスを1つずつ検出し、推定精度を向上する。これにより、推定するパスを必要なものだけに制限することができ、雑音および干渉の抑圧効果を増加させることで、伝搬路推定精度を向上することができる。また、伝搬路適合度を向上できないパスを削除する動作を同時に行うことで、計算量を大幅に削減する。

[0133] なお、上記第2の実施形態において、 K 個のパイロットシンボルの1かたまりだけを用いてチャネルインパルス応答を推定する場合について説明したが、複数用いてもよい。例えば、図12における最初の K シンボルと、次の連続データに続く K シンボルの2かたまりを用いてもよい。具体的には、かたまり毎にチャネルインパルス応答を推定し、その後平均してもよい。その際の平均は、時間変動を考慮しての重み付け平均でもよい。また、式(28)を拡張して1度の計算で行ってもよい。その場合、式(28)の受信信号ベクトル r_i の次元が、 $K - D_q$ から $K - D_q$ の整数倍に拡張される。

[0134] なお、上記第2の実施形態において、図18のように、 $D_q \sim K - 1$ の区間をチャネルインパルス応答推定区間としたが、拡張してもよい。例えば、 $0 \sim K + D_q - 1$ でもよい。この場合、パイロットシンボルが観測される全区間における推定ということになるが、推定区間に漏れ込むISIの影響を考慮し、雑音電力に加算する必要がある。

[0135] なお、上記第2の実施形態において、時間領域にパイロットシンボルがマッピングされた場合について説明したが、第1の実施形態のように、周波数領域にマッピングされた場合にも適用できることがある。例えば、図21のように全てのサブキャリアにパイロットシンボルがマッピングされるOFDMシンボルがある場合、そのIFFT結果は時間領域で既知のシンボル系列となる。あるいは、一度復号を行うことで、データシンボルも参照信号として扱うこともできるので、そのIFFT結果は時間領域で参照信号として扱うことができる。これらのような場合は本実施形態が適用できる。

[0136] なお、上記第2の実施形態において、パスを1つずつ検出する場合について説明したが、第1の実施形態と同様に一度に検出するパス数を増やしても

よい。

[0137] なお、上記第2の実施形態において、パスを1つずつ検出し、同時に伝搬路適合度を向上できないパスを削除する方法について説明したが、削除を省略してもよい。

[0138] なお、上記第2の実施形態において、式(28)、(30)のように、 α を一定としてどのパスも等電力と仮定しているが、第1の実施形態と同様に重みをつけてもよい。

[0139] なお、上記第2の実施形態において、パスの位置が送信シンボルのサンプリング位置に存在するものとして説明したが、サンプリング点の間を考慮してもよい。その場合、図15の送信部a107で送信シンボル系列に施されるフィルタリングの結果、得られる信号のうち、所望のサンプリング間隔のものを取り出して式(28)、(30)の S_q に用いればよい。また、受信信号も所望のサンプリング周波数でアナログ・デジタル変換しておく必要がある。

[0140] (第3の実施形態)

以下、図面を参照しながら本発明の第3の実施形態について詳しく説明する。第1の実施形態と第2の実施形態の伝搬路推定部では、パスの検出とチャネルインパルス応答の推定を同時に行っていた。本実施形態では、これとは別に、検出されたパスの情報を外部から入力して用いる伝搬路推定部を備える場合について説明する。

[0141] 本実施形態に係る送信装置a3は、第1の実施形態に係る送信装置a1(図3)または第2の実施形態に係る送信装置a2(図15)と構成が同じのため、説明を省略する。以後の説明では、送信装置a1を用いた場合について説明するが、送信装置a2を用いた場合も同様である。

[0142] 図22は、本発明の第3の実施形態に係る受信装置b3の構成を示す概略ブロック図である。本実施形態に係る受信装置b3(図22)と第1の実施形態に係る受信装置b1(図5)とを比較すると、伝搬路推定部b306の処理が異なり、パス情報外部入力伝搬路推定部b307が追加されている。

しかし、その他の構成要素（受信アンテナb 1 0 1、受信部b 1 0 2、G I 除去部b 1 0 3、F F T部b 1 0 4、デマッピング部b 1 0 5、復調部b 1 0 7、復号部b 1 0 8）が持つ機能は第1の実施形態と同じである。第1の実施形態と同じ機能の説明は省略する。

[0143] 図23は、伝搬路推定部b 3 0 6の構成を示す概略ブロック図である。受信装置b 3における伝搬路推定部b 3 0 6（図23）と受信装置b 1における伝搬路推定部b 1 0 6（図6）とを比較すると、パス検出部b 3 0 6-2の処理が異なる。具体的には、最終的なチャネルインパルス応答推定値をF F T部b 1 0 6-3に出力するだけでなく、そのパス位置情報をパス情報外部入力伝搬路推定部b 3 0 7に出力する。この際に出力するのは、図12のフローチャートにおける、最終的な選択パス（selected_path）である。

[0144] パス情報外部入力伝搬路推定部b 3 0 7は、伝搬路推定部b 3 0 6が出力するパス位置情報と、デマッピング部b 1 0 5が出力するパイロットサブキャリアの受信信号を用いて伝搬路推定を行う。すなわち、パス情報外部入力伝搬路推定部b 3 0 7では、式（22）におけるqを、外部入力により決定する。算出する推定値は式（22）でよい。

[0145] このように、本実施形態によれば、伝搬路推定部b 3 0 6におけるパスの検出を長い時間間隔で行い、選択パス情報が更新されるまではパス情報外部入力伝搬路推定部b 3 0 7を用いることができる。パスの検出処理をするため、伝搬路推定部b 3 0 6の計算量はパス情報外部入力伝搬路推定部b 3 0 7より多いので、このようにすることで処理に余裕を持たせることが出来る。

[0146] なお、上記第3の実施形態において、パス情報外部入力伝搬路推定部b 3 0 7は、パイロットシンボルを参照信号としているが、これに限らず、例えば判定したデータを用いてもよい。その場合、図22において、復号部b 1 0 8から対応するデータをパス情報外部入力伝搬路推定部b 3 0 7にフィードバックする。

[0147] なお、第2の実施形態に係る送信装置a 2を前提とした受信装置の場合、

構成は図 2 4 のようになる。

[0148] (第 4 の実施形態)

以下、図面を参照しながら本発明の第 4 の実施形態について詳しく説明する。第 3 の実施形態では、パス情報外部入力伝搬路推定部 b 3 0 7 が周波数領域の伝搬路推定を行う場合について説明した。本実施形態では、外部から入力されるパス情報を基に、時間領域の伝搬路推定を行う場合について説明する。

[0149] 本実施形態に係る送信装置 a 4 は、第 1 の実施形態に係る送信装置 a 1 または第 2 の実施形態に係る送信装置 a 2 と構成が同じのため、説明を省略する。以後の説明では、送信装置 a 1 を用いた場合について説明するが、送信装置 a 2 を用いた場合も同様である。

[0150] 図 2 5 は、本発明の第 4 の実施形態に係る受信装置 b 4 の構成を示す概略ブロック図である。本実施形態に係る受信装置 b 4 (図 2 5) と第 3 の実施形態に係る受信装置 b 3 (図 2 2) とを比較すると、パス情報外部入力伝搬路推定部 b 4 0 7 の処理が異なり、シンボルレプリカ生成部 b 4 0 8、I F F T 部 b 4 0 9、G I 挿入部 b 4 1 0 が追加されている。

[0151] しかし、その他の構成要素(受信アンテナ b 1 0 1、受信部 b 1 0 2、G I 除去部 b 1 0 3、F F T 部 b 1 0 4、デマッピング部 b 1 0 5、復調部 b 1 0 7、復号部 b 1 0 8、伝搬路推定部 b 3 0 6)が持つ機能は第 3 の実施形態と同じである。第 3 の実施形態と同じ機能の説明は省略する。

[0152] パス情報外部入力伝搬路推定部 b 4 0 7 は、伝搬路推定部 b 3 0 6 から出力されるパス情報と、受信部 b 1 0 2 から出力される時間領域の受信信号を用いて、時間領域の伝搬路推定を行う。その際に用いる参照信号は、パイロットシンボルと、復号部 b 1 0 8 からフィードバックされる判定データであり、G I 挿入部 b 4 1 0 から出力される。動作原理は後述する。

[0153] 復号部 b 1 0 8 は、符号化ビットの L L R をシンボルレプリカ生成部 b 4 0 8 に出力する。

[0154] シンボルレプリカ生成部 b 4 0 8 は、復号部 b 1 0 8 の出力をシンボルレ

プリカに変換する。

[0155] IFFT部b409は、シンボルレプリカ生成部b408の出力に周波数時間変換を施し、時間領域のレプリカに変換する。

[0156] GI挿入部b410は、IFFT部b409の出力にガードインターバルを挿入し、時間領域の送信信号レプリカとしてパス情報外部入力伝搬路推定部b407に出力する。

[0157] <動作原理について>

以下、受信装置b4におけるパス情報外部入力伝搬路推定部b407の動作原理について説明する。ここでは、RLS (Recursive Least Squares: 逐次最小2乗) アルゴリズムを用いた時間領域推定を行う場合について説明する。第2の実施形態と同様に、離散時刻 $D_q \sim K-1$ において、推定を行う。RLSアルゴリズムを用いた場合、離散時刻毎の推定値が求まる。つまり、図19においては離散時刻 $k=3 \sim 11$ のチャンネルインパルス応答を推定することになる。離散時刻 k における、検出パス q の場合のチャンネルインパルス応答推定ベクトルを $h_q(k)$ とすると、次式(31)～(35)のようになる。

[数22]

$$h_q(k) = w_q^*(k) \quad \dots (31)$$

$$w_q(k) = w_q(k-1) + k_q(k) e_q^*(k) \quad \dots (32)$$

$$k_q(k) = \frac{\lambda^{-1} R_q^{-1}(k-1) u_q(k)}{1 + \lambda^{-1} u_q^H(k) R_q^{-1}(k-1) u_q(k)} \quad \dots (33)$$

$$R_q^{-1}(k) = \lambda^{-1} R_q^{-1}(k-1) - \lambda^{-1} k_q(k) u_q^H(k) R_q^{-1}(k-1) \quad \dots (34)$$

$$e_q(k) = r_k - w_q^H(k-1) u_q(k) \quad \dots (35)$$

[0158] ここで、 λ ($0 < \lambda \leq 1$) は忘却係数であり、 $u_q(k)$ は式(29)などで表わされる S_q の第 k 行ベクトルを転置した列ベクトルである。 λ が小さいほど伝搬路変動への追従性が向上する。実際に用いる λ の値の割当ては、受信装置b4が伝搬路変動を測定して最適な代表値を割当て等で実現できる。また、 $w_q(k)$ の初期値はゼロベクトル、 $R_q^{-1}(k)$ の初期値は $\gamma I_{|q|}$

とする。 γ の値は適当な小さい値でもよいし、伝搬路推定部b 3 0 6がパスを検出した際に用いた α の値でもよい。図19の場合、初期値は離散時刻3のときの値を意味する。

[0159] RLSアルゴリズム等の時間領域推定を用いると、上記の説明のように時間変動している伝搬路に追従することができる一方、パス検出を同時に行うことは処理が複雑化して困難であるが、このように、本実施形態によれば、パス情報を外部から入力することで実現できる。

[0160] なお、上記第4の実施形態において、RLSアルゴリズムを用いる場合について説明したが、LMS (Least Mean Square) アルゴリズム等、その他の時間領域で適用できるアルゴリズムでもよいし、第2の実施形態で説明したような方法でもよい。

[0161] なお、上記第4の実施形態において、復号器のフィードバックがある場合について説明したが、無くてもよい。その場合、パス情報外部入力伝搬路推定部b 4 0 7への入力、受信部b 1 0 2から出力される時間領域の受信信号と伝搬路推定部b 3 0 6から出力されるパス情報の2系統となる。

[0162] なお、第2の実施形態に係る送信装置a 2を前提とした受信装置の場合、構成は図26のようになる。

[0163] なお、上述した実施形態における送信装置a 1、a 2及び受信装置b 1～b 4の一部、例えば、伝搬路推定部b 1 0 6、復調部b 1 0 7をコンピュータで実現するようにしても良い。その場合、この制御機能を実現するためのプログラムをコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録して、この記録媒体に記録されたプログラムをコンピュータシステムに読み込ませ、実行することによって実現しても良い。

[0164] なお、ここでいう「コンピュータシステム」とは、送信装置a 1、a 2又は受信装置b 1～b 4に内蔵されたコンピュータシステムであって、OSや周辺機器等のハードウェアを含むものとする。さらに、「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、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のことをいう。さらに「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、インターネット等のネットワークや電話回線等の通信回線を介してプログラムを送信する場合の通信線のように、短時間、動的にプログラムを保持するもの、その場合のサーバやクライアントとなるコンピュータシステム内部の揮発性メモリのように、一定時間プログラムを保持しているものも含んでも良い。また上記プログラムは、前述した機能の一部を実現するためのものであっても良く、さらに前述した機能をコンピュータシステムにすでに記録されているプログラムとの組み合わせで実現できるものであっても良い。

[0165] また、上述した実施形態における送信装置 a 1、a 2 及び受信装置 b 1～b 4 の一部、または全部を、LSI (Large Scale Integration) 等の集積回路として実現しても良い。送信装置 a 1、a 2 及び受信装置 b 1～b 4 の各機能ブロックは個別にプロセッサ化してもよいし、一部、または全部を集積してプロセッサ化しても良い。また、集積回路化の手法はLSIに限らず専用回路、または汎用プロセッサで実現しても良い。また、半導体技術の進歩によりLSIに代替する集積回路化の技術が出現した場合、当該技術による集積回路を用いても良い。

[0166] 以上、図面を参照してこの発明の一実施形態について詳しく説明してきたが、具体的な構成は上述のものに限られることはなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲内において様々な設計変更等を行うことが可能である。

産業上の利用可能性

[0167] 本発明は通信装置に利用可能である。

符号の説明

[0168] a 1 0 1 パイロット生成部
a 1 0 2 符号部
a 1 0 3 変調部
a 1 0 4 マッピング部
a 1 0 5 IFFT部

- a 1 0 6 G I 挿入部
- a 1 0 7 送信部
- a 1 0 8 アンテナ
- b 1 0 1 アンテナ
- b 1 0 2 受信部
- b 1 0 3 G I 除去部
- b 1 0 4 F F T 部
- b 1 0 5 デマッピング部
- b 1 0 6 伝搬路推定部
- b 1 0 6 - 1 周波数応答推定部
- b 1 0 6 - 2 パス検出部
- b 1 0 6 - 3 F F T 部
- b 1 0 7 復調部
- b 1 0 8 復号部

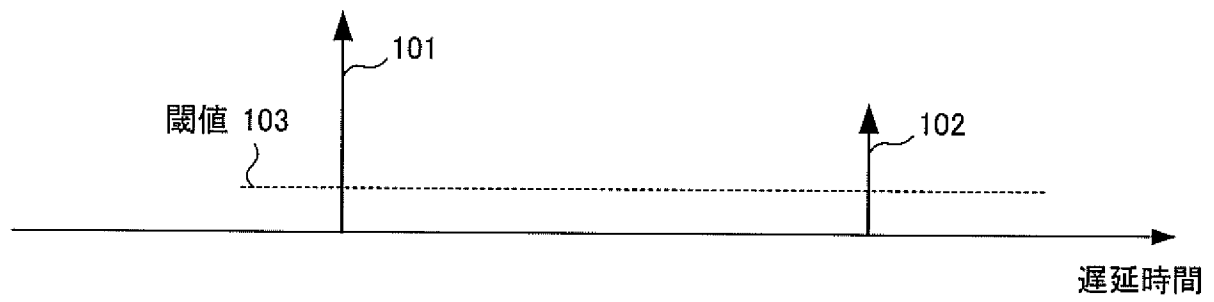
本明細書で引用した全ての刊行物、特許および特許出願をそのまま参考として本明細書にとり入れるものとする。

請求の範囲

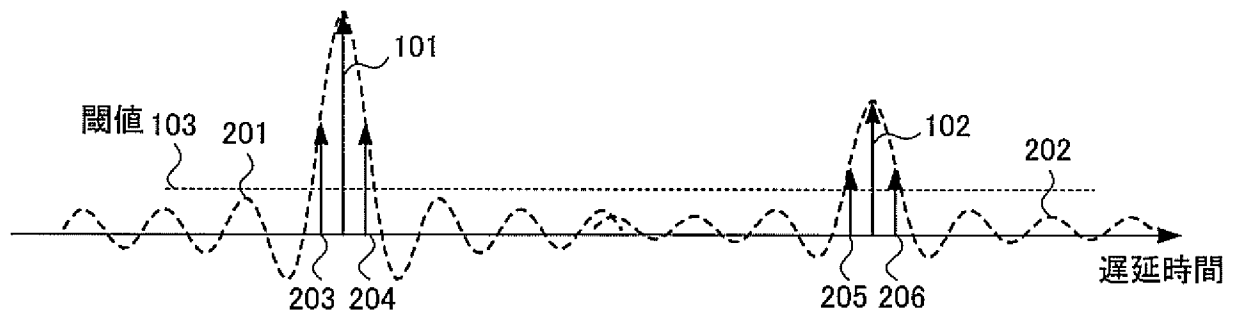
- [請求項1] 伝搬路推定を行う伝搬路推定部を備えた受信装置であって、
前記伝搬路推定部は、
伝搬路適合度を向上させる順番にパスを検出する処理を繰り返すパス検出部、
を備えることを特徴とする受信装置。
- [請求項2] 前記パス検出部は、伝搬路適合度を向上できるパスが無くなるまで、パスを検出する処理を繰り返すことを特徴とする請求項1に記載の受信装置。
- [請求項3] 前記パス検出部は、1パスずつ検出を行うこと、
を特徴とする請求項1に記載の受信装置。
- [請求項4] 前記パス検出部は、伝搬路適合度を向上できないパスを候補から削除する処理をさらに備えること、
を特徴とする請求項1から3までのいずれか1項に記載の受信装置。
- [請求項5] 前記パス検出部は、前記伝搬路適合度として、伝搬路推定値と受信信号の誤差の評価値と検出したパス数が増加することへのペナルティとの和を用いること、
を特徴とする請求項1から4までのいずれか1項に記載の受信装置。
- [請求項6] 前記パス検出部は、前記伝搬路適合度を、伝搬路推定値を算出するために用いる参照信号の物理構造に基づいて算出すること、
を特徴とする請求項5に記載の受信装置。
- [請求項7] 前記物理構造は、配置周波数であること、
を特徴とする請求項6に記載の受信装置。
- [請求項8] 前記物理構造は、時間波形であること、
を特徴とする請求項6に記載の受信装置。
- [請求項9] 前記パス検出部は、前記伝搬路適合度として、赤池情報量基準を用いること、
を特徴とする請求項5に記載の受信装置。

- [請求項10] 前記パス検出部は、前記伝搬路適合度として、ベイズ情報量基準を用いること、
を特徴とする請求項5に記載の受信装置。
- [請求項11] 前記受信装置は、検出したパス情報を外部情報として用いるパス情報外部入力伝搬路推定部を備え、
前記パス検出部が前記パス情報外部入力伝搬路推定部にパス情報を出力する、
ことを特徴とする請求項1から10までのいずれか1項に記載の受信装置。
- [請求項12] 前記パス情報外部入力伝搬路推定部は、周波数領域で伝搬路推定を行うこと、
を特徴とする請求項11に記載の受信装置。
- [請求項13] 前記パス情報外部入力伝搬路推定部は、時間領域で伝搬路推定を行うこと、
を特徴とする請求項11に記載の受信装置。
- [請求項14] 伝搬路推定を行う伝搬路推定ステップを備えた受信方法であって、
前記伝搬路推定ステップは、
伝搬路適合度を向上できるパスが無くなるまで、伝搬路適合度を向上させる順番にパスを検出する処理を繰り返すパス検出過程、
を有することを特徴とする受信方法。
- [請求項15] 請求項14に記載の受信方法をコンピュータに実行させるための受信プログラム。

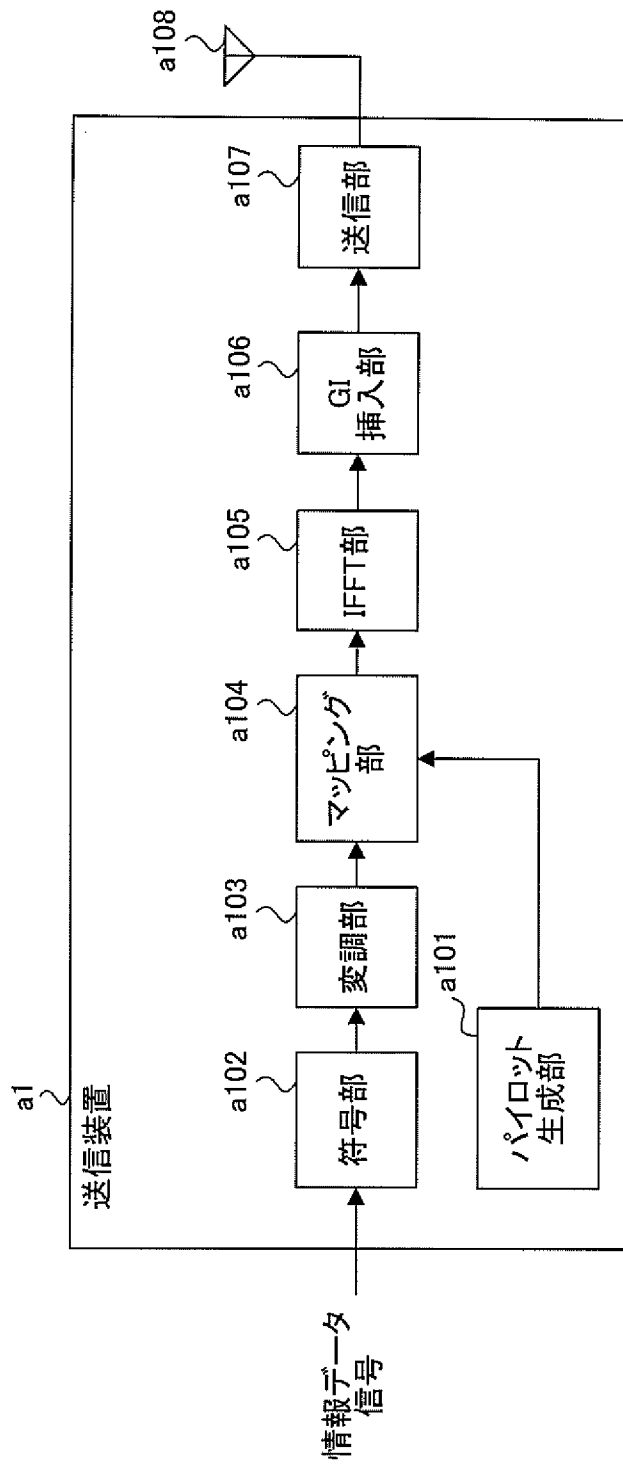
[図1]



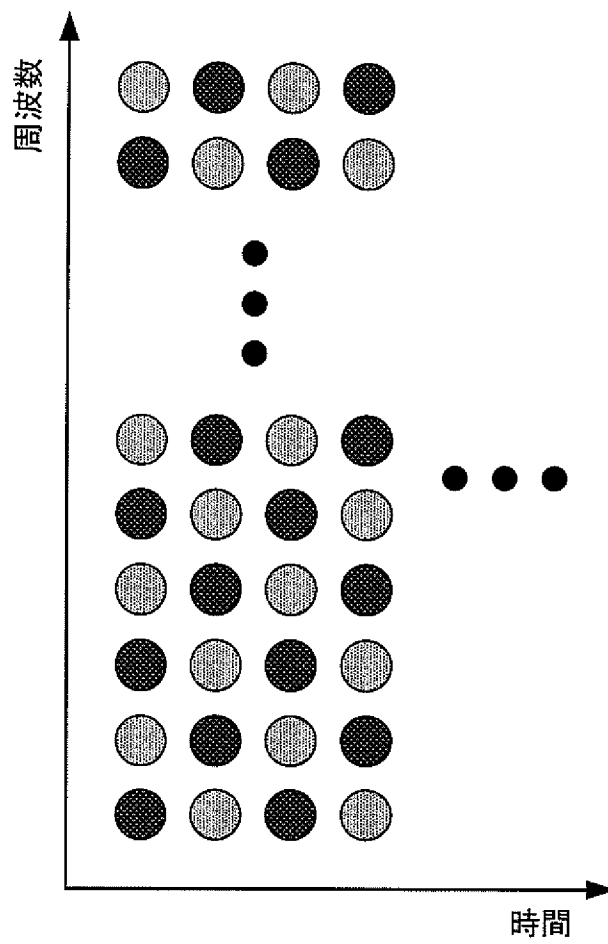
[図2]



[図3]



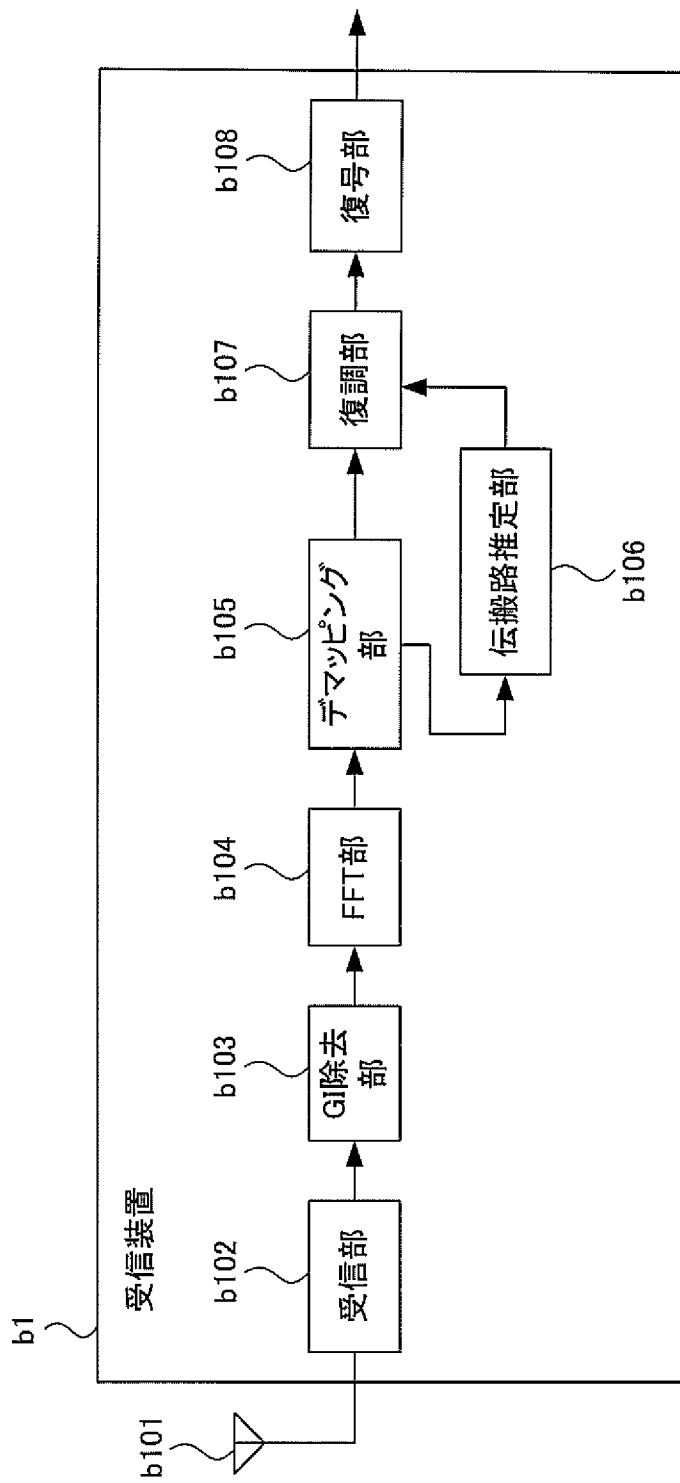
[図4]



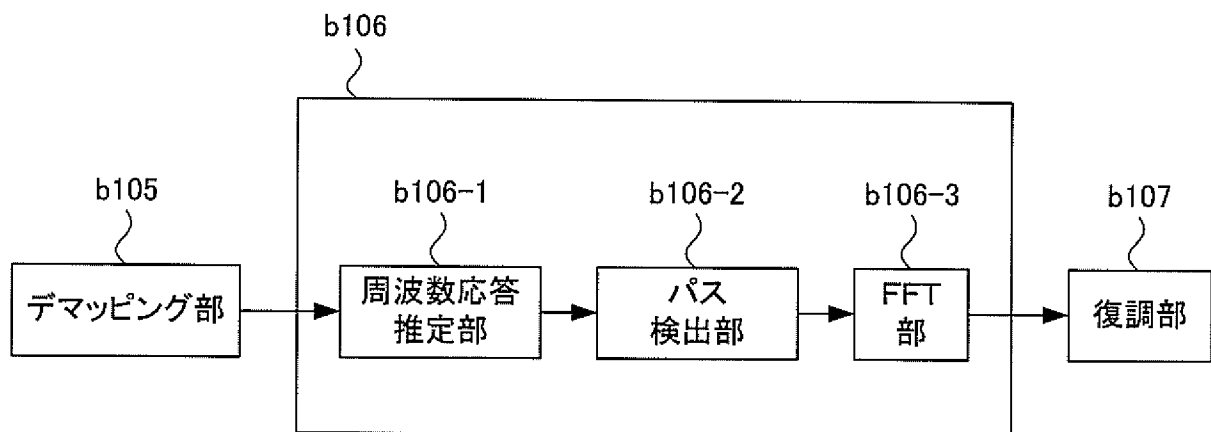
● パイロットシンボル

⊗ 情報データシンボル

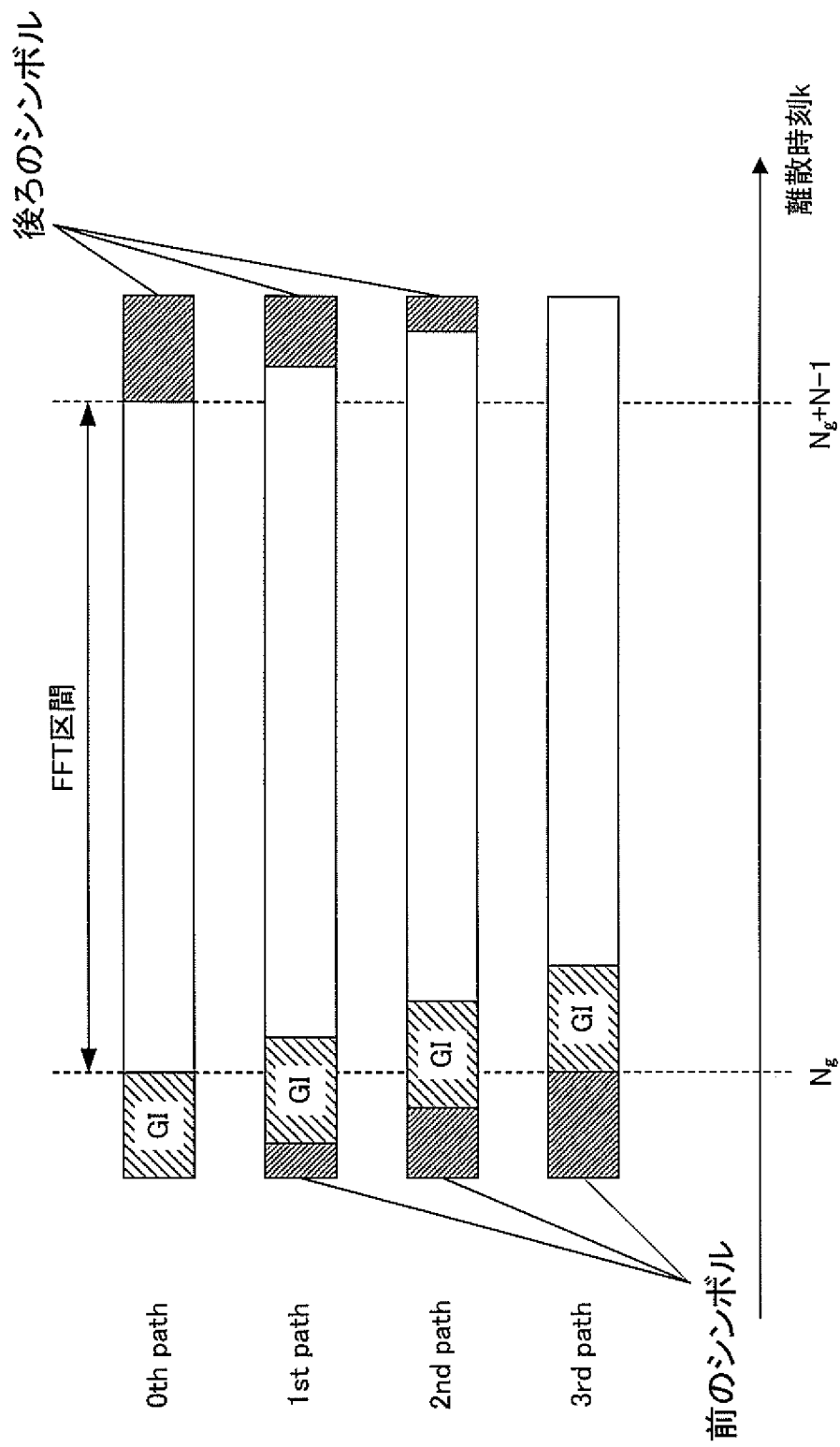
[図5]



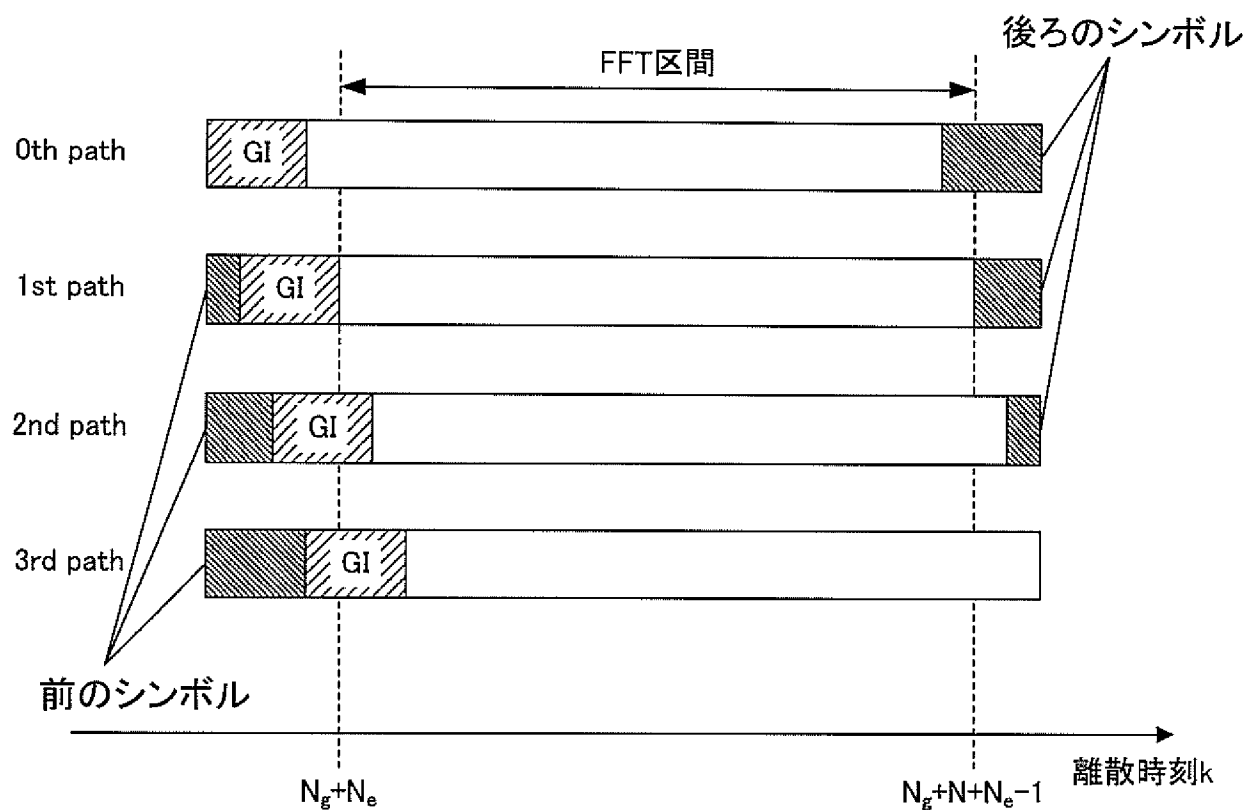
[図6]



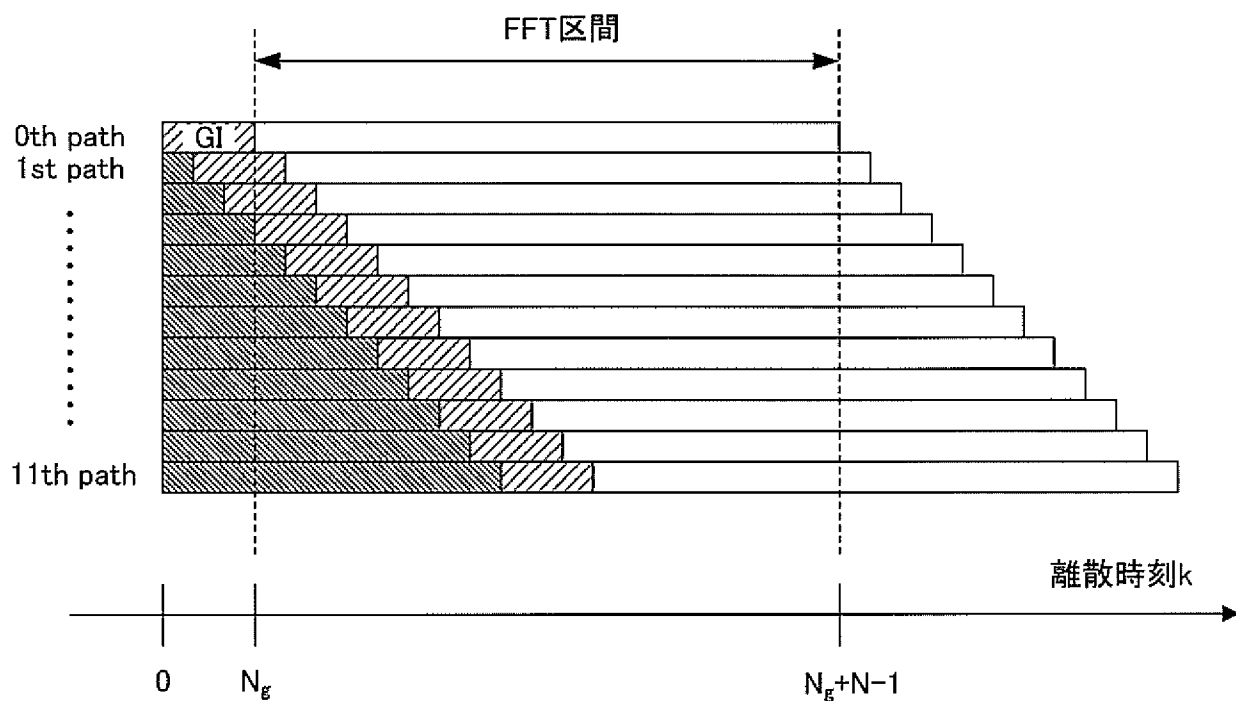
[図7]



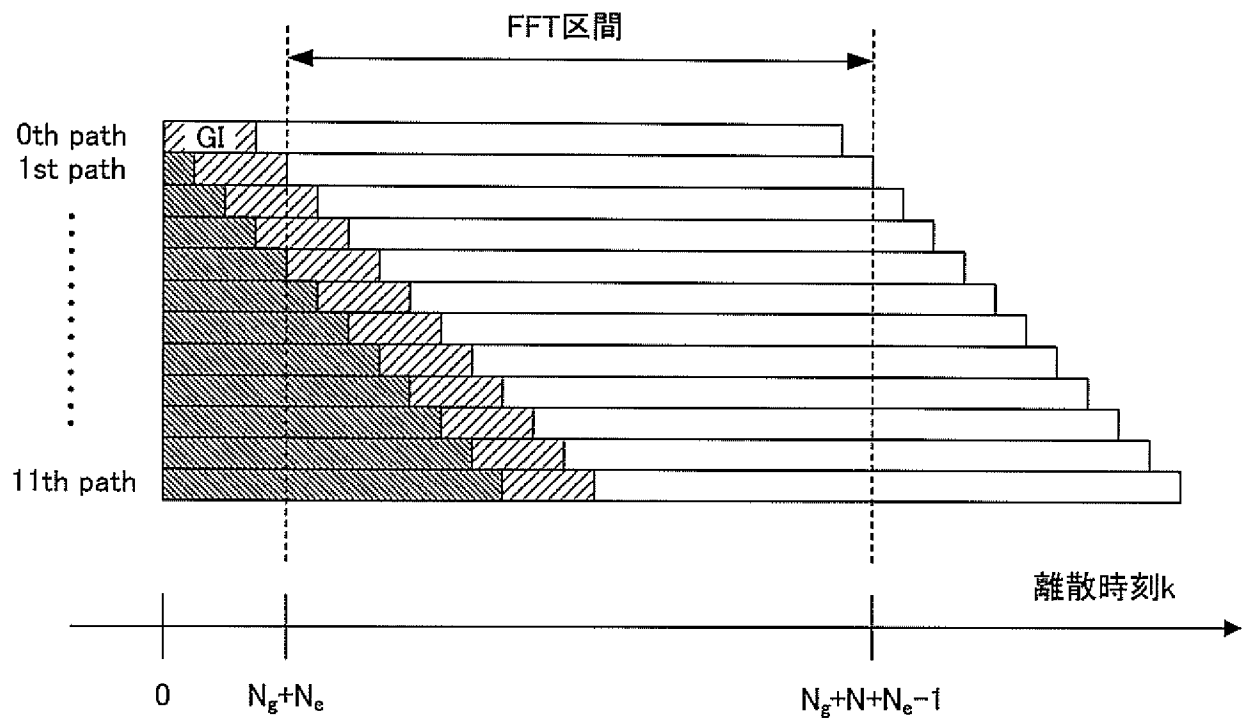
[図8]



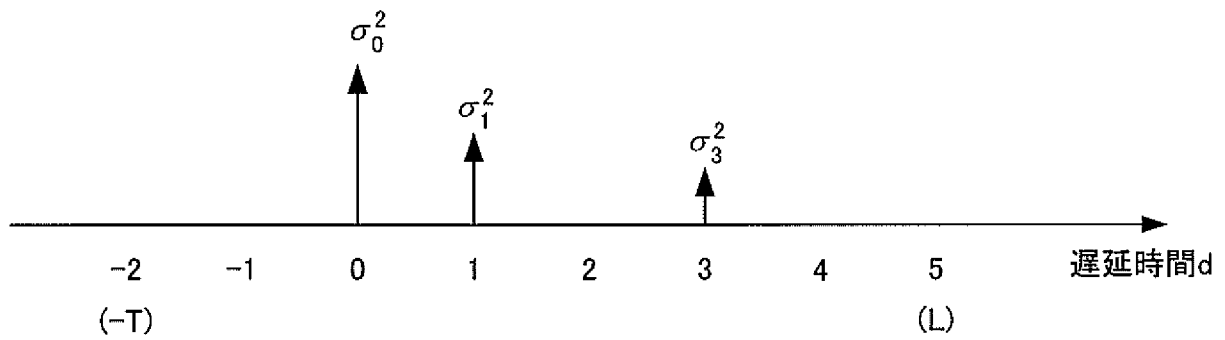
[図9]



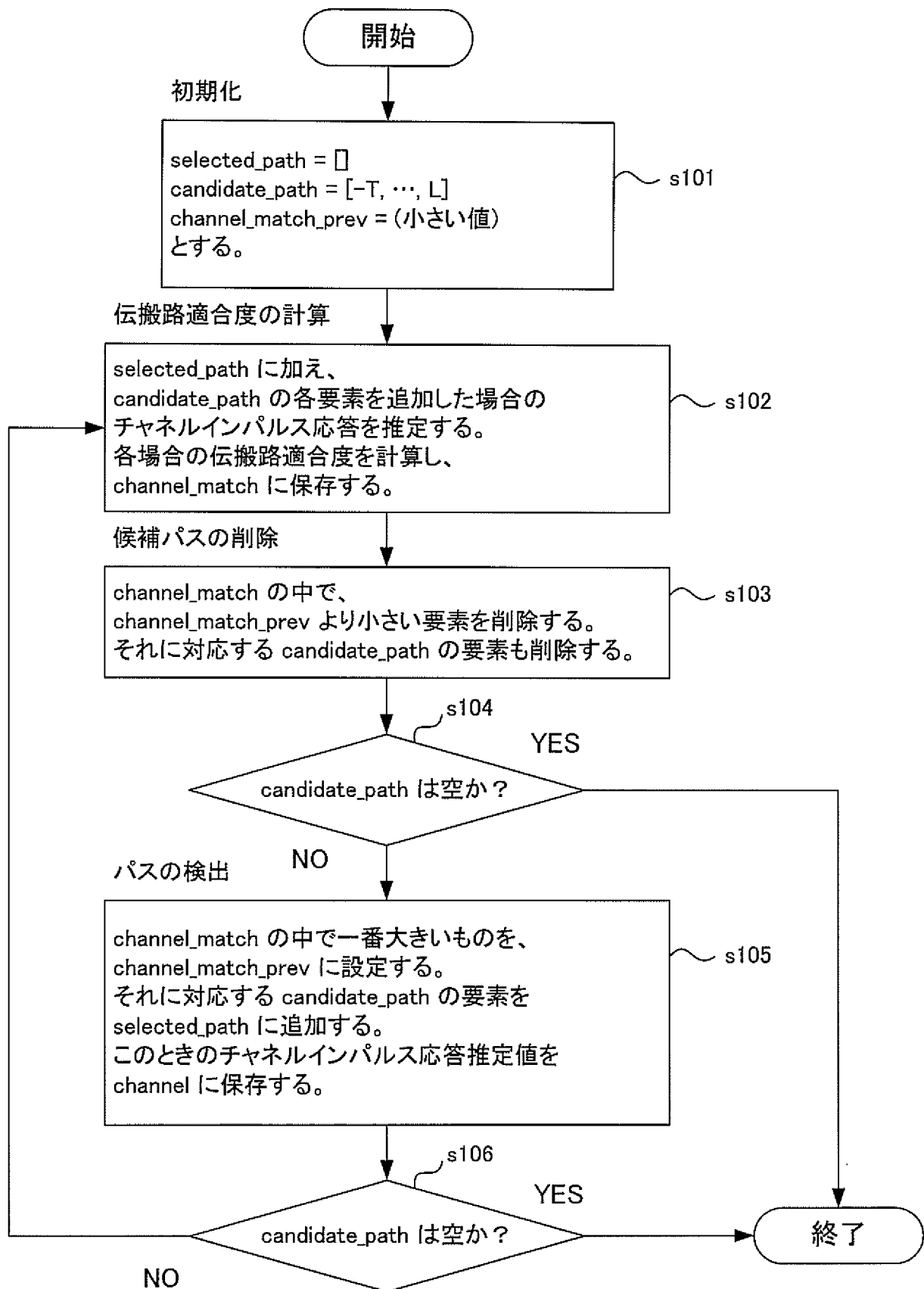
[図10]



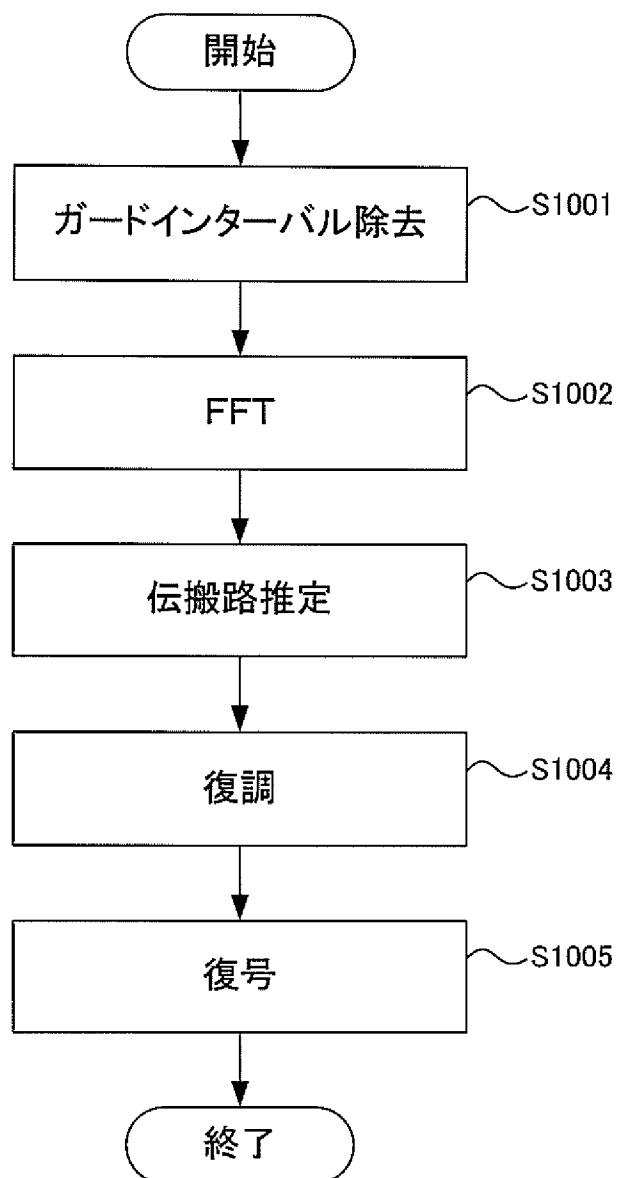
[図11]



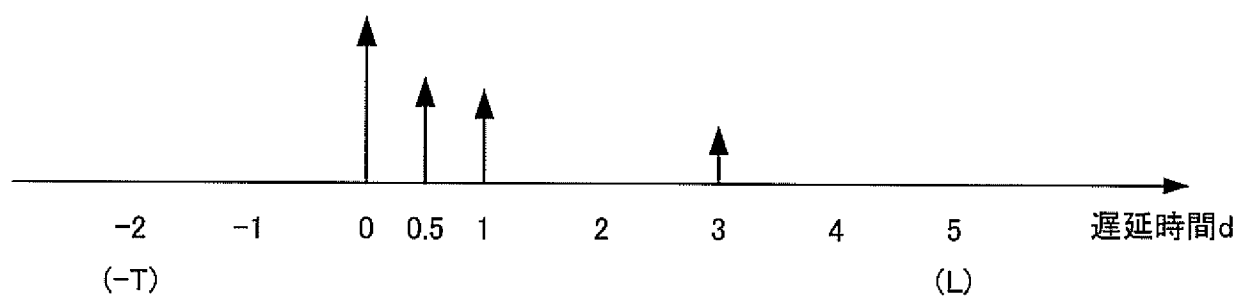
[図12]



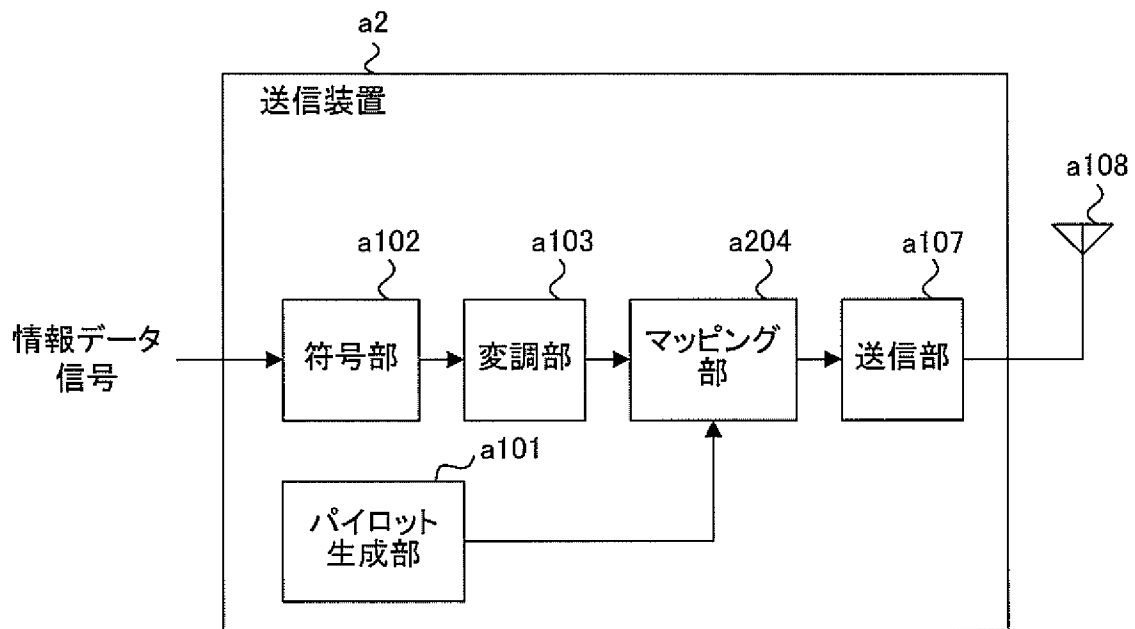
[図13]



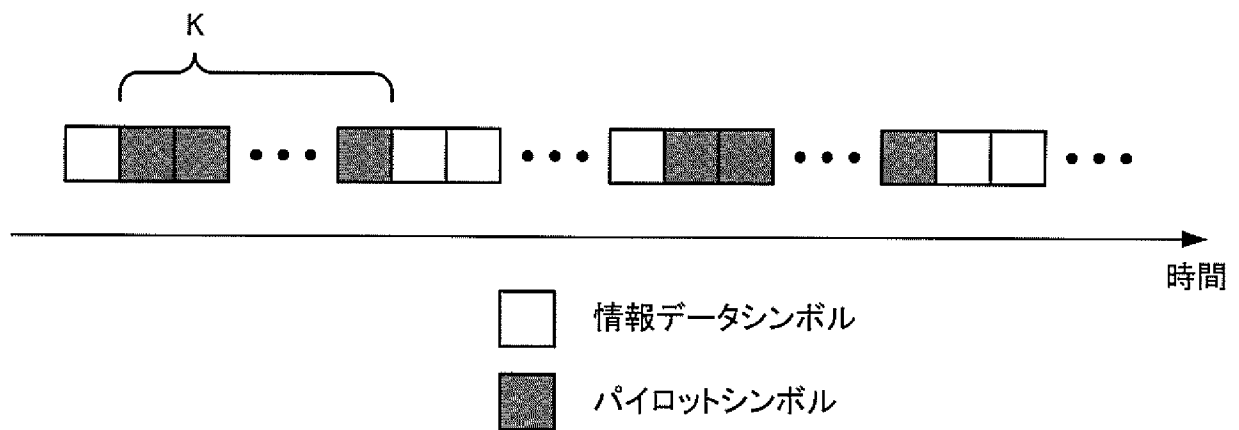
[図14]



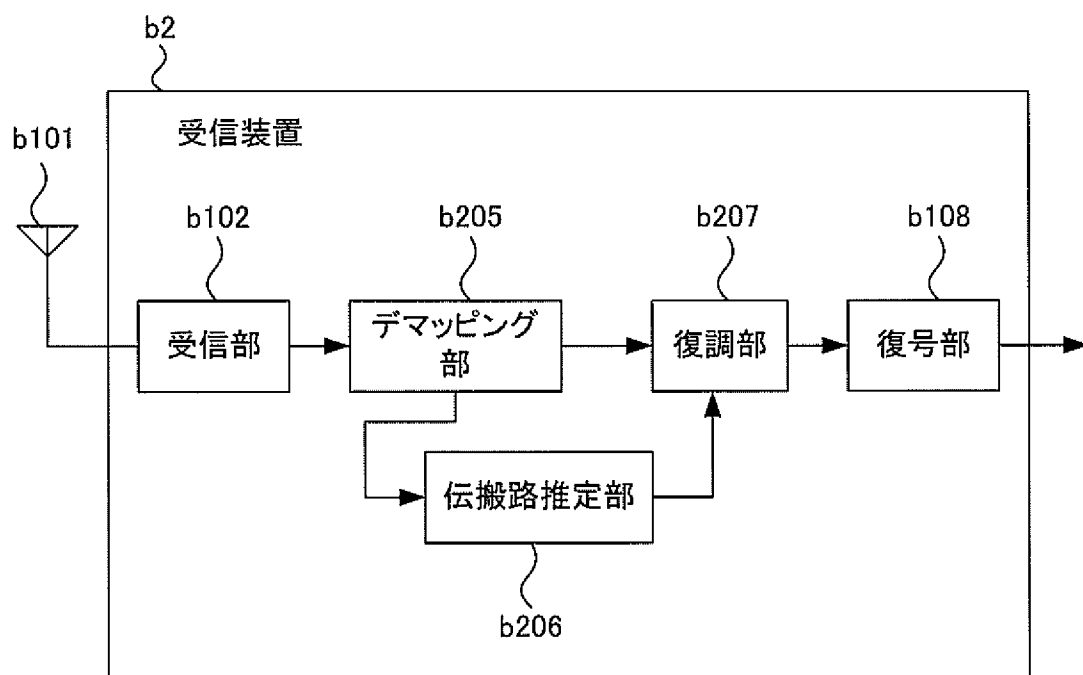
[図15]



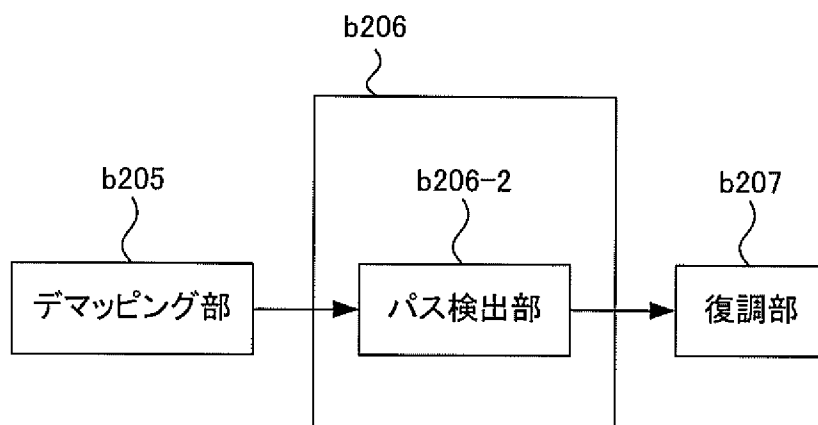
[図16]



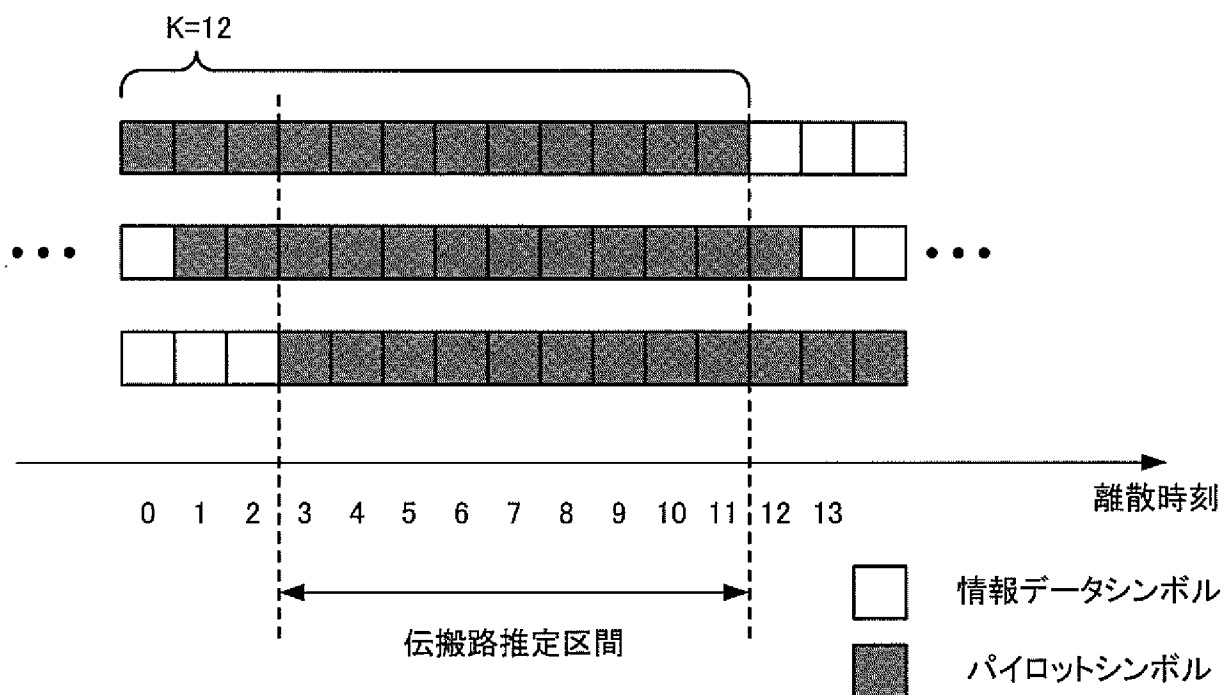
[図17]



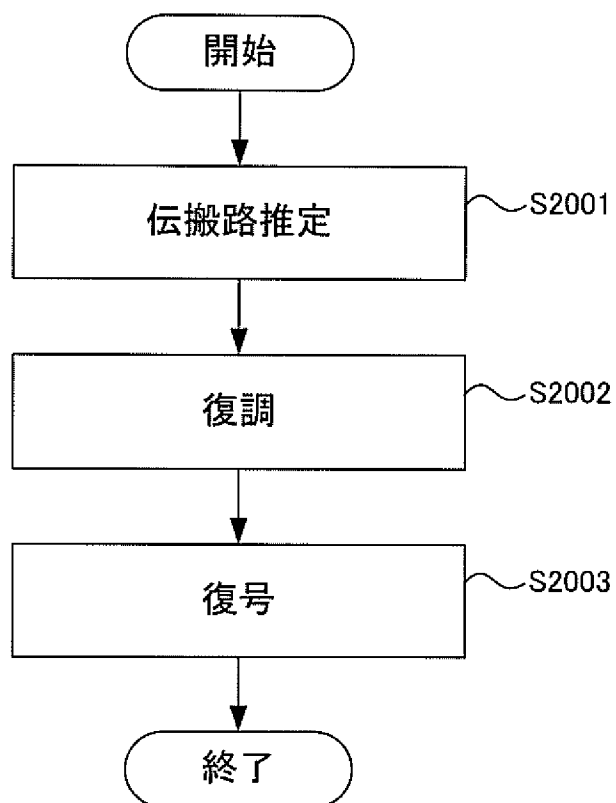
[図18]



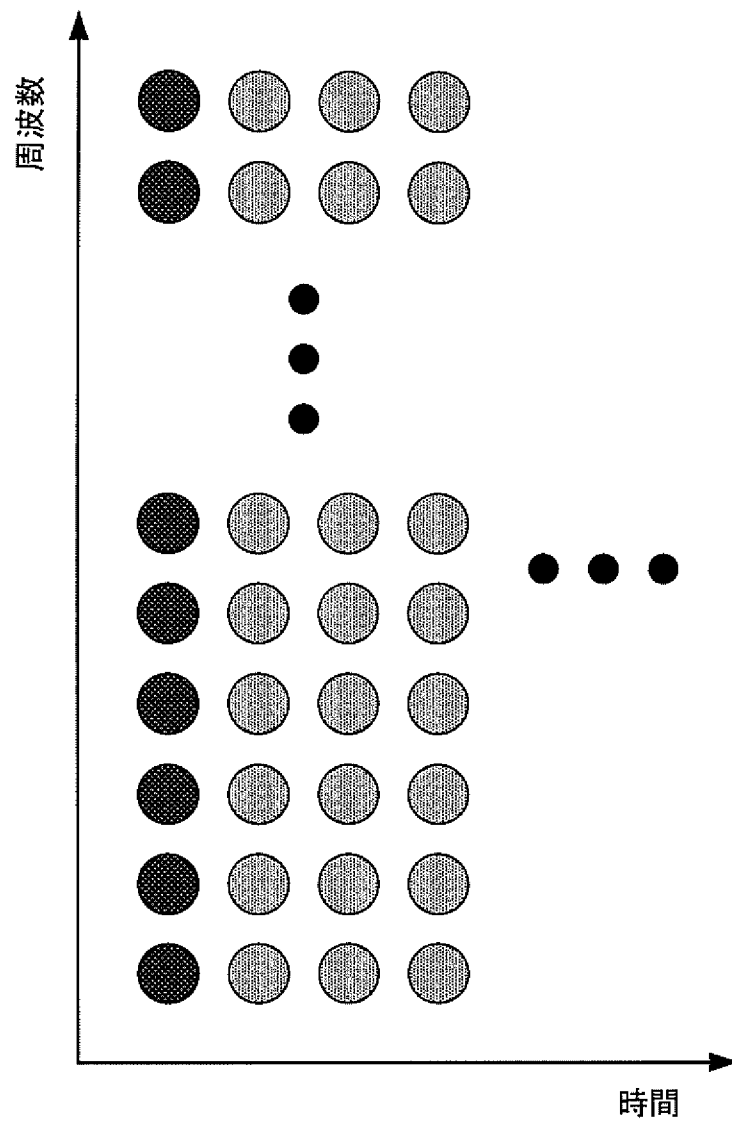
[図19]



[図20]



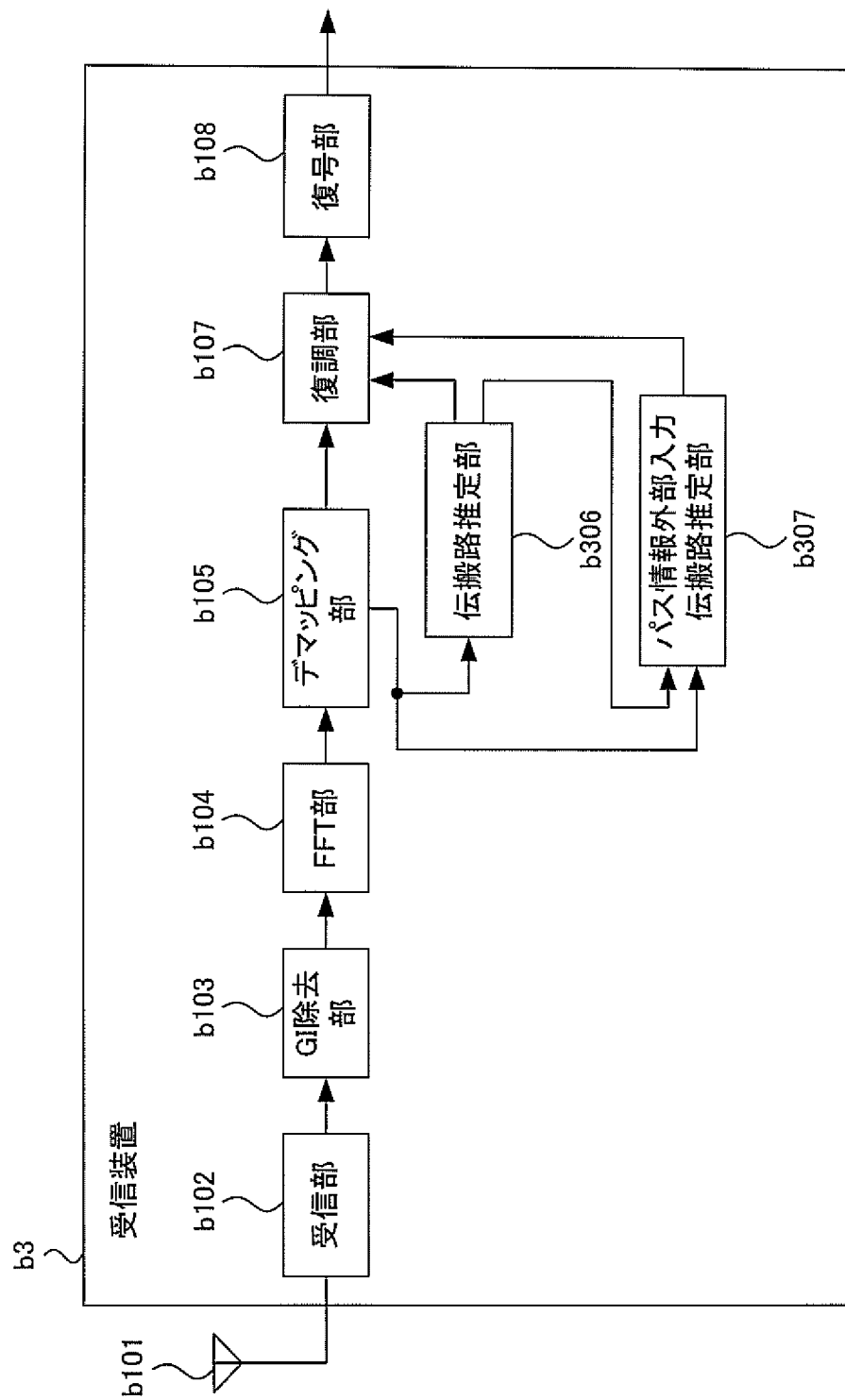
[図21]



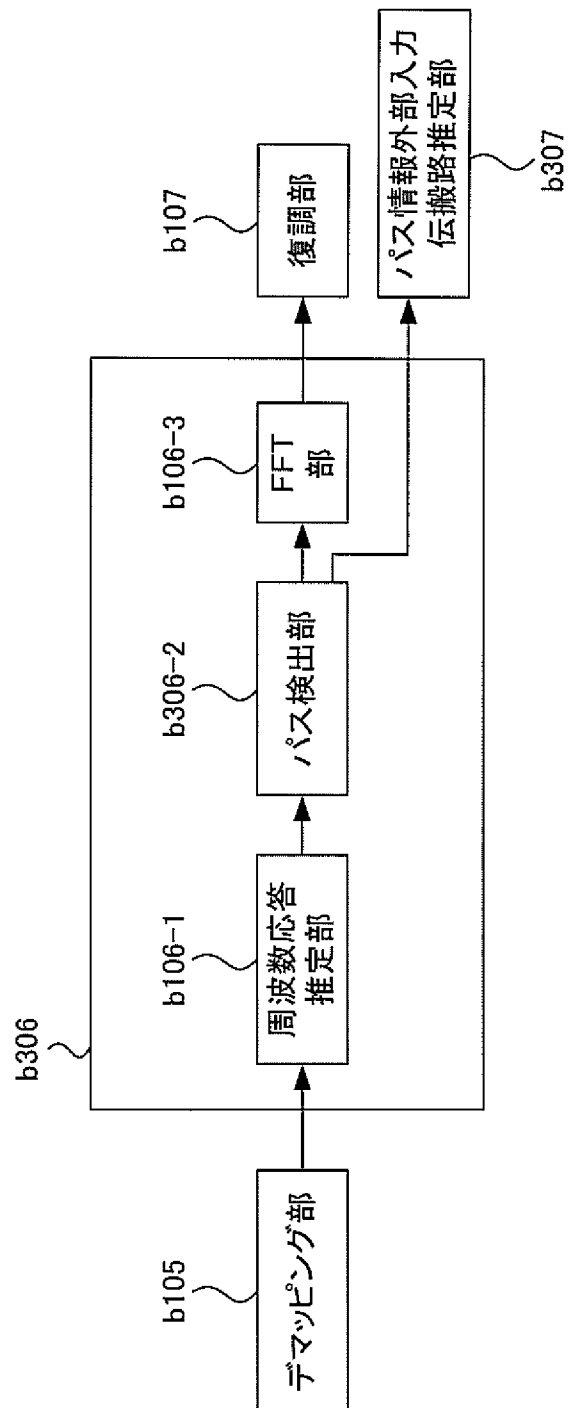
● パイロットシンボル

● 情報データシンボル

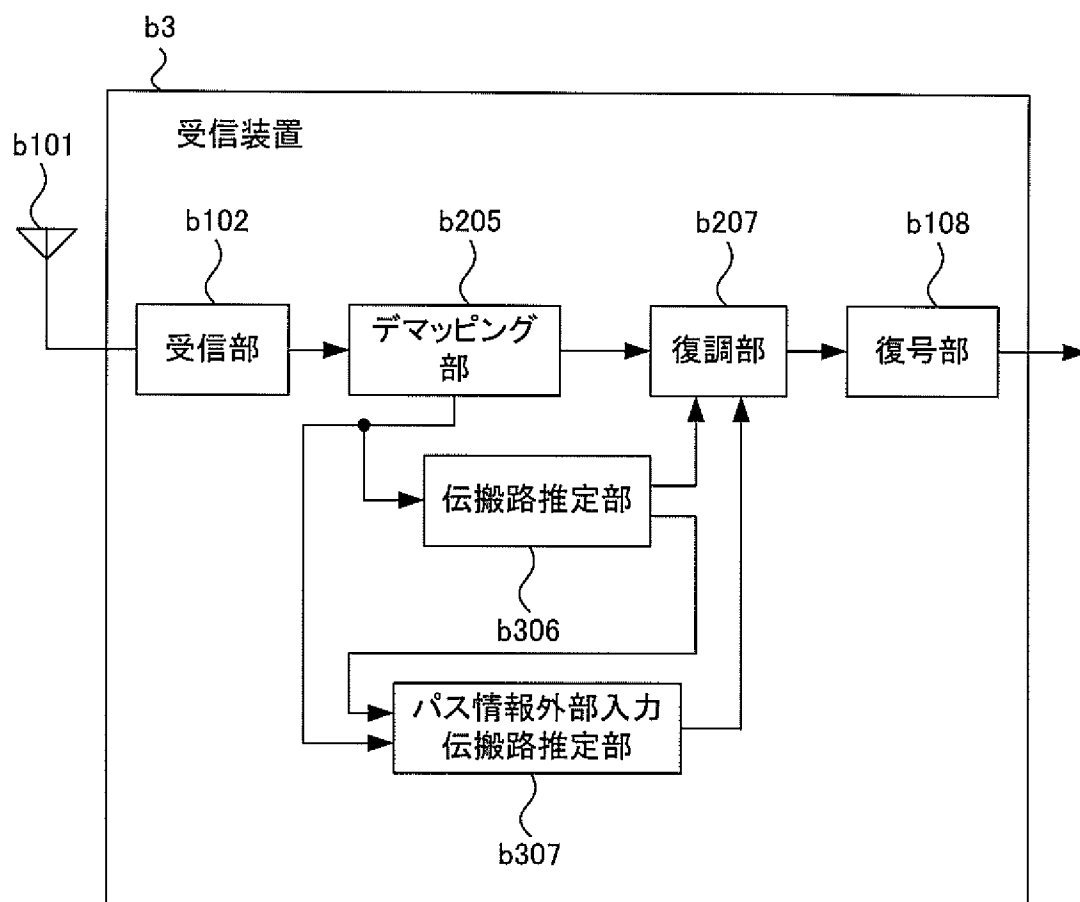
[図22]



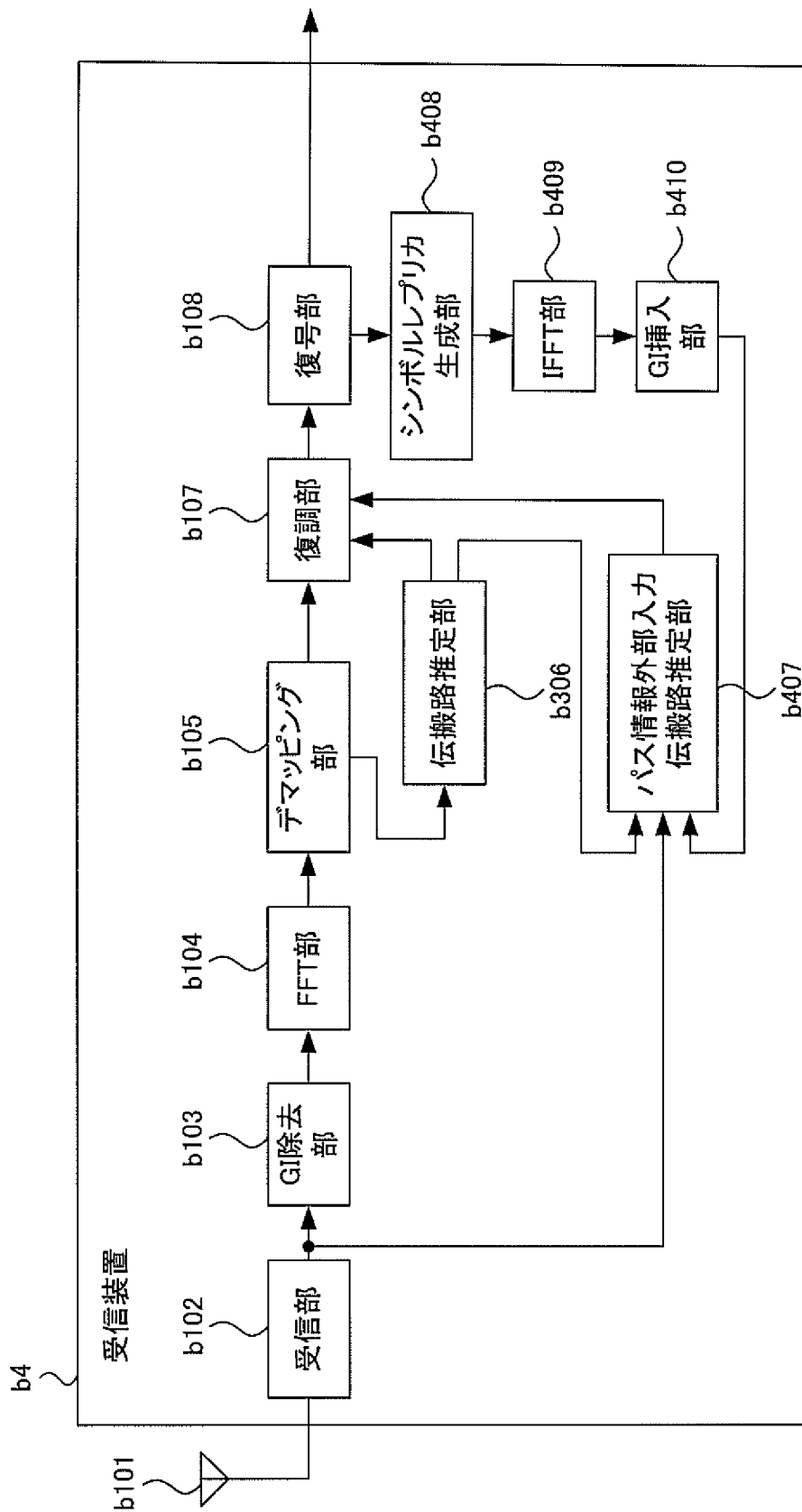
[図23]



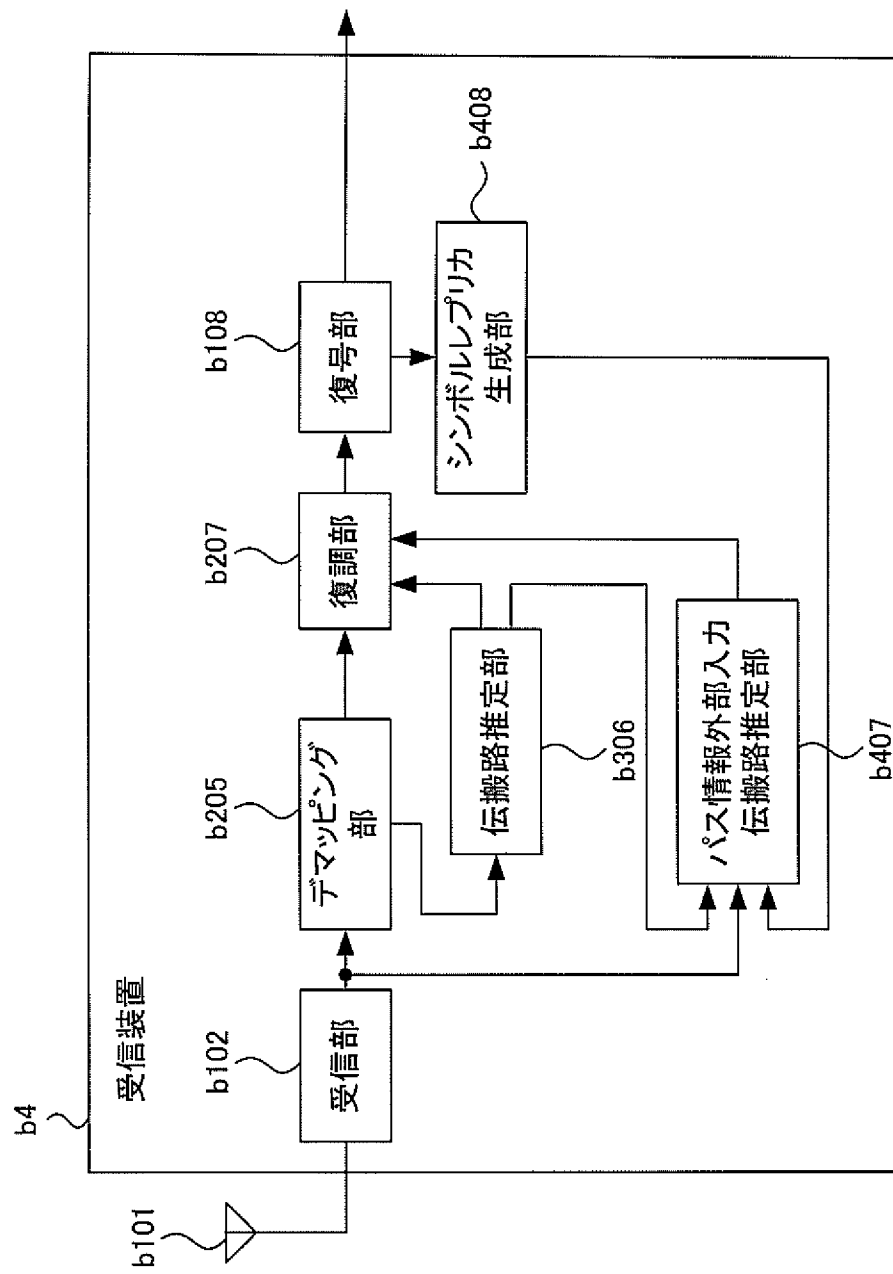
[図24]



[図25]



[図26]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/068224

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04J11/00 (2006.01) i, H04B7/005 (2006.01) i

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)

H04J11/00, H04B7/005

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

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2011

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2011 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2011

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.
Y A	JP 2009-188878 A (Fujitsu Ltd.), 20 August 2009 (20.08.2009), paragraphs [0002] to [0009]; fig. 4 (Family: none)	1-4, 11-15 5-10
Y A	JP 2008-113240 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 15 May 2008 (15.05.2008), paragraphs [0018] to [0037]; fig. 2 (Family: none)	1-4, 11-15 5-10
Y	JP 2000-244445 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 08 September 2000 (08.09.2000), paragraph [0003] (Family: none)	13

☒ 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
06 September, 2011 (06.09.11)Date of mailing of the international search report
13 September, 2011 (13.09.11)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/068224

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2008-92227 A (Toshiba Corp.), 17 April 2008 (17.04.2008), fig. 3, 8 (Family: none)	1-15
A	JP 2002-527997 A (Telefonaktiebolaget LM Ericsson (publ)), 27 August 2002 (27.08.2002), paragraphs [0013], [0025] to [0043] & US 6373888 B1 & EP 1119953 A & WO 2000/022791 A1 & DE 69926008 D & DE 69926008 T & AU 1303600 A & AT 298956 T & CN 1329789 A & TR 200100975 T	1-15

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H04J11/00(2006.01)i, H04B7/005(2006.01)i

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 (I P C))

Int.Cl. H04J11/00, H04B7/005

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 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
Y	JP 2009-188878 A (富士通株式会社) 2009.08.20 ，段落[0002]-[0009]，第4図	1-4, 11-15
A	(ファミリーなし)	5-10
Y	JP 2008-113240 A (松下電器産業株式会社) 2008.05.15 ，段落[0018]-[0037]，第2図	1-4, 11-15
A	(ファミリーなし)	5-10

☒ 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矛盾するものではなく、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

0 6 . 0 9 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

1 3 . 0 9 . 2 0 1 1

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

佐々木 洋

5 K

3 3 6 2

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 5 6

C (続き) . 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
Y	JP 2000-244445 A (日本電信電話株式会社) 2000. 09. 08 ， 段落[0003] (ファミリーなし)	13
A	JP 2008-92227 A (株式会社東芝) 2008. 04. 17 ， 第 3, 8 図 (ファミリーなし)	1-15
A	JP 2002-527997 A (テレフオンアクチーボラゲット エル エム エ リクソン (パブル)) 2002. 08. 27 ， 段落[0013], [0025]-[0043] & US 6373888 B1 & EP 1119953 A & WO 2000/022791 A1 & DE 69926008 D & DE 69926008 T & AU 1303600 A & AT 298956 T & CN 1329789 A & TR 200100975 T	1-15