

(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
2017年10月26日(26.10.2017)



(10) 国際公開番号
WO 2017/183097 A1

- (51) 国際特許分類:
G01S 7/292 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/062327
- (22) 国際出願日: 2016年4月19日(19.04.2016)
- (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:三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 福島 冬樹 (FUKUSHIMA, Fuyuki); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 原照

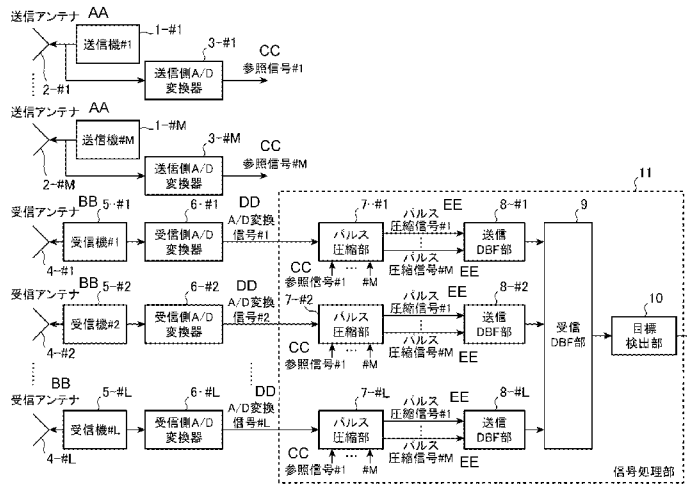
幸(HARA, Teruyuki); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 影目 聡(KAGEME, Satoshi); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人:田澤 英昭, 外(TAZAWA, Hideaki et al.); 〒1000014 東京都千代田区永田町二丁目1番2号 赤坂山王センタービル5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, BN, 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, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,

(54) Title: RADAR DEVICE

(54) 発明の名称: レーダ装置



- 1-#1, 1-#M Transmitter
- 3-#1, 3-#M Transmission-side A/D converter
- 5-#1, 5-#L Receiver
- 6-#1, 6-#L Reception-side A/D converter
- 7-#1, 7-#L Pulse compression unit
- 8-#1, 8-#L Transmission DBF unit
- 9 Reception DBF unit
- 10 Target detection unit
- 11 Signal processing unit
- AA Transmission antenna
- BB Reception antenna
- CC Reference signal #1
- DD A/D conversion signal
- EE Pulse compression signal

(57) Abstract: Radio waves including mutually uncorrelated bands are transmitted from transmission antennas (2-#1 through 2-#M) simultaneously. Receivers (5-#1 through 5-#L) receive radio waves reflected to a target as target reflected waves. Pulse compression units (7-#1 through 7-#L) and transmission DBF units (8-#1 through 8-#L) suppress unwanted peaks generated by the Doppler effect and synthesize the target reflected waves. A reception DBF unit (9) and a target detection unit (10) detect a target using a synthesis result.

(57) 要約: 送信アンテナ(2-#1~2-#M)から互いに無相関の帯域を含む電波を同時に送信する。受信機(5-#1~5-#L)は、目標に反射した電波を目標反射波として受信する。パルス圧縮部(7-#1~7-#L)と送信DBF部(8-#1~8-#L)は、目標反射波を、ドップラの影響により発生する不要ピークを抑圧して合成する。受信DBF部(9)と目標検出部(10)は、合成結果を用いて目標を検出する。

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, 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, RW, 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, 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 :

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称：レーダ装置

技術分野

[0001] この発明は、電波を発射してから目標反射波が受信されるまでの遅延時間と反射電波の到来方向から目標の位置を特定するレーダ装置に関するものである。

背景技術

[0002] 従来、例えば非特許文献1に記載されているように、送信機で帯域の異なる複数の信号を生成してそれぞれの信号を送信アンテナから送信し、電波を発射してから目標反射波が受信されるまでの遅延時間と反射電波の到来方向から目標の位置を特定するレーダ装置があった。

先行技術文献

非特許文献

[0003] 非特許文献1：XiZeng Dai, Jia Xu, Chunmao Ye, Ying-Ning Peng, " Low-side lobe HRR profiling based on the FDLFM-MIMO radar," APSAR 2007.

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、上記従来の技術では、目標が移動しているとき受信信号スペクトルがドップラ周波数分シフトして隣接する帯域に漏れ込み、これに起因して送信パルス幅相当離れた距離に不要ピークが発生し、このピークを目標と誤検出するという問題があった。

[0005] この発明は、かかる問題を解決するためになされたもので、不要ピークに起因する目標の誤検出を解消することのできるレーダ装置を得ることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] この発明に係るレーダ装置は、各アンテナから互いに帯域が異なる複数の電波を同時に送信する送信部と、送信部から送信されて目標に反射した電波

を目標反射波として受信する受信部と、受信部で受信した各アンテナに対応した目標反射波を、ドップラ周波数による他の帯域への漏れこみの影響で発生する不要ピークを抑圧して合成する合成処理部と、合成処理部の合成結果を用いて目標を検出する検出処理部とを備えたものである。

発明の効果

[0007] この発明に係るレーダ装置は、目標反射波を、ドップラ周波数による他の帯域への漏れこみの影響で発生する不要ピークを抑圧して合成するようにしたものである。これにより、不要ピークに起因する目標の誤検出を解消することができる。

図面の簡単な説明

- [0008] [図1]この発明の実施の形態1のレーダ装置を示す構成図である。
- [図2]この発明の実施の形態1のレーダ装置におけるパルス圧縮部の構成図である。
- [図3]この発明の実施の形態1のレーダ装置における信号処理部のハードウェア構成図である。
- [図4]この発明の実施の形態1のレーダ装置の動作を示すフローチャートである。
- [図5]この発明の実施の形態1のレーダ装置における送信機で生成される電波の周波数変調を表す説明図である。
- [図6]この発明の実施の形態1のレーダ装置におけるパルス幅と抑圧領域との関係を示す説明図である。
- [図7]この発明の実施の形態2のレーダ装置の構成図である。
- [図8]この発明の実施の形態2のレーダ装置におけるパルス圧縮部の構成図である。
- [図9]この発明の実施の形態3のレーダ装置の構成図である。
- [図10]この発明の実施の形態3のレーダ装置におけるパルス圧縮部の構成図である。
- [図11]この発明の実施の形態3のレーダ装置におけるパルス幅と抑圧領域と

の関係を示す説明図である。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、この発明をより詳細に説明するために、この発明を実施するための形態について、添付の図面に従って説明する。

実施の形態 1.

図 1 は、本実施の形態によるレーダ装置の構成図である。

本実施の形態によるレーダ装置は、図示のように、送信機 1-#1~1-#M、送信アンテナ 2-#1~2-#M、送信側 A/D 変換器 3-#1~3-#M、受信アンテナ 4-#1~4-#L、受信機 5-#1~5-#L、受信側 A/D 変換器 6-#1~6-#L、パルス圧縮部 7-#1~7-#L、送信 D B F (Digital Beam Forming) 部 8-#1~8-#L、受信 D B F 部 9、目標検出部 10 を備える。

[0010] 送信機 1-#1~1-#M は、それぞれリニア FM 変調を施した信号を生成する送信機であり、M ($M \geq 2$) 個が設けられている。送信アンテナ 2-#1~2-#M は、送信機 1-#1~1-#M に対応して設けられ、送信機 1-#1~1-#M で生成された信号をそれぞれ送信するためのアンテナである。送信側 A/D 変換器 3-#1~3-#M は、アナログ信号である送信信号をデジタル信号に変換する A/D 変換器である。受信アンテナ 4-#1~4-#L は、送信アンテナ 2-#1~2-#M から送出されて目標に反射した電波を受信するためのアンテナであり、L ($L \geq 2$) 本が設けられている。受信機 5-#1~5-#L は、それぞれ受信アンテナ 4-#1~4-#L で受信した電波に、帯域制限と位相検波を施す受信機である。受信側 A/D 変換器 6-#1~6-#L は、受信機 5-#1~5-#L から出力されたアナログ信号である受信信号をデジタル信号に変換する A/D 変換器である。

[0011] パルス圧縮部 7-#1~7-#L は、受信側 A/D 変換器 6-#1~6-#L からの A/D 変換信号 #1~#L と、送信側 A/D 変換器 3-#1~3-#M から出力された参照信号 #1~#M とに基づいてパルス圧縮を行う処

理部であり、これについては後述する。送信DBF部8-#1~8-#Lは、パルス圧縮部7-#1~7-#Lにて圧縮された信号に基づいて送信ビームを形成して合成する処理部であり、受信DBF部9は、送信DBF部8-#1~8-#Lのそれぞれの出力信号に対して受信ビームにより合成する処理部である。目標検出部10は、受信DBF部9の出力信号に基づいて目標の存在する方向と距離を検出する処理部である。また、パルス圧縮部7-#1~7-#L~目標検出部10によって信号処理部11が構成されている。

[0012] ここで、送信機1-#1~1-#M、送信アンテナ2-#1~2-#M及び送信側A/D変換器3-#1~3-#Mによって、各アンテナから互いに帯域が異なる複数の電波を同時に送信する送信部が構成されている。また、受信アンテナ4-#1~4-#L及び受信機5-#1~5-#Lによって、送信部から送信されて目標に反射した電波を目標反射波として受信する受信部が構成されている。さらに、受信側A/D変換器6-#1~6-#L、パルス圧縮部7-#1及び送信DBF部8-#1~8-#Lによって、受信部で受信した各アンテナに対応した目標反射波を、ドップラ周波数による他の帯域への漏れこみの影響で発生する不要ピークを抑圧して合成する合成処理部が構成されている。また、受信DBF部9及び目標検出部10によって、合成処理部の合成結果を用いて目標を検出する検出処理部が構成されている。

[0013] 図2は、パルス圧縮部7-#1 ($1 \leq l \leq L$) の内部構成を示すブロック構成図である。図示のように、パルス圧縮部7-#1は、受信信号FET部71-#1~71-#M、参照信号FET部72-#1~72-#M、乗算回路73-#1~73-#M、複素窓関数乗算回路74-#1~74-#M、IFFT部75-#1~75-#Mを備える。

受信信号FET部71-#1~71-#Mは、受信側A/D変換器6-#1からのA/D変換信号#1に対してFFT (Fast Fourier Transform: 高速フーリエ変換) 処理を施すフーリエ変換部である。参照信号FET部72-#1~72-#Mは、送信側A/D変換器3-#

1 ~ 3 - # M の出力信号を参照信号 # 1 ~ # M として入力し、それぞれの参照信号 # 1 ~ # M に対して F F T 処理を施す演算部である。

[0014] 乗算回路 7 3 - # 1 ~ 7 3 - # M は、受信信号 F E T 部 7 1 - # 1 ~ 7 1 - # M の出力信号に、参照信号 F E T 部 7 2 - # 1 ~ 7 2 - # M の出力信号の複素共役を乗算する乗算回路である。複素窓関数乗算回路 7 4 - # 1 ~ 7 4 - # M は、乗算回路 7 3 - # 1 ~ 7 3 - # M の出力信号に対して、ドップラに起因して発生する不要ピークの位置にノッチを形成する窓関数を乗算する窓関数乗算回路である。I F F T 部 7 5 - # 1 ~ 7 5 - # M は、複素窓関数乗算回路 7 4 - # 1 ~ 7 4 - # M の出力信号に対して I F F T (Inverse Fast Fourier Transform) 処理を施す演算部である。

[0015] 図 3 は、信号処理部 1 1 を信号処理ボードとして構成した信号処理部 1 1 のハードウェア構成図である。図示の信号処理部 1 1 は、例えば F P G A (Field-Programmable Gate Array) 等を用いて構成され、プロセッサ 1 1 1、メモリ 1 1 2、表示器 1 1 3 からなる。プロセッサ 1 1 1 は、パルス圧縮部 7 - # 1 におけるパルス圧縮、送信 D B F 部 8 - # 1 ~ 8 - # L における D B F 処理、受信 D B F 部 9 における D B F 処理及び目標検出部 1 0 における目標検出処理を行うプロセッサである。メモリ 1 1 2 は、パルス圧縮部 7 - # 1 ~ 目標検出部 1 0 を実現するためのプログラムを格納すると共に、信号処理部 1 1 の作業領域として用いるための記憶部である。表示器 1 1 3 は、プロセッサ 1 1 1 の処理結果を表示するための表示器である。

このように構成された信号処理部 1 1 では、プロセッサ 1 1 1 がメモリ 1 1 2 に格納されたプログラムを実行することにより、パルス圧縮部 7 - # 1 ~ 目標検出部 1 0 の機能を実現する。

[0016] 次に実施の形態 1 のレーダ装置の動作について説明する。

図 4 は、実施の形態 1 のレーダ装置の動作を示すフローチャートである。

送信機 1 - # m ($1 \leq m \leq M$) と送信アンテナ 2 - # m でパルス状の送信波が送信される (ステップ S T 1) 。また、送信波は送信側 A / D 変換器 3 - # m にも伝達され、参照信号 - # m が出力される (ステップ S T 2) 。図

5は送信機1-#1~1-#Mで生成される電波の周波数変調を表している。送信帯域をM個に分割して送信機1-#mでは、m番目の帯域を用いてリニアFM変調の施された送信波を生成する。送信アンテナ2-#mから送信波が送信される。また、図5中の破線501はドップラ周波数の影響のある受信信号を示し、矢印502はドップラ周波数を示している。なお、ここで複数の送信アンテナ2-#1~2-#Mからは互いに無相関の複数の電波が送信されるが、それぞれの送信機1-#1~1-#Mの送信帯域が若干重複する、すなわち、互いに相関の小さい電波を送信するものであってもよい。

送信波は目標に反射して受信アンテナ4-#1~受信アンテナ4-#Lで受信される(ステップST3)。受信アンテナ4-#l(1≦l≦L)で受信された電波は受信機5-#lで帯域制限と位相検波が施された後、受信側A/D変換器6-#lに伝達される。受信側A/D変換器6-#lでは受信機5-#l出力信号をデジタル信号に変換する。

[0017] 受信側A/D変換器6-#lの出力信号であるA/D変換信号#lは、パルス圧縮部7-#lの受信信号FET部71-#1~71-#Mに伝達される。受信信号FET部71-#1~71-#Mでは受信信号にFFT処理を施して受信信号スペクトルを生成する(ステップST4)。この受信スペクトルを $x_{l,m,1}, \dots, x_{l,m,N}$ とする。また、参照信号#m(1≦m≦M)が、参照信号FET部72-#1~72-#Mに伝達される。参照信号FET部72-#1~72-#Mでは参照信号#mにFFT処理を施して参照信号スペクトルを生成する。この参照信号スペクトルを $y_{m,1}, \dots, y_{m,N}$ とする。

これら受信信号スペクトル $x_{l,m,1}, \dots, x_{l,m,N}$ と参照信号スペクトル $y_{m,1}, \dots, y_{m,N}$ が乗算回路73-#1~73-#Mに伝達される。乗算回路73-#1~73-#Mでは、受信信号スペクトルと参照信号スペクトルの複素共役が乗算され、圧縮信号スペクトル $z_{l,m,1}, \dots, z_{l,m,N}$ を生成する(ステップST5)。次式(1)で*は複素共役を表している。

$$z'_{l,m,n} = x_{l,m,n} y_{l,m,n}^* \quad (1)$$

[0018] 次に、複素窓関数乗算回路 74-#1 ~ 74-#Mでは、複素窓関数 $w_{m,1} \dots w_{m,N}$ を圧縮信号スペクトルに乗算して複素窓関数乗算信号 $w_{m,1z1,m,1}, \dots, w_{m,Nz1,m,N}$ を出力する (ステップST6)。

ここで、複素窓関数 $w_{m,1} \dots w_{m,N}$ は次式 (2) で算出されるベクトル w_m の要素として算出される。式 (2) で $\mathbf{1}$ は全ての要素が 1 の 1 行 N 列のベクトル、 \mathbf{I} は N 行 N 列の単位ベクトル、 $\zeta(t)$ はパルス幅相当の時間領域の係数を大きくした重みを表している。図 6 に、パルス幅と抑圧領域との関係を示す。抑圧領域が、相互相関によりサイドローブが上昇する領域に対応している。すなわち、パルス圧縮した場合、図 5 の破線 501 に示すように、隣接する帯域からのドップラ周波数 502 の影響による漏れ込みで、相互相関によりサイドローブが上昇した不要ピークが発生する。そこで、この不要ピークの領域にノッチを形成する複素窓関数 $w_{m,1} \dots w_{m,N}$ を作成して、相互相関により上昇したサイドローブを抑圧する。ノッチ幅や深さは、図 6 に示す抑圧領域の幅や式 (2) のパラメータ ρ により制御する。また、 $x'_{m,1}, \dots, x'_{m,N}$ は疑似的に作成した受信信号を表している。

$$w_m = R_m^{-1} \mathbf{1}$$

$$R_m = \int_{\text{全時間領域}} \zeta(t) \xi_m^H(t) \xi_m(t) dt + \rho \mathbf{I}$$

$$\xi_m(t) = \left[|z'_{m,1}| \quad |z'_{m,2}| \exp(j2\pi \Delta_f t) \quad \dots \quad |z'_{m,N}| \exp(j2\pi (N-1) \Delta_f t) \right] \quad (2)$$

$$z'_{m,n} = x'_{m,n} \cdot y_{m,n}^*$$

$$x'_{m,n} = \sum_{m=1}^M y_{m,n}$$

[0019] 複素窓関数乗算回路 74-#1 ~ 74-#Mから出力された複素窓関数乗算信号 $w_{m,1z1,m,1}, \dots, w_{m,Nz1,m,N}$ は IFFT部 75-#1 ~ 75-#M に伝達される。IFFT部 75-#1 ~ 75-#Mでは、複素窓関数乗算信号 $w_{m,1z1,m,1}, \dots, w_{m,Nz1,m,N}$ に IFFT処理を施し、パルス圧縮信号 $\eta_{1,m,1}, \dots, \eta_{1,m,N}$ を生成する (ステップST7)。このとき、 $\eta_{1,m,n}$ の

番号 n は送信帯域幅 B 等から定まる距離分解能を単位とするレンジビンの番号を表している。パルス圧縮信号 $\eta_{1,m,1}, \dots, \eta_{1,m,N}$ (図 1 中ではパルス圧縮信号 # 1 ~ パルス圧縮信号 # M で示す) は送信 DBF 部 8 - # 1 に伝達される。送信 DBF 部 8 - # 1 では想定する電波到来方向 θ や送信アンテナ位置に対応させて位相補正量 $\phi_1(\theta) \sim \phi_M(\theta)$ を算出し、次式 (3) により合成した信号 $g_{1,n}(\theta)$ を算出する (ステップ ST 8)。

$$g_{1,n}(\theta) = \sum_{m=1}^M \eta_{1,m,n} \exp(j\phi_m(\theta)) \quad (3)$$

[0020] 送信 DBF 部 8 - # 1 からの送信 DBF 信号 $g_{1,n}(\theta)$ は、受信 DBF 部 9 に伝達される。受信 DBF 部 9 では、電波到来方向 θ や受信アンテナ位置に対応させて位相補正量 $\psi_1(\theta) \sim \psi_L(\theta)$ を算出し、次式 (4) により合成した信号 $h_n(\theta)$ を算出する (ステップ ST 9)。

$$h_n(\theta) = \sum_{l=1}^L g_{1,n}(\theta) \exp(j\psi_l(\theta)) \quad (4)$$

[0021] 受信 DBF 部 9 からの受信 DBF 信号 $h_n(\theta)$ は目標検出部 10 に伝達される。目標検出部 10 では、受信 DBF 信号の絶対値 $|h_n(\theta)|$ と、雑音を誤って目標信号と判定する誤警報確率を基準として設定されたスレッシュホールドとを比較し、スレッシュホールドを超えた信号を目標信号とし角度 θ の n レンジビンに存在すると判定する (ステップ ST 10)。

[0022] このように実施の形態 1 のレーダ装置では、メインローブからパルス幅相当離れた位置にノッチを形成する窓関数を用いることで、ドップラに起因して発生する不要ピークを抑圧でき、目標の誤検出を解消することができる。

[0023] 以上説明したように、実施の形態 1 のレーダ装置によれば、各アンテナから互いに帯域が異なる複数の電波を同時に送信する送信部と、送信部から送信されて目標に反射した電波を目標反射波として受信する受信部と、受信部で受信した各アンテナに対応した目標反射波を、ドップラ周波数による他の帯域への漏れこみの影響で発生する不要ピークを抑圧して合成する合成処理部と、合成処理部の合成結果を用いて目標を検出する検出処理部とを備えた

ので、不要ピークに起因する目標の誤検出を解消することができる。

[0024] また、実施の形態1のレーダ装置によれば、送信部は、互いに異なる帯域でリニア周波数変調の施された波形の信号を生成する M ($M \geq 2$)個の送信機と、 M 個の送信機で生成された信号を電波として送信する M 本の送信アンテナと、 M 個の送信機で生成されたアナログ信号をデジタル信号に変換する M 個の送信側A/D変換器とから構成されるようにしたので、不要ピークに起因する目標の誤検出を解消するための送信部を提供することができる。

[0025] また、実施の形態1のレーダ装置によれば、受信部は、目標に反射した電波を受信する L ($L \geq 2$)本の受信アンテナと、 L 本の受信アンテナで受信した電波に帯域制限及び位相検波を施す L 個の受信機とから構成されるようにしたので、不要ピークに起因する目標の誤検出を解消するための受信部を提供することができる。

[0026] また、実施の形態1のレーダ装置によれば、合成処理部は、受信部の出力信号をデジタル信号に変換する L 個の受信側A/D変換器と、 L 個の受信側A/D変換器の出力信号と M 個の送信側A/D変換器の出力信号とを用いて不要ピークを抑圧してパルス圧縮を行う L 個のパルス圧縮部と、 M 個の送信機で生成された互いに異なる帯域の信号に関する L 個のパルス圧縮部の出力信号を合成する L 個の送信DBF部とから構成されるようにしたので、不要ピークに起因する目標の誤検出を解消するための合成処理部を提供することができる。

[0027] また、実施の形態1のレーダ装置によれば、検出処理部は、 L 個の送信DBF部の出力信号を合成する受信DBF部と、受信DBF部の出力信号に対して、雑音を目標信号と誤って判定する誤警報確率を基に設定したスレッシュホールドを用いて目標を検出する目標検出部とから構成されるようにしたので、不要ピークに起因する目標の誤検出を解消するための検出処理部を提供することができる。

[0028] また、実施の形態1のレーダ装置によれば、 L 個のパルス圧縮部は、それぞれ、受信側A/D変換器の出力信号にフーリエ変換処理を施して受信信号

スペクトルを生成するM個の受信信号FFT部と、送信側A/D変換器の出力信号にフーリエ変換処理を施して参照信号スペクトルを生成するM個の参照信号FFT部と、M個の受信信号FFT部の出力信号とM個の参照信号FFT部の出力信号から圧縮信号スペクトルを生成するM個の乗算回路と、不要ピークの位置にノッチを形成する窓関数をM個の乗算回路の出力信号に乗算するM個の複素窓関数乗算回路と、M個の複素窓関数乗算回路の出力信号に逆フーリエ変換処理を施すM個のIFFT部とから構成されるようにしたので、不要ピークに起因する目標の誤検出を解消するためのパルス圧縮部を提供することができる。

[0029] 実施の形態2.

図7は実施の形態2のレーダ装置の構成図である。

実施の形態2のレーダ装置は、送信機1-#1~1-#M、送信アンテナ2-#1~2-#M、送信側A/D変換器3-#1~3-#M、受信アンテナ4-#1~4-#L、受信機5-#1~5-#L、受信側A/D変換器6-#1~6-#L、速度対応型パルス圧縮部7a-#1~7a-#L、送信DBF部8-#1~8-#L、受信DBF部9、目標検出部10を備える。ここで、信号処理部11aにおける速度対応型パルス圧縮部7a-#1~7a-#L以外は、図1に示した実施の形態1と同様であるため、対応する部分に同一符号を付してその説明を省略する。

[0030] 速度対応型パルス圧縮部7a-#1~7a-#Lは、速度範囲に対応して不要ピークを抑圧するパルス圧縮部であり、図8に速度対応型パルス圧縮部7a-#l (1 ≤ l ≤ L) の内部構成を示す。

図8において、実施の形態1のパルス圧縮部7-#lとの相違点は、実施の形態1の複素窓関数乗算回路74-#1~74-#Mに代えて、速度範囲対応型複素窓関数乗算回路76-#1~76-#Mを設けた点である。他の構成は図2と同様であるため、対応する部分に同一符号を付してその説明を省略する。

[0031] 速度範囲対応型複素窓関数乗算回路76-#1~76-#Mは、不要ピーク

クの位置にノッチを形成する窓関数を複数の目標速度を想定して算出し、この窓関数を乗算回路 73-#1 ~ 73-#M の出力信号に乗算する窓関数乗算回路である。

また、信号処理部 11a は速度対応型信号処理ボードで構成されるが、速度対応型パルス圧縮部 7a-#1 ~ 7a-#L ~ 目標検出部 10 を実現するハードウェア構成は図 3 に示したプロセッサ 111、メモリ 112 及び表示器 113 からなる構成と同様であるため、ここでの説明は省略する。

[0032] 次に、実施の形態 2 のレーダ装置の動作について説明する。

送信機 1-#m (1 ≤ m ≤ M) と送信アンテナ 2-#m でパルス状の送信波が送信される。以降の受信側の受信アンテナ 4-#1 から速度対応型パルス圧縮部 7a-#1 における乗算回路 73-#1 ~ 73-#M までの動作は実施の形態 1 と同様である。乗算回路 73-#1 ~ 73-#M からの圧縮信号スペクトル $z_{1,m,1}, \dots, z_{1,m,N}$ が速度範囲対応型複素窓関数乗算回路 76-#1 ~ 76-#M に伝達されると、速度範囲対応型複素窓関数乗算回路 76-#1 ~ 76-#M では、複素窓関数 $w_{m,1} \dots w_{m,N}$ を圧縮信号スペクトルに乗算する。複素窓関数 $w_{m,1} \dots w_{m,N}$ は次式 (5) で算出されるベクトル w_m の要素として算出される。式 (5) で信号 $y'_{m,1}, \dots, y'_{m,N}$ はドップラの影響を受けた目標反射波の送信アンテナ-#m 成分の受信信号スペクトル成分を表している。また、式 (5) において、k が複数の目標速度に対応したパラメータである。

$$w_m = R_m^{-1} \mathbf{1}$$

$$R_m = \sum_{m=1}^M \int_{\text{全時間領域}} \zeta(t) \xi_{m,k}^H(t) \xi_{m,k}(t) dt + \rho \mathbf{I}$$

$$\xi_{m,k}(t) = \left[|z'_{m,k,1}| \quad |z'_{m,k,2}| \exp(j2\pi \Delta_f t) \quad \dots \quad |z'_{m,k,N}| \exp(j2\pi(N-1)\Delta_f t) \right] \quad (5)$$

$$z'_{m,k,n} = x'_{m,k,n} \cdot y_{m,n}^*$$

$$x'_{m,k,n} = \sum_{m=1}^M y'_{m,k,n}$$

[0033] ドップラの影響を受けた受信信号スペクトル $y'_{m,1}, \dots, y'_{m,N}$ は、例えば送信機 1 - # m から出力される参照信号を $u_{m,1}, \dots, u_{m,N}$ として次式 (6) によりドップラシフトした模擬信号 $u'_{m,k,1}, \dots, u'_{m,k,N}$ を生成し F F T することで求められる。式 (6) で λ は送信波長、 v_k は複数の目標速度のうち k 番目の目標速度、 Δ_t は A / D 変換 (送信側 A / D 変換器 3 - # 1 ~ 3 - # M と受信側 A / D 変換器 6 - # 1 ~ 6 - # L) のサンプリング間隔をそれぞれ表している。

$$u'_{m,k,n} = u_{m,k,n} \exp\left(j2\pi \frac{2v_k}{\lambda} \Delta_t\right) \quad (6)$$

[0034] このように実施の形態 2 では、実施の形態 1 のフローチャートの S T 6 で使用する窓関数を式 (5) により算出した窓関数に置き換えている。このため、メインローブからパルス幅相当離れた位置にノッチを形成する窓関数を複数の目標速度を想定して算出したことで、不要ピークの抑圧効果が期待できる目標の速度範囲を広げることができる。

[0035] 以上説明したように、実施の形態 2 のレーダ装置によれば、L 個のパルス圧縮部は、それぞれ、受信側 A / D 変換器の出力信号にフーリエ変換処理を施して受信信号スペクトルを生成する M 個の受信信号 F F T 部と、送信側 A / D 変換器の出力信号にフーリエ変換処理を施して参照信号スペクトルを生成する M 個の参照信号 F F T 部と、M 個の受信信号 F F T 部の出力信号と M 個の参照信号 F F T 部の出力信号から圧縮信号スペクトルを生成する M 個の乗算回路と、不要ピークの位置にノッチを形成する窓関数を複数の目標速度を想定して算出し、窓関数を M 個の乗算回路の出力信号に乗算する M 個の速度範囲対応型複素窓関数乗算回路と、M 個の速度範囲対応型複素窓関数乗算回路の出力信号に逆フーリエ変換処理を施す M 個の I F F T 部とから構成されるようにしたので、不要ピークの抑圧効果が期待できる目標の速度範囲を広げることができる。

[0036] 実施の形態 3.

図 9 は実施の形態 3 のレーダ装置の構成図である。

実施の形態3のレーダ装置は、送信機1-#1~1-#M、送信アンテナ2-#1~2-#M、送信側A/D変換器3-#1~3-#M、受信アンテナ4-#1~4-#L、受信機5-#1~5-#L、受信側A/D変換器6-#1~6-#L、サイドローブ対応型パルス圧縮部7b-#1~7b-#L、送信DBF部8-#1~8-#L、受信DBF部9、目標検出部10を備える。ここで、サイドローブ対応型パルス圧縮部7b-#1~7b-#L以外は、図1に示した実施の形態1と同様であるため、対応する部分に同一符号を付してその説明を省略する。

[0037] サイドローブ対応型パルス圧縮部7b-#1~7b-#Lは、サイドローブにも対応させて不要ピークを抑圧するパルス圧縮部であり、図10にその内部構成を示す。

図10において、実施の形態1のパルス圧縮部7-#1との相違点は、実施の形態1の複素窓関数乗算回路74-#1~74-#Mに代えて、サイドローブ対応型複素窓関数乗算回路77-#1~77-#Mを設けた点であり、他の構成は図2と同様であるため、対応する部分に同一符号を付してその説明を省略する。

サイドローブ対応型複素窓関数乗算回路77-#1~77-#Mは、不要ピークの位置にノッチを形成する窓関数をサイドローブレベルを含めて算出し、この窓関数を乗算回路73-#1~73-#Mの出力信号に対して乗算する窓関数乗算回路である。

また、信号処理部11bはサイドローブ対応型信号処理ボードで構成されるが、サイドローブ対応型パルス圧縮部7b-#1~7b-#L~目標検出部10を実現するハードウェア構成は図3に示したプロセッサ111、メモリ112及び表示器113からなる構成と同様であるため、ここでの説明は省略する。

[0038] 次に、実施の形態3のレーダ装置の動作について説明する。

送信機1-#m ($1 \leq m \leq M$) と送信アンテナ2-#mでパルス状の送信波が送信される。以降の受信側の受信アンテナ4-#1からサイドローブ対

応型パルス圧縮部 7 b - # 1 における乗算回路 7 3 - # 1 ~ 7 3 - # M までの動作は実施の形態 1 と同様である。乗算回路 7 3 - # 1 ~ 7 3 - # M からの圧縮信号スペクトル $z_{1, m, 1}, \dots, z_{1, m, N}$ がサイドローブ対応型複素窓関数乗算回路 7 7 - # 1 ~ 7 7 - # M に伝達されると、サイドローブ対応型複素窓関数乗算回路 7 7 - # 1 ~ 7 7 - # M は、複素窓関数 $w_{m, 1} \dots w_{m, N}$ を圧縮信号スペクトルに乗算する。複素窓関数 $w_{m, 1} \dots w_{m, N}$ は次式 (7) で算出されるベクトル w_m の要素として算出される。式 (7) で $\mathbf{1}$ は全ての要素が 1 の 1 行 N 列のベクトル、 \mathbf{I} は N 行 N 列の単位ベクトル、 $\zeta'(t)$ はパルス幅相当の時間領域の係数を大きくし、さらにサイドローブレベルも調節できる重みを表している。図 1 1 に、パルス幅と抑圧領域との関係を示す。サイドローブレベルとノッチ幅と深さは図 1 1 のパラメータ ζ'_0 と ζ'_1 、抑圧領域の幅、通過帯域幅、式 (7) のパラメータ ρ により制御する。また、 $x'_{m, 1}, \dots, x'_{m, N}$ は疑似的に作成した受信信号を表している。

$$\mathbf{w}_m = \mathbf{R}_m^{-1} \mathbf{1}$$

$$\mathbf{R}_m = \int_{\text{全時間領域}} \zeta'(t) \xi_m^H(t) \xi_m(t) dt + \rho \mathbf{I}$$

$$\xi_m(t) = \left[|z'_{m,1}| \quad |z'_{m,2}| \exp(j2\pi \Delta_f t) \quad \dots \quad |z'_{m,N}| \exp(j2\pi (N-1) \Delta_f t) \right] \quad (7)$$

$$z'_{m,n} = x'_{m,n} \cdot y_{m,n}^*$$

$$x'_{m,n} = \sum_{m=1}^M y_{m,n}$$

[0039] このように実施の形態 3 では、実施の形態 1 のフローチャートの S T 6 で使用する窓関数を式 (7) により算出した窓関数に置き換えている。このため、メインローブからパルス幅相当離れた位置にノッチを形成する窓関数をサイドローブレベルにも対応させて算出することで、サイドローブレベル低減と不要ピーク抑圧の両方の効果が期待できる。

[0040] 以上説明したように、実施の形態 3 のレーダ装置によれば、L 個のパルス圧縮部は、それぞれ、記受信側 A / D 変換器の出力信号にフーリエ変換処理を施して受信信号スペクトルを生成する M 個の受信信号 F F T 部と、送信側

A/D変換器の出力信号にフーリエ変換処理を施して参照信号スペクトルを生成するM個の参照信号FFT部と、M個の受信信号FFT部の出力信号とM個の参照信号FFT部の出力信号から圧縮信号スペクトルを生成するM個の乗算回路と、不要ピークの位置にノッチを形成する窓関数をサイドローブレベルを含めて算出し、窓関数をM個の乗算回路の出力信号に対して乗算するM個のサイドローブ対応型複素窓関数乗算回路と、M個のサイドローブ対応型複素窓関数乗算回路の出力信号に逆フーリエ変換処理を施すM個のIFFT部とから構成されるようにしたので、不要ピーク抑圧とサイドローブレベル低減との両方の効果を得ることができる。

[0041] なお、本願発明はその発明の範囲内において、各実施の形態の自由な組み合わせ、あるいは各実施の形態の任意の構成要素の変形、もしくは各実施の形態において任意の構成要素の省略が可能である。

産業上の利用可能性

[0042] 以上のように、この発明に係るレーダ装置は、ドップラに起因する不要ピークの発生による目標の誤検出を解消する構成に関するものであり、MIMO(Multi Input Multi Output)レーダ等に用いるのに適している。

符号の説明

[0043] 1-#1~1-#M 送信機、2-#1~2-#M 送信アンテナ、3-#1~3-#M 送信側A/D変換器、4-#1~4-#L 受信アンテナ、5-#1~5-#L 受信機、6-#1~6-#L 受信側A/D変換器、7-#1~7-#L パルス圧縮部、8-#1~8-#L 送信DBF部、9 受信DBF部、10 目標検出部、11, 11a, 11b 信号処理部、71-#1~71-#M 受信信号FFT部、72-#1~72-#M 参照信号FFT部、73-#1~73-#M 乗算回路、74-#1~74-#M 複素窓関数乗算回路、75-#1~75-#M IFFT部、76-#1~76-#M 速度範囲対応型複素窓関数乗算回路、77-#1~77-#M サイドローブ対応型複素窓関数乗算回路。

請求の範囲

- [請求項1] 各アンテナから互いに帯域が異なる複数の電波を同時に送信する送信部と、
前記送信部から送信されて目標に反射した電波を目標反射波として受信する受信部と、
前記受信部で受信した前記各アンテナに対応した目標反射波を、ドップラ周波数による他の帯域への漏れこみの影響で発生する不要ピークを抑圧して合成する合成処理部と、
前記合成処理部の合成結果を用いて目標を検出する検出処理部とを備えたことを特徴とするレーダ装置。
- [請求項2] 前記送信部は、
互いに異なる帯域でリニア周波数変調の施された波形の信号を生成する M ($M \geq 2$) 個の送信機と、
前記 M 個の送信機で生成された信号を電波として送信する M 本の送信アンテナと、
前記 M 個の送信機で生成されたアナログ信号をデジタル信号に変換する M 個の送信側A/D変換器とから構成されることを特徴とする請求項1記載のレーダ装置。
- [請求項3] 前記受信部は、
目標に反射した電波を受信する L ($L \geq 2$) 本の受信アンテナと、
前記 L 本の受信アンテナで受信した電波に帯域制限及び位相検波を施す L 個の受信機とから構成されることを特徴とする請求項1記載のレーダ装置。
- [請求項4] 前記合成処理部は、
前記受信部の出力信号をデジタル信号に変換する L 個の受信側A/D変換器と、
前記 L 個の受信側A/D変換器の出力信号と前記 M 個の送信側A/D変換器の出力信号とを用いて前記不要ピークを抑圧してパルス圧縮

を行うL個のパルス圧縮部と、

前記M個の送信機で生成された互いに異なる帯域の信号に関する前記L個のパルス圧縮部の出力信号を合成するL個の送信DBF部とから構成されることを特徴とする請求項2記載のレーダ装置。

[請求項5]

前記検出処理部は、

前記L個の送信DBF部の出力信号を合成する受信DBF部と、

前記受信DBF部の出力信号に対して、雑音を目標信号と誤って判定する誤警報確率を基に設定したスレッシュホールドを用いて目標を検出する目標検出部とから構成されることを特徴とする請求項4記載のレーダ装置。

[請求項6]

前記L個のパルス圧縮部は、それぞれ、

前記受信側A/D変換器の出力信号にフーリエ変換処理を施して受信信号スペクトルを生成するM個の受信信号FFT部と、

前記送信側A/D変換器の出力信号にフーリエ変換処理を施して参照信号スペクトルを生成するM個の参照信号FFT部と、

前記M個の受信信号FFT部の出力信号と前記M個の参照信号FFT部の出力信号から圧縮信号スペクトルを生成するM個の乗算回路と、

前記不要ピークの位置にノッチを形成する窓関数を前記M個の乗算回路の出力信号に乗算するM個の複素窓関数乗算回路と、

前記M個の複素窓関数乗算回路の出力信号に逆フーリエ変換処理を施すM個のIFFT部とから構成されることを特徴とする請求項4記載のレーダ装置。

[請求項7]

前記L個のパルス圧縮部は、それぞれ、

前記受信側A/D変換器の出力信号にフーリエ変換処理を施して受信信号スペクトルを生成するM個の受信信号FFT部と、

前記送信側A/D変換器の出力信号にフーリエ変換処理を施して参照信号スペクトルを生成するM個の参照信号FFT部と、

前記M個の受信信号 F F T 部の出力信号と前記M個の参照信号 F F T 部の出力信号から圧縮信号スペクトルを生成するM個の乗算回路と、

前記不要ピークの位置にノッチを形成する窓関数を複数の目標速度を想定して算出し、当該窓関数を前記M個の乗算回路の出力信号に乗算するM個の速度範囲考慮型複素窓関数乗算回路と、

前記M個の速度範囲考慮型複素窓関数乗算回路の出力信号に逆フーリエ変換処理を施すM個の I F F T 部とから構成されることを特徴とする請求項4記載のレーダ装置。

[請求項8]

前記L個のパルス圧縮部は、それぞれ、

前記受信側 A / D 変換器の出力信号にフーリエ変換処理を施して受信信号スペクトルを生成するM個の受信信号 F F T 部と、

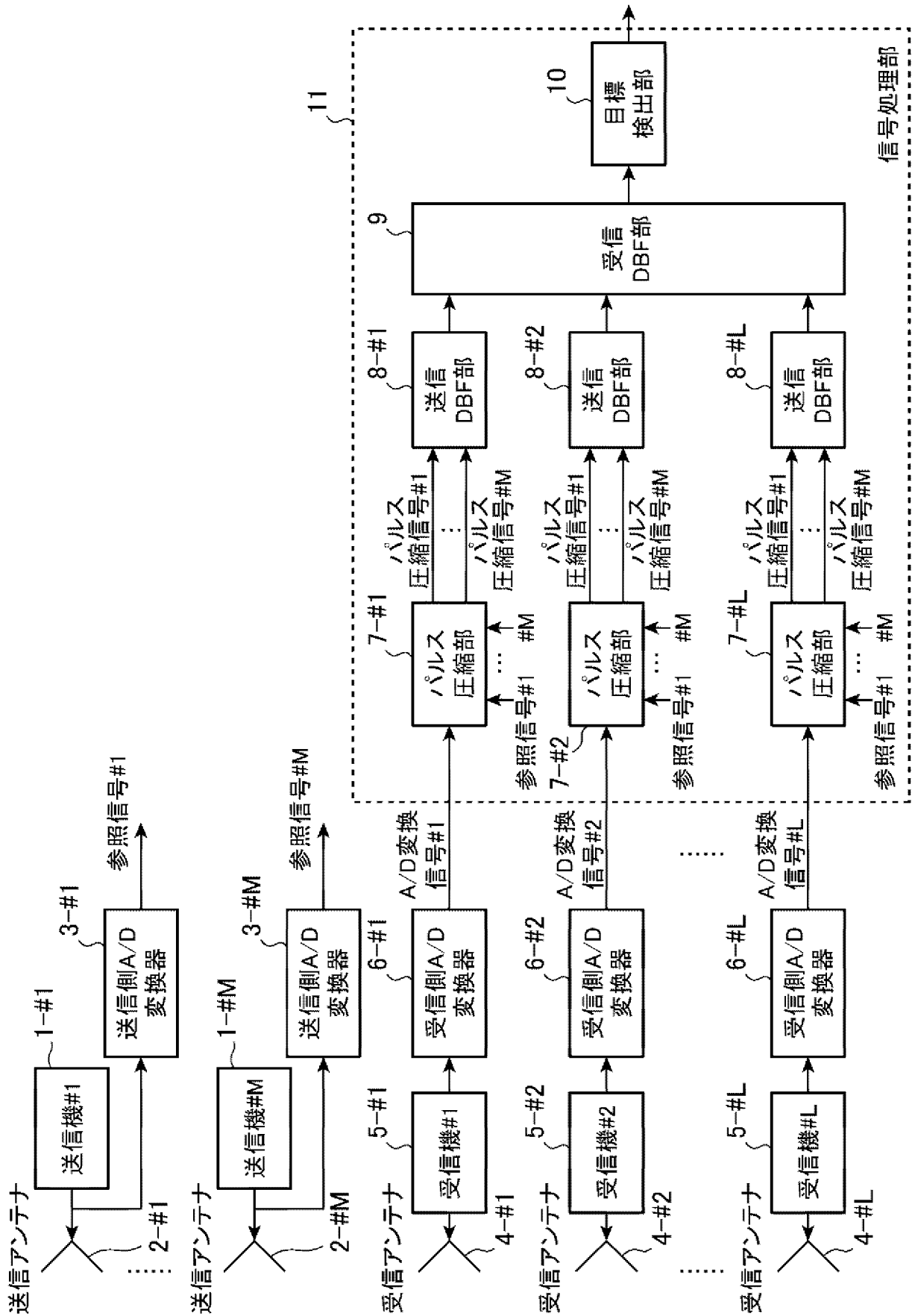
前記送信側 A / D 変換器の出力信号にフーリエ変換処理を施して参照信号スペクトルを生成するM個の参照信号 F F T 部と、

前記M個の受信信号 F F T 部の出力信号と前記M個の参照信号 F F T 部の出力信号から圧縮信号スペクトルを生成するM個の乗算回路と、

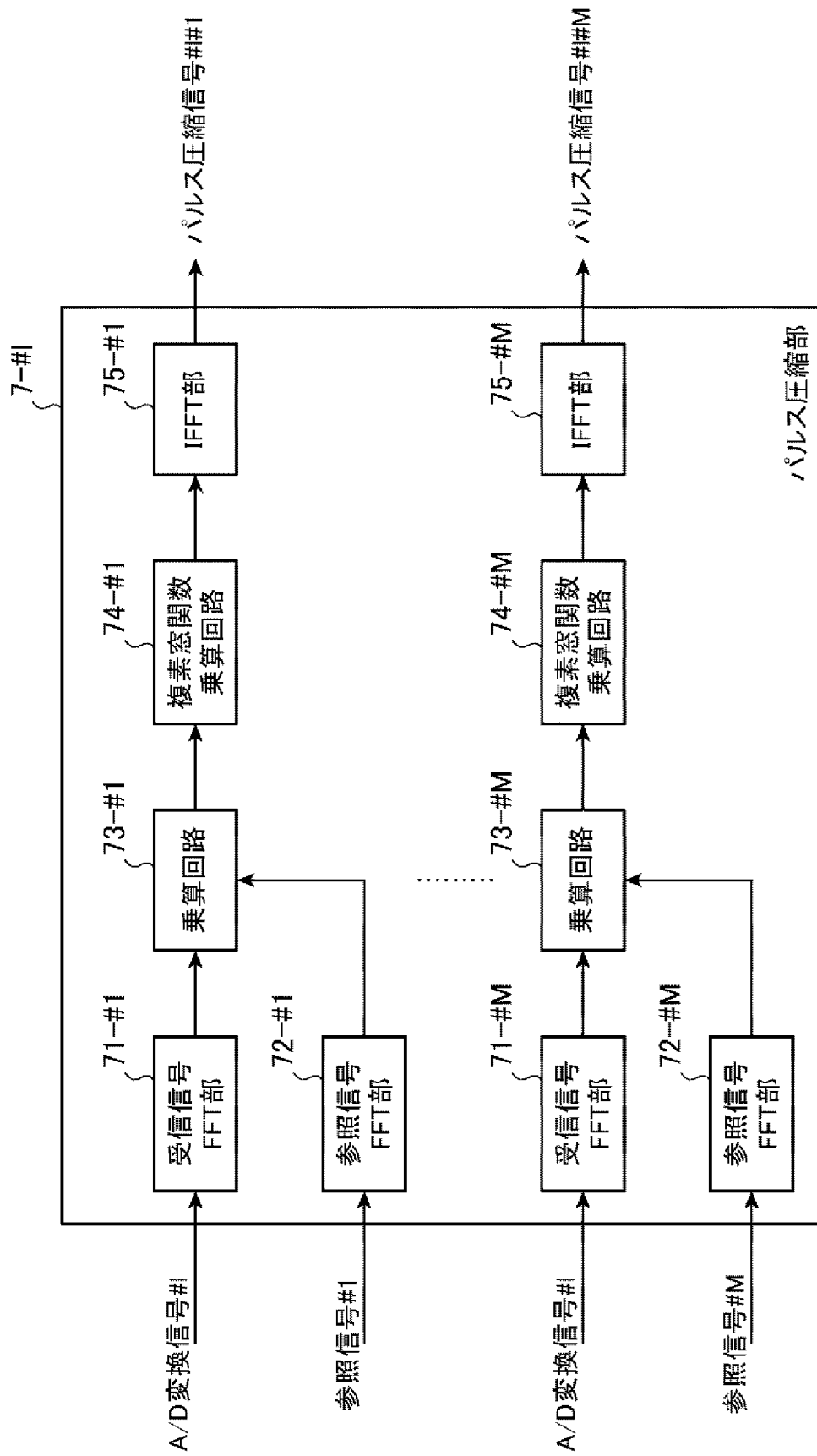
前記不要ピークの位置にノッチを形成する窓関数をサイドローブレベルを含めて算出し、当該窓関数を前記M個の乗算回路の出力信号に対して乗算するM個のサイドローブ考慮型複素窓関数乗算回路と、

前記M個のサイドローブ考慮型複素窓関数乗算回路の出力信号に逆フーリエ変換処理を施すM個の I F F T 部とから構成されることを特徴とする請求項4記載のレーダ装置。

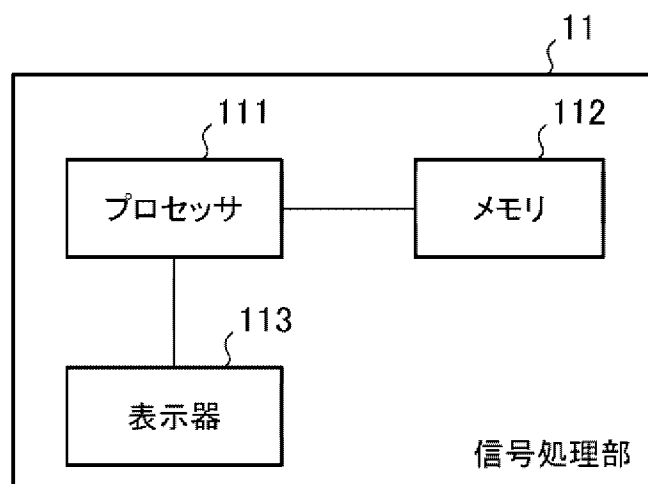
[図1]



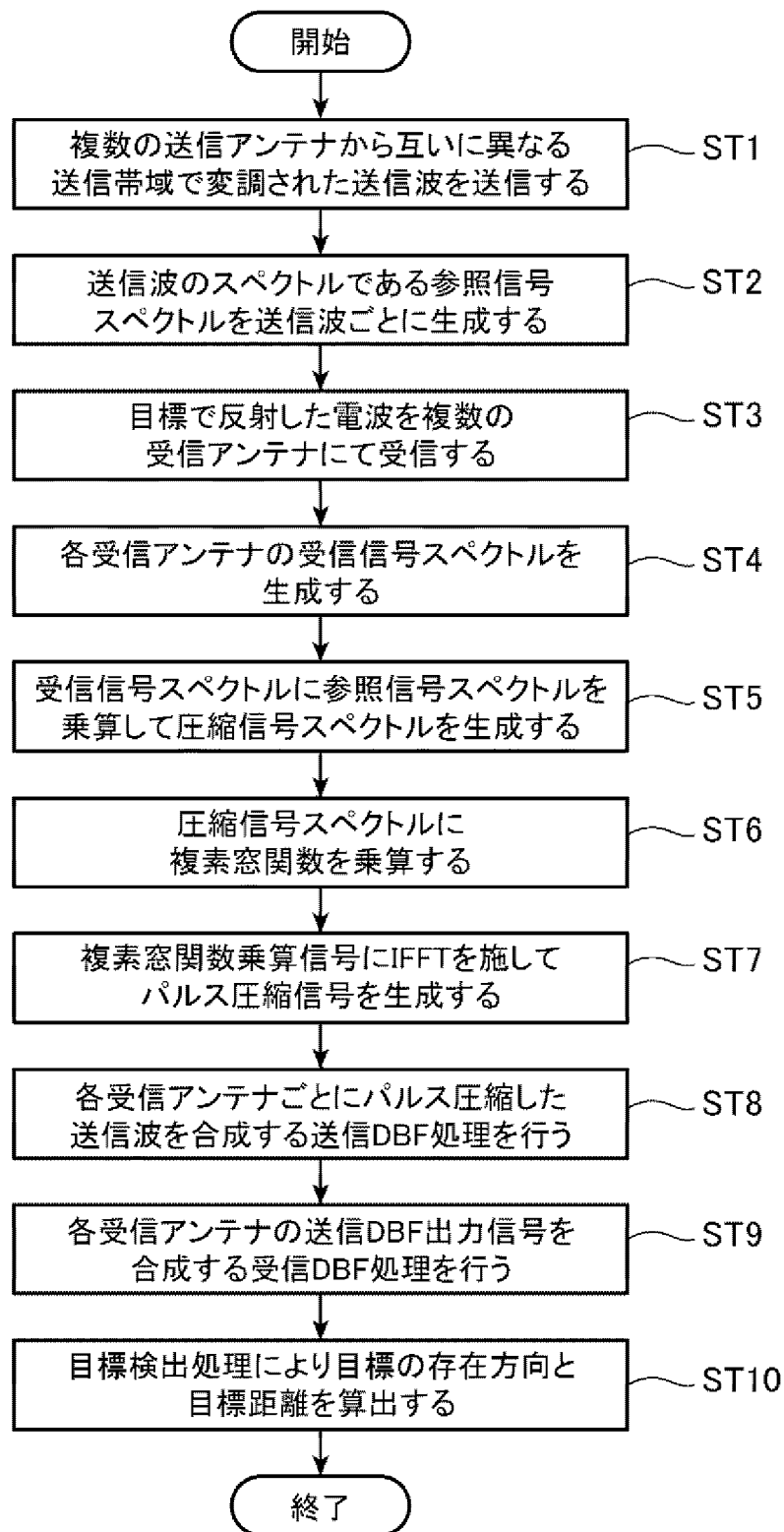
[図2]



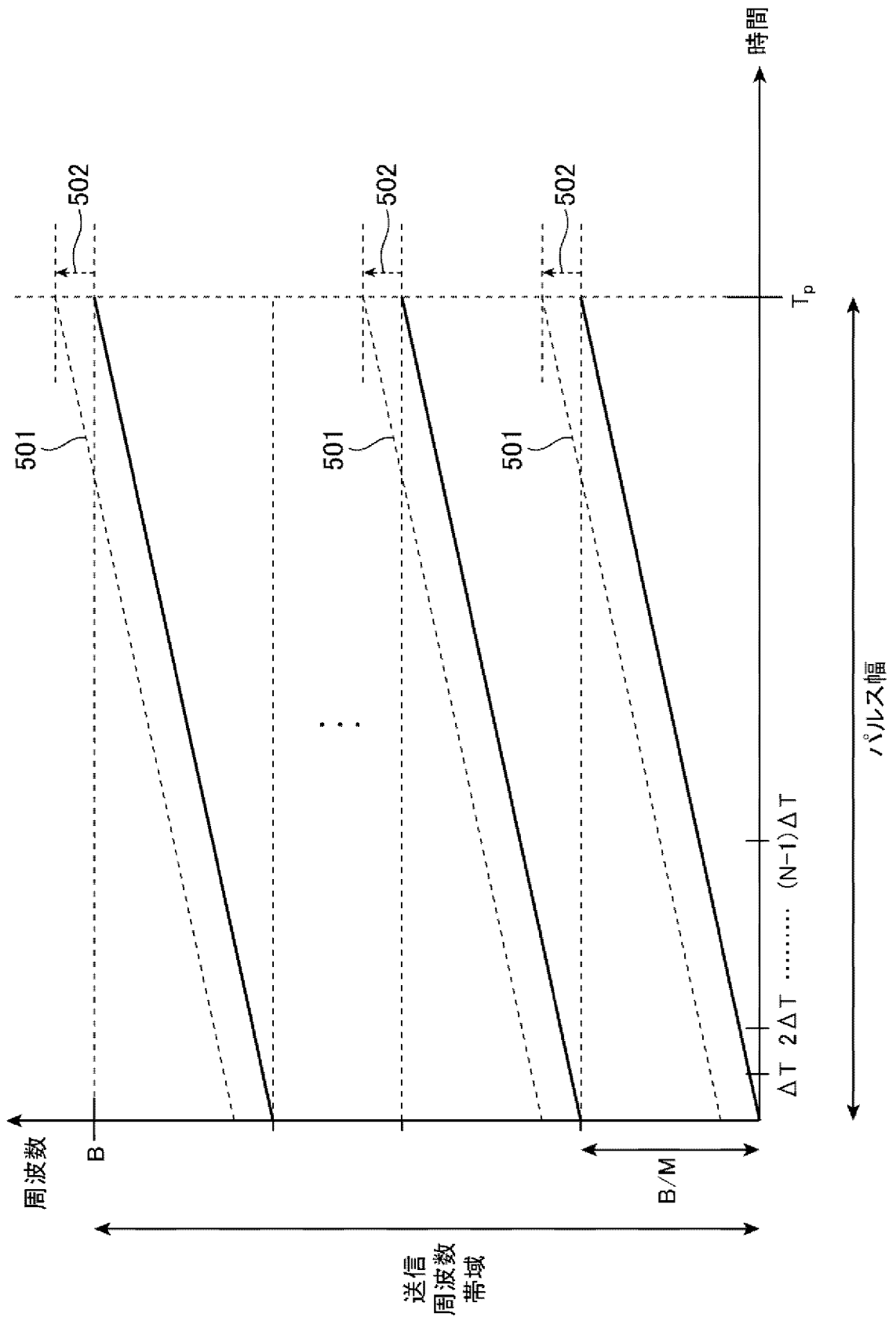
[図3]



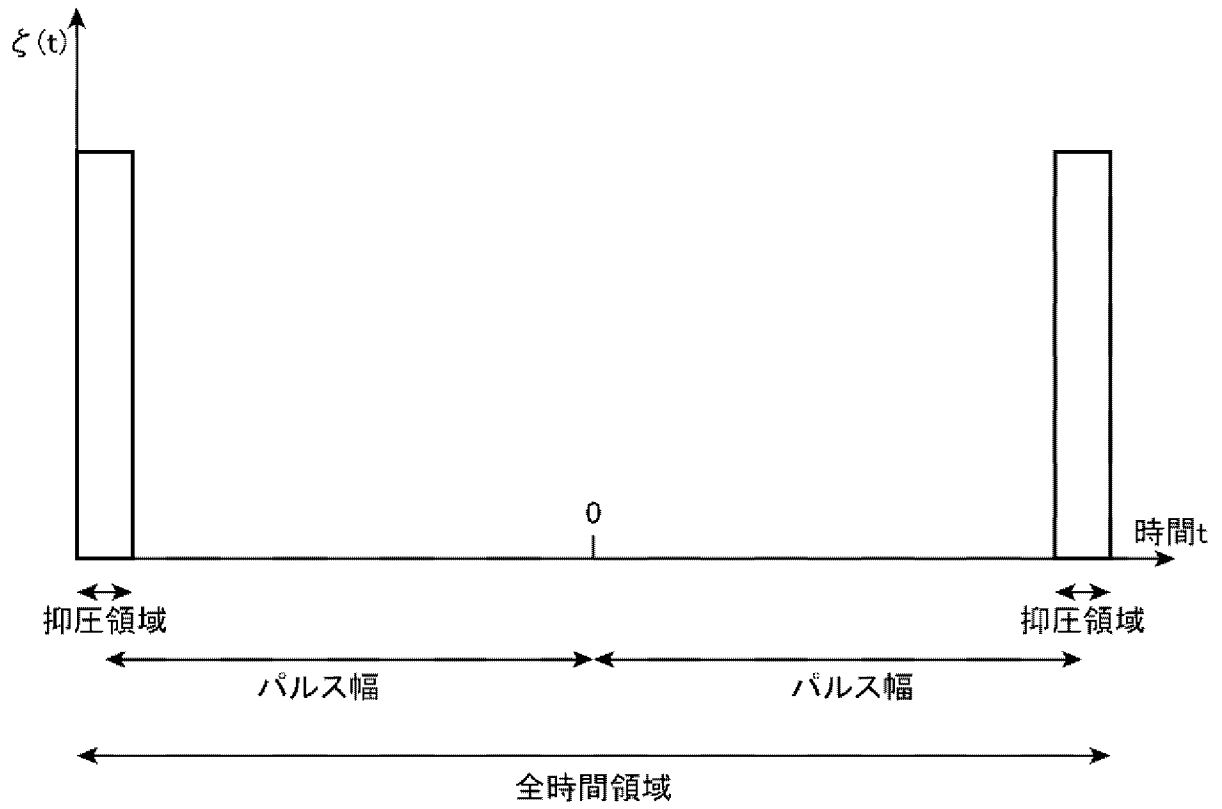
[図4]



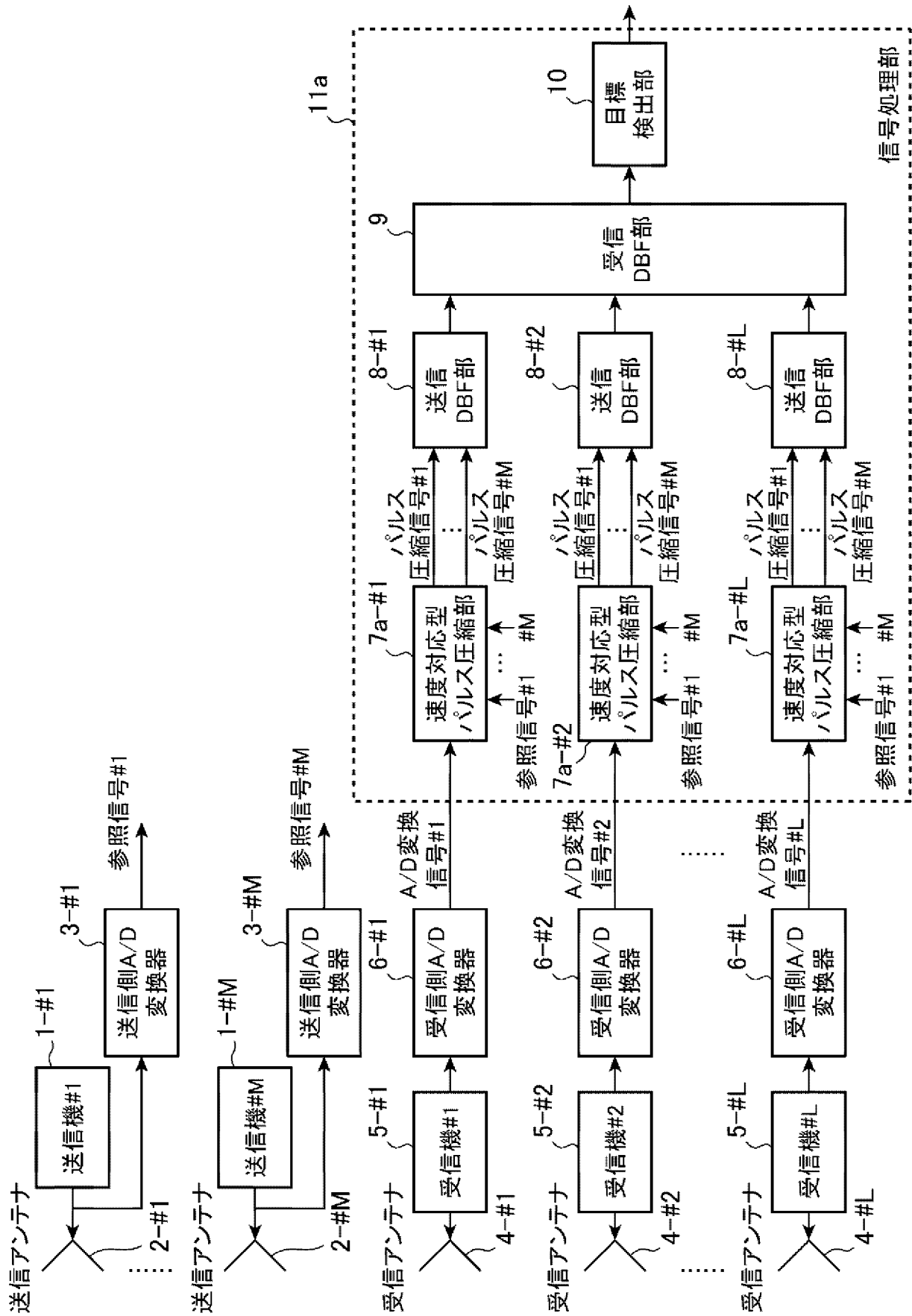
[図5]



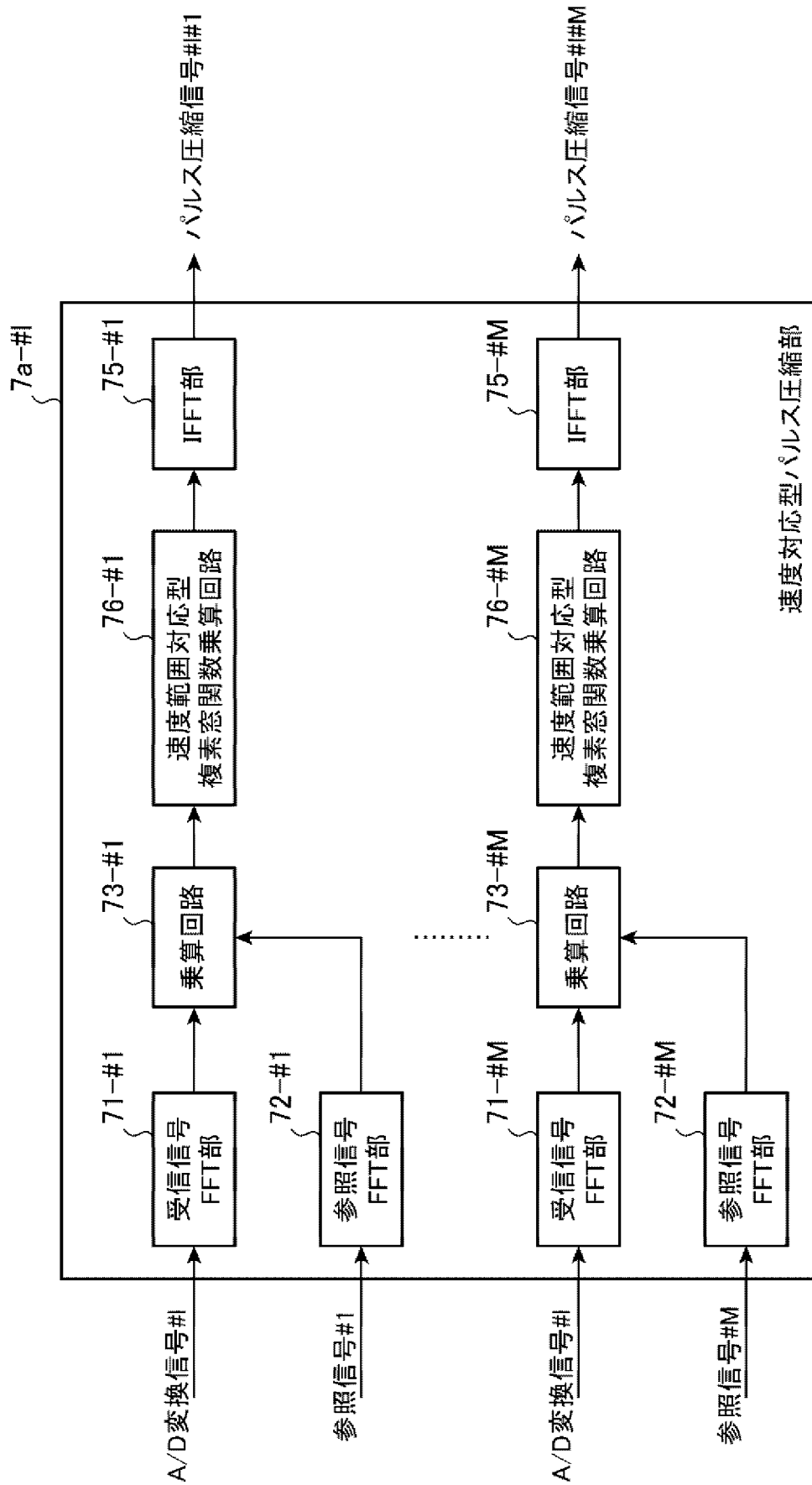
[図6]



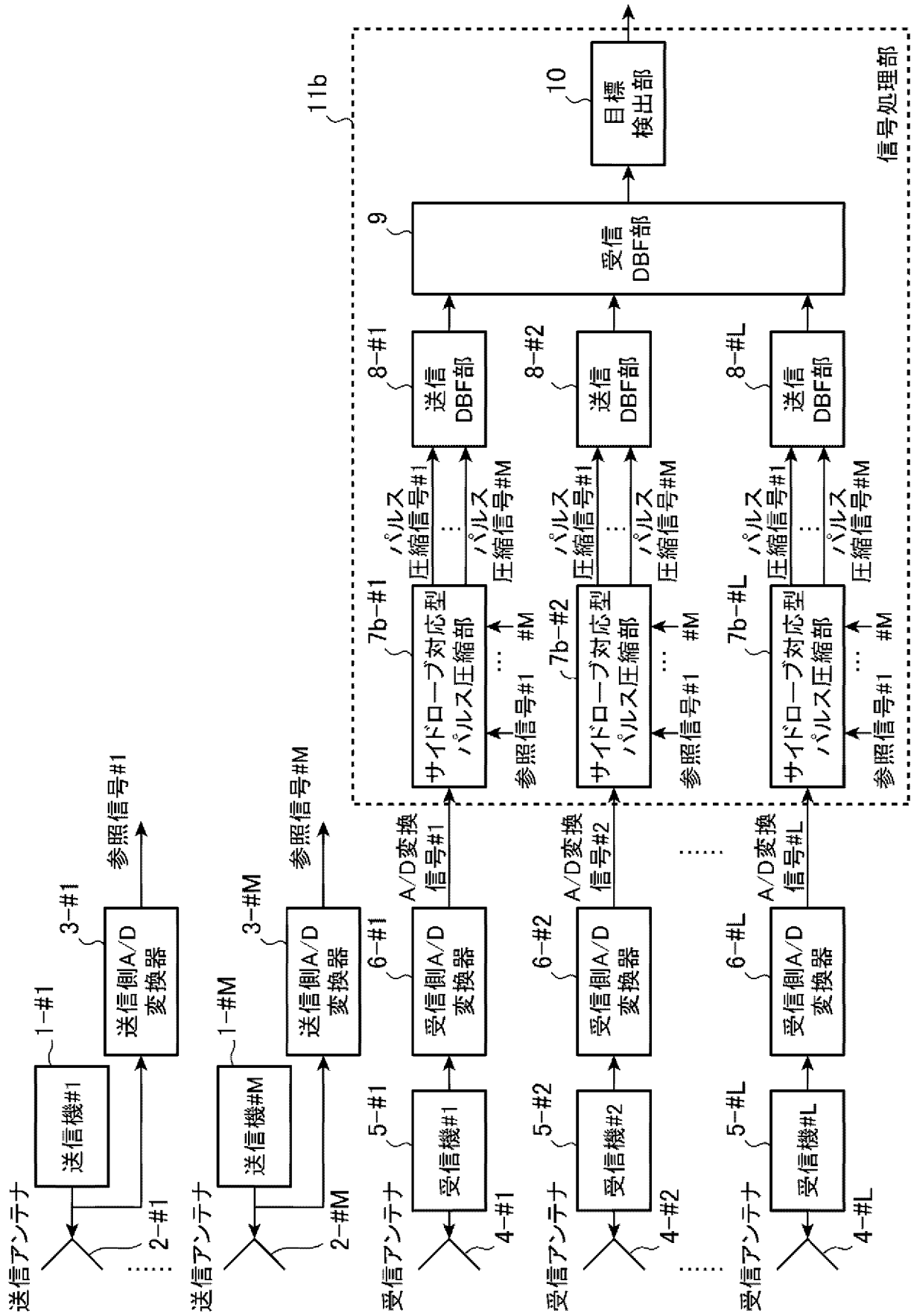
[図7]



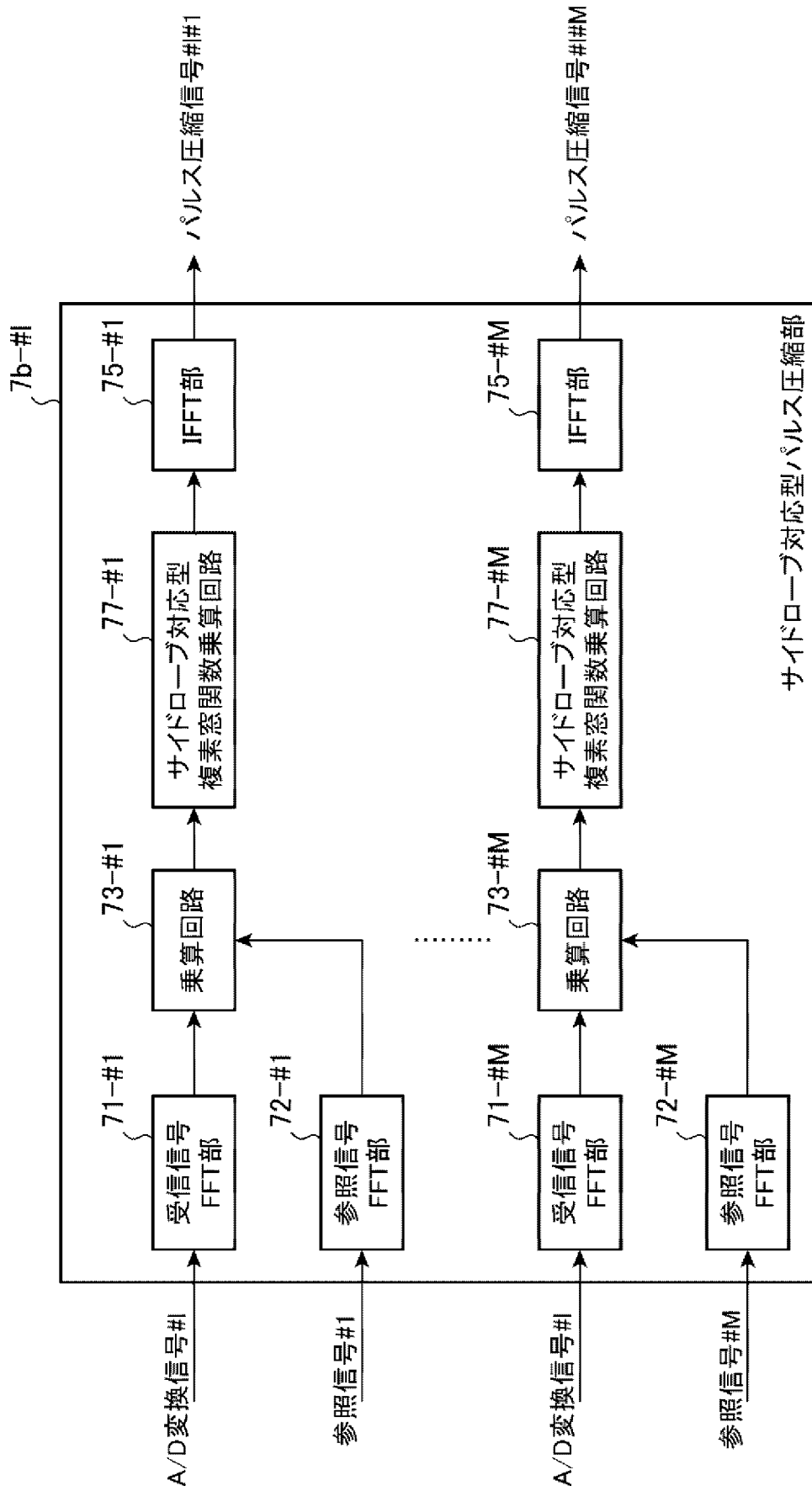
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/062327

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01S7/292(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)
G01S7/00-G01S7/42, G01S7/52-G01S7/64, G01S13/00-G01S13/95,
G01S15/00-G01S15/96

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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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 2013-68433 A (Fujitsu Ltd.), 18 April 2013 (18.04.2013), paragraphs [0012] to [0090]; fig. 1 to 4 & US 2013/0069818 A1 paragraphs [0027] to [0091]; fig. 1 to 4 & EP 2573581 A1	1-3 4-8
Y A	JP 2009-84791 A (TOTO Ltd.), 23 April 2009 (23.04.2009), paragraphs [0039] to [0041]; fig. 4 to 5 (Family: none)	1-3 4-8
A	CN 101452073 B (UNIV TSINGHUA), 28 December 2011 (28.12.2011), entire text; all drawings (Family: none)	1-8

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

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 14 July 2016 (14.07.16)	Date of mailing of the international search report 26 July 2016 (26.07.16)
--	---

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/062327

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 2013-88313 A (Japan Radio Co., Ltd.), 13 May 2013 (13.05.2013), entire text; all drawings (Family: none)	1-8

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01S7/292(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 (IPC))

Int.Cl. G01S7/00-G01S7/42, G01S7/52-G01S7/64, G01S13/00-G01S13/95, G01S15/00-G01S15/96

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	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016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 A	JP 2013-68433 A (富士通株式会社) 2013.04.18, 段落[0012]-[0090], 図 1-4 & US 2013/0069818 A1, 段落[0027]-[0091], 図 1-4 & EP 2573581 A1	1-3 4-8
Y A	JP 2009-84791 A (TOTO株式会社) 2009.04.23, 段落[0039]-[0041], 図 4-5 (ファミリーなし)	1-3 4-8

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	の日の後に公表された文献
「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	「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
「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	「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
「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)	「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
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 14.07.2016	国際調査報告の発送日 26.07.2016
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号 100-8915 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) 三田村 陽平 電話番号 03-3581-1101 内線 3216
	2S 6001

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
A	CN 101452073 B (UNIV TSINGHUA) 2011. 12. 28, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-8
A	JP 2013-88313 A (日本無線株式会社) 2013. 05. 13, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-8