

(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
2016年6月23日(23.06.2016)



(10) 国際公開番号
WO 2016/098163 A1

- (51) 国際特許分類:
G01S 7/02 (2006.01) **G01S 13/42** (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/083150
- (22) 国際出願日: 2014年12月15日(15.12.2014)
- (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: 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). 鈴木 信弘(SUZUKI, Nobuhiro); 〒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12番4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, 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.

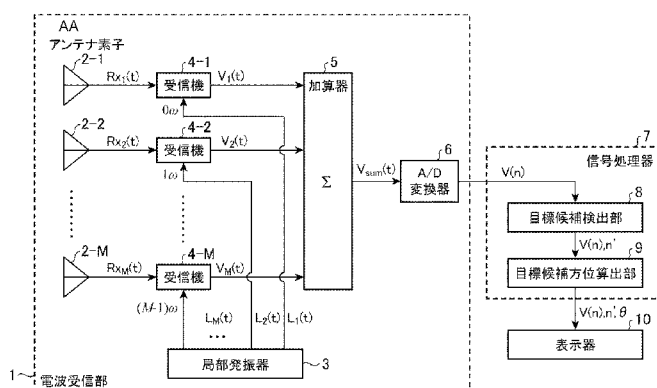
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロピア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ユーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, 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:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: RADAR DEVICE

(54) 発明の名称: レーダ装置



- 1 Radio receiver
3 Local oscillator
4-1, 4-2, 4-M Receiver
5 Adder
6 A/D converter
7 Signal processor
8 Target candidate detection unit
9 Target candidate direction calculation unit
10 Display
AA Antenna elements

(57) Abstract: A radar device is provided with a local oscillator 3 for oscillating M local oscillation signals $L_m(t)$ having frequencies differing by integer multiples of an angular frequency ω , receives 4-m for using the local oscillation signals $L_m(t)$ oscillated by the local oscillator 3 to convert the frequencies of the reception signals $Rx_m(t)$ of antenna elements 2-m and thereby generate reception video signals $V_m(t)$ for antenna element numbers m, an adder 5 for adding the reception video signals $V_1(t)$ to $V_M(t)$ generated by the M receivers 4-1 to 4-M and outputting the reception video signal $V_{sum}(t)$ resulting from the addition, and an A/D converter 6 for carrying out A/D conversion on the reception video signal $V_{sum}(t)$ output by the adder 5 and thereby generating a reception video signal $V(n)$ that is a digital signal.

(57) 要約: 角周波数 ω の整数倍だけ周波数が異なるM個の局部発振信号 $L_m(t)$ を発振する局部発振器3と、局部発振器3により発振された局部発振信号 $L_m(t)$ を用いて、アンテナ素子2-mの受信信号 $Rx_m(t)$ の周波数を変換することで、アンテナ素子番号mの受信ビデオ信号 $V_m(t)$ を生成する受信機4-mと、M台の受信機4-1~4-Mにより生成された受信ビデオ信号 $V_1(t) \sim V_M(t)$ を加算し、加算後の受信ビデオ信号 $V_{sum}(t)$ を出力する加算器5と、加算器5から出力された受信ビデオ信号 $V_{sum}(t)$ をA/D変換することで、デジタル信号である受信ビデオ信号 $V(n)$ を生成するA/D変換器6とを設ける。

号 $V_{sum}(t)$ をA/D変換することで、デジタル信号である受信ビデオ信号 $V(n)$ を生成するA/D変換器6とを設ける。

WO 2016/098163 A1

明 細 書

発明の名称：レーダ装置

技術分野

[0001] この発明は、観測対象である目標を搜索するレーダ装置に関するものである。

背景技術

[0002] 以下の非特許文献1には、DBF (Digital beam forming) 技術を用いるデジタル信号処理によって複数のアンテナパターンを形成することで、複数の方位に存在している目標候補を搜索することができるようにしているレーダ装置が開示されている。

このレーダ装置では、複数のアンテナ素子のそれぞれにA/D変換器を設置して、複数のアンテナ素子の受信信号をデジタル信号に変換し、複数のデジタル信号がデジタル信号処理器に与えられるようにしている。

このデジタル信号処理器は、複数のデジタル信号に対するデジタル信号処理を実施して、複数のアンテナパターンを形成することで、複数の方位に存在している目標候補を搜索することができるようにしている。

先行技術文献

非特許文献

[0003] 非特許文献1：電子情報通信学会、“改定レーダ技術”、11.5.2

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 従来のレーダ装置は以上のように構成されているので、複数の方位に存在している目標候補を搜索することができるが、アンテナ素子毎にA/D変換器を設置する必要があるため、ハードウェア規模が大きくなる。また、デジタル信号処理器がデジタル信号処理を実施することで、複数のアンテナパターンを形成する必要があるため、複数の方位に存在している目標候補を搜索するまでに膨大な量の演算処理を行う必要があるという課題があった。

[0005] この発明は上記のような課題を解決するためになされたもので、ハードウェア規模を低減することができるとともに、低演算量で複数の方位に存在している目標候補を探索することが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、電波を受信する複数のアンテナ素子と、周波数が異なる複数の局部発振信号を発振する局部発振器と、局部発振器により発振された複数の局部発振信号のうち、いずれか1つの局部発振信号を用いて、アンテナ素子の受信信号の周波数を変換する複数の受信機と、複数の受信機により周波数が変換された受信信号を加算する加算器と、加算器による加算後の受信信号をデジタル信号に変換し、そのデジタル信号を受信ビデオ信号として出力するアナログデジタル変換器とを設け、目標候補検出部が、アナログデジタル変換器から出力された受信ビデオ信号の信号電力に基づいて、観測対象である目標の候補を検出し、目標候補方位算出部が、目標候補検出部により目標の候補が検出された電波の受信時刻から目標候補の方位を算出するようにしたものである。

発明の効果

[0007] この発明によれば、電波を受信する複数のアンテナ素子と、周波数が異なる複数の局部発振信号を発振する局部発振器と、局部発振器により発振された複数の局部発振信号のうち、いずれか1つの局部発振信号を用いて、アンテナ素子の受信信号の周波数を変換する複数の受信機と、複数の受信機により周波数が変換された受信信号を加算する加算器と、加算器による加算後の受信信号をデジタル信号に変換し、そのデジタル信号を受信ビデオ信号として出力するアナログデジタル変換器とを設け、目標候補検出部が、アナログデジタル変換器から出力された受信ビデオ信号の信号電力に基づいて、観測対象である目標の候補を検出し、目標候補方位算出部が、目標候補検出部により目標の候補が検出された電波の受信時刻から目標候補の方位を算出するように構成したので、ハードウェア規模を低減することができる。

に、低演算量で複数の方位に存在している目標候補を検索することができる効果がある。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]この発明の実施の形態1による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1～3によるレーダ装置の信号処理器を示すハードウェア構成図である。

[図3]アンテナ素子2-1～2-Mにおける受信信号の位相の関係を示す説明図である。

[図4]アンテナ素子2-mの受信信号を示す説明図である。

[図5]加算器5による窓関数処理を示す説明図である。

[図6]角周波数とアンテナパターンの指向方位との関係を示す説明図である。

[図7]時分割に形成されるアンテナパターンを示す説明図である。

[図8]サンプリング番号 n' にある目標候補を示す説明図である。

[図9]この発明の実施の形態2によるレーダ装置を示す構成図である。

[図10]サンプリング番号 n' と周波数領域のサンプリング番号 k' にある目標候補を示す説明図である。

[図11]この発明の実施の形態3によるレーダ装置を示す構成図である。

[図12]パルス幅 $T_{p,ls}$ とパルス繰り返し周期 $T_{p,ri}$ の関係を示す説明図である。

[図13]角周波数 ω' の周期 T とパルス幅 $T_{p,ls}$ の関係を示す説明図である。

[図14]サンプリング番号 n' にある目標候補の相対距離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、添付の図面にしたがって説明する。

実施の形態1.

図1はこの発明の実施の形態1によるレーダ装置を示す構成図である。

図1において、電波受信部1はアンテナパターンの指向方向を時分割で切

り替えながら、複数の方位に存在している観測対象である目標の候補から放射された電波又は目標の候補により散乱された電波を受信して受信ビデオ信号を生成するアンテナ装置であり、 M 本のアンテナ素子 $2-1 \sim 2-M$ 、局部発振器 3、 M 台の受信機 $4-1 \sim 4-M$ 、加算器 5 及び A/D 変換器（アナログデジタル変換器）6 から構成されている。

[0010] アンテナ素子 $2-m$ ($m=1, 2, \dots, M$) は電波を受信し、その電波の受信信号 $Rx_m(t)$ を受信機 $4-m$ に出力する。

局部発振器 3 は予め設定されている角周波数 ω の整数倍だけ周波数が異なる M 個の局部発振信号 $L_m(t)$ を発振する。

受信機 $4-m$ は局部発振器 3 により発振された局部発振信号 $L_m(t)$ を用いて、アンテナ素子 $2-m$ の受信信号 $Rx_m(t)$ の周波数を変換（ダウンコンバート）することで、アンテナ素子番号 m の受信ビデオ信号 $V_m(t)$ を生成する。

[0011] 加算器 5 は M 台の受信機 $4-1 \sim 4-M$ により生成された受信ビデオ信号 $V_1(t) \sim V_M(t)$ を加算し、加算後の受信ビデオ信号 $V_{sum}(t)$ を出力する。

なお、加算器 5 は、 M 台の受信機 $4-1 \sim 4-M$ により生成された受信ビデオ信号 $V_1(t) \sim V_M(t)$ を加算する際、 M 個の受信ビデオ信号 $V_1(t) \sim V_M(t)$ に重みを付けて加算することで、アンテナパターンのサイドローブを抑圧する窓関数処理を実施するようにしてもよい。

A/D 変換器 6 は加算器 5 から出力された加算後の受信ビデオ信号 $V_{sum}(t)$ を A/D 変換して、その受信ビデオ信号 $V_{sum}(t)$ のデジタル信号である受信ビデオ信号 $V(n)$ を出力する。 n はサンプリング番号である。

[0012] 信号処理器 7 は目標候補検出部 8 と目標候補方位算出部 9 から構成されており、電波受信部 1 より出力された受信ビデオ信号 $V(n)$ から、各方位に存在している目標候補の搜索処理を実施する。

信号処理器 7 の目標候補検出部 8 は電波受信部 1 から出力された受信ビデオ信号 $V(n)$ の信号電力に基づく、例えば、CFAR (Constant

False Alarm Rate) 処理を実施することで目標候補を検出する。目標候補検出部 8 は目標候補を検出すると、その目標候補を検出した電波の受信時刻 $n' \Delta t$ を示す情報として、その目標候補のピーク電力に対応する時刻のサンプリング番号 n' を目標候補方位算出部 9 に出力する。 Δt は A/D 変換器 6 のサンプリング間隔である。

[0013] 信号処理器 7 の目標候補方位算出部 9 は目標候補検出部 8 から出力されたサンプリング番号 n' を用いて、目標候補の方位 θ' を算出する処理を実施する。

表示器 10 は例えば液晶ディスプレイなどから構成されており、信号処理器 7 から出力された受信ビデオ信号 $V(n)$ 、サンプリング番号 n' 及び目標候補の方位 θ などを検索結果として画面に表示する。

[0014] 図 1 の例では、信号処理器 7 の構成要素である目標候補検出部 8 及び目標候補方位算出部 9 のそれぞれが専用のハードウェア（例えば、CPU (Central Processing Unit) を実装している半導体集積回路、あるいは、ワンチップマイコンなど）で構成されているものを想定しているが、信号処理器 7 がコンピュータで構成されていてもよい。

図 2 は信号処理器 7 がコンピュータで構成される場合のハードウェア構成図であり、信号処理器 7 がコンピュータで構成される場合には、目標候補検出部 8 及び目標候補方位算出部 9 の処理内容を記述しているプログラムをコンピュータのメモリ 51 に格納し、当該コンピュータの CPU などのプロセッサ 52 がメモリ 51 に格納されているプログラムを実行するようにすればよい。

[0015] 次に動作について説明する。

図 3 はアンテナ素子 2-1 ~ 2-M における受信信号の位相の関係を示す説明図である。

図 3 では、アンテナ素子 2-1 ~ 2-M が等間隔に配置されている等間隔リニアアレーの例を示しているが、アンテナ素子 2-1 ~ 2-M は必ずしも等間隔に配置されている必要はない。

図3の例では、M本のアンテナ素子2-1～2-Mうち、アンテナ素子2-1が基準点に設置されており、アンテナ素子2-1～2-Mは、dの間隔をもって配置されている。

[0016] この実施の形態1では、アンテナ素子2-1～2-Mが、方位が θ で、相対距離が R_0 の位置に存在している目標から放射又は散乱された電波を入射する場合について説明する。

この場合、アンテナ素子2-mの受信信号 $Rx_m(t)$ は、下記の式(1)のように表される。

また、基準点に設置されているアンテナ素子2-1の受信信号 $Rx_0(t)$ は、下記の式(2)のように表される。ただし、 $Rx_0(t) = Rx_1(t)$ である。

$$\begin{aligned} Rx_m(t) &= Rx_0(t) \exp\left(-j2\pi f_0 \frac{(m-1)d}{c} \sin\theta\right) \\ (0 \leq t < T_{obs}) \\ (m = 1, 2, \dots, M) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} Rx_0(t) &= A_{Rx} \exp\left(j2\pi f_0 \left(t - \frac{R_0}{c}\right)\right) \\ (0 \leq t < T_{obs}) \end{aligned} \quad (2)$$

式(1)(2)において、tは時刻、 T_{obs} は電波の受信時刻、 f_0 は搬送波の周波数、Mはアンテナ素子の素子数、mはアンテナ素子番号、dはアンテナ素子間隔、cは光速、 A_{Rx} は受信信号 $Rx_0(t)$ の振幅を表している。

[0017] アンテナ素子2-m ($m = 1, 2, \dots, M$) は、相対距離が R_0 の位置に存在している目標から放射又は散乱された電波を入射すると、その電波の受信信号 $Rx_m(t)$ を受信機4-mに出力する。

図4はアンテナ素子2-mの受信信号を示す説明図であり、特に図4(a)は各アンテナ素子の間の角周波数間隔を示している。

[0018] 局部発振器3は、下記の式(3)に示すように、予め設定されている角周波数 ω の整数倍だけ周波数異なるM個の局部発振信号 $L_m(t)$ を発振する。

$$\begin{aligned}
L_m(t) &= A_L \exp(j2\pi f_0 t) \exp(-j(m-1)\omega t) \\
&= A_L \exp(j(2\pi f_0 - (m-1)\omega)t) \\
&= A_L \exp(j2\pi(f_0 - (m-1)\Delta f)t) \\
(0 \leq t < T_{obs}) \\
(m = 1, 2, \dots, M)
\end{aligned} \tag{3}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\Delta f \tag{4}$$

式（３）（４）において、 A_L は局部発振信号 $L_m(t)$ の振幅、 T は角周波数 ω の位相が一周期する時間、 Δf はアンテナ素子間の周波数間隔を表している。

[0019] 受信機４－ m （ $m = 1, 2, \dots, M$ ）は、局部発振器３が M 個の局部発振信号 $L_m(t)$ を発振すると、下記の式（５）に示すように、その局部発振信号 $L_m(t)$ を用いて、アンテナ素子２－ m の受信信号 $Rx_m(t)$ の周波数を変換（ダウンコンバート）することで、アンテナ素子番号 m の受信ビデオ信号 $V_m(t)$ を生成する。

$$\begin{aligned}
V_m(t) &= Rx_m(t)L_m^*(t) \\
&= A_v \exp\left(j2\pi f_0 \left(t - \frac{R_0}{c}\right)\right) \exp\left(-j2\pi f_0 \frac{(m-1)d}{c} \sin \theta\right) \\
&\quad \exp(-j2\pi(f_0 - (m-1)\Delta f)t) \\
&= A_{v,m} \exp\left(j2\pi f_0 \left(-\frac{R_0}{c}\right)\right) \exp\left(-j2\pi f_0 \frac{(m-1)d}{c} \sin \theta\right) \exp(j2\pi(m-1)\Delta ft) \\
&= A_{v,m} \exp\left(j2\pi f_0 \left(-\frac{R_0}{c}\right)\right) \exp\left(j2\pi \left(-f_0 \frac{(m-1)d}{c} \sin \theta + (m-1)\Delta ft\right)\right) \\
(0 \leq t < T_{obs}) \\
(m = 1, 2, \dots, M)
\end{aligned} \tag{5}$$

式（５）において、 $A_{v,m}$ はアンテナ素子番号 m の受信ビデオ信号 $V_m(t)$ の振幅、 $*$ は複素共役を表している。

[0020] 加算器５は、 M 台の受信機４－１～４－ M が受信ビデオ信号 $V_1(t) \sim V_M(t)$ を生成すると、下記の式（６）に示すように、その受信ビデオ信号 $V_1(t) \sim V_M(t)$ を加算し、加算後の受信ビデオ信号 $V_{sum}(t)$ を A/D

変換器 6 に出力する。

$$\begin{aligned} V_{sum}(t) &= \sum_{m=1}^M V_m(t) \\ (0 \leq t < T_{obs}) \\ (m = 1, 2, \dots, M) \end{aligned} \quad (6)$$

[0021] ここでは、加算器 5 が M 台の受信機 4-1 ～ 4-M の受信ビデオ信号 $V_1(t) \sim V_M(t)$ を単純に加算するようにしているが、下記の式 (7) に示すように、アンテナ素子 2-m の荷重 w_m を用いて、受信ビデオ信号 $V_1(t) \sim V_M(t)$ に重みを付けて加算することで、アンテナパターンのサイドローブを抑圧する窓関数処理を実施するようにしてもよい。

$$\begin{aligned} V_{sum}(t) &= \sum_{m=1}^M (w_m V_m(t)) \\ (0 \leq t < T_{obs}) \\ (m = 1, 2, \dots, M) \end{aligned} \quad (7)$$

アンテナ素子 2-m の荷重 w_m は、サイドローブレベルや信号対雑音比等に応じてハミング窓等を設定するものである。

図 5 は加算器 5 による窓関数処理を示す説明図である。

アンテナ素子 2-m の荷重 w_m を用いる窓関数処理を実施しない場合、図 5 (a) に示すように、大きなサイドローブがあるが、荷重 w_m を用いる窓関数処理を実施することで、図 5 (b) に示すように、サイドローブが抑圧される。

[0022] A/D 変換器 6 は、加算器 5 から加算後の受信ビデオ信号 $V_{sum}(t)$ を受けると、その受信ビデオ信号 $V_{sum}(t)$ を A/D 変換することで、下記の式 (8) で表されるデジタル信号である受信ビデオ信号 $V(n)$ を生成する。

$$\begin{aligned}
 V(n) &= \\
 &= A_v \exp\left(-j2\pi f_0 \frac{R_0}{c}\right) \sum_{m=1}^M \left(\exp\left(j2\pi \left(-f_0 \frac{(m-1)d}{c} \sin \theta + (m-1)\Delta f n \Delta t\right)\right) \right) \quad (8) \\
 &\quad (0 \leq t < T_{obs}) \\
 &\quad (n = 1, 2, \dots, N)
 \end{aligned}$$

式(8)において、 n はA/D変換器6のサンプリング番号、 N は電波受信時刻 T_{obs} 中のサンプリング点数、 Δt はサンプリング間隔である。

[0023] A/D変換器6は、受信ビデオ信号 $V(n)$ を生成すると、その受信ビデオ信号 $V(n)$ を信号処理器7に出力するが、信号処理器7の処理内容を説明する前に、電波受信部1の効果について説明する。

電波受信部1では、角周波数 ω の整数倍だけ周波数が異なる M 個の局部発振信号 $L_m(t)$ を用いて、アンテナ素子 $2-m$ の受信信号 $R_{x_m}(t)$ の周波数を変換(ダウンコンバート)している。

この受信信号 $R_{x_m}(t)$ の周波数変換は、式(3)及び式(5)に示すように、アンテナ素子間の位相が ωt の整数倍だけ変化するように制御していることに相当する。

[0024] 図6は角周波数とアンテナパターンの指向方位との関係を示しているが、角周波数 ω の整数倍だけ周波数が異なる M 個の局部発振信号 $L_m(t)$ を用いることで、アンテナパターンの指向方位を時分割に変化させることができる。

式(5)より、下記の式(9)を満足する場合、ビーム(アンテナパターン)を方位 θ に指向することができるため、時分割にビームを形成することができる。

$$-f_0 \frac{(m-1)d}{c} \sin \theta + (m-1)\Delta f t = 0 \quad (9)$$

図7は時分割に形成されるアンテナパターンを示す説明図である。

時刻 t のビーム(アンテナパターン)は、下記の式(10)によって算出することができる。

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{c}{f_0 d} \Delta f t \right) \quad (10)$$

[0025] DBFレーダでは、一般的にデジタル信号処理によって、各方位にアンテナパターンを形成する必要がある。即ち、指向する方位に応じて、各アンテナ素子の受信信号に対する荷重や指向位相を調整する必要がある。このため、複数の方位に存在している目標候補を探索するまでに膨大な量の演算処理を行う必要がある。

この実施の形態1では、DBF技術を用いるデジタル信号処理を実施することなく、電波受信部1が、角周波数 ω の整数倍だけ周波数が異なるM個の局部発振信号 $L_m(t)$ を用いて、アンテナ素子 $2-m$ の受信信号 $R_{x_m}(t)$ の周波数を変換することで、図7に示すようなアンテナパターンを時分割に形成することができるため、演算量を大幅に削減することができる。

また、電波受信部1は、1つのA/D変換器6を搭載すればよく、ハードウェア規模の増大を回避することができる。図4(b)に示すように、式(3)及び式(5)から、受信ビデオ信号は時間領域で各方位からの信号を得ることができる。したがって、時間と方位が対応するため、少ない演算量で目標方位を算出することが可能になる。

[0026] 以下、信号処理部7の処理内容を説明する。

信号処理部7の目標候補検出部8は、電波受信部1から受信ビデオ信号 $V(n)$ を受けると、その受信ビデオ信号 $V(n)$ の信号電力に基づく、例えば、CFAR処理を実施することで目標候補を検出する。CFAR処理自体は公知の技術であるため詳細な説明を省略する。

目標候補検出部8は、目標候補を検出すると、その目標候補を検出した電波の受信時刻 $n' \Delta t$ を示す情報として、その目標候補のピーク電力に対応する時刻のサンプリング番号 n' を目標候補方位算出部9に出力する。また、受信ビデオ信号 $V(n)$ を目標候補方位算出部9に出力する。

[0027] 目標候補方位算出部9は、目標候補検出部8からサンプリング番号 n' を受けると、下記の式(11)に示すように、そのサンプリング番号 n' を用

いて、目標候補の方位 θ' を算出し、目標候補の方位 θ' 、サンプリング番号 n' 及び受信ビデオ信号 $V(n)$ を表示器 10 に出力する。

$$\theta' = \sin^{-1} \left(\frac{c}{f_0 d} \Delta f n' \Delta t \right) \quad (11)$$

図 8 はサンプリング番号 n' にある目標候補を示す説明図である。

図 8 に示すように、角周波数 ω の整数倍だけ周波数が異なる M 個の局部発振信号 $L_m(t)$ を用いることで、時間と方位の関係が明確になり、時間領域で検出された目標の方位を少ない演算量で算出することが可能になる。

なお、モノパルス測角では、複数のアンテナパターンを用いる必要があり、また、複数の目標が存在する場合には測角が困難であるが、この実施の形態 1 では、複数の目標が存在する場合でも、上記の式 (11) によって方位を算出することができるため、少ない演算量で複数の目標の方位を算出することが可能になる。

[0028] 表示器 10 は、信号処理器 7 の目標候補方位算出部 9 から目標候補の方位 θ' 、サンプリング番号 n' 及び受信ビデオ信号 $V(n)$ を受けると、目標候補の方位 θ' 、サンプリング番号 n' 及び受信ビデオ信号 $V(n)$ を検索結果として画面に表示する。

[0029] 以上で明らかなように、この実施の形態 1 によれば、予め設定されている角周波数 ω の整数倍だけ周波数が異なる M 個の局部発振信号 $L_m(t)$ を発振する局部発振器 3 と、局部発振器 3 により発振された局部発振信号 $L_m(t)$ を用いて、アンテナ素子 $2-m$ の受信信号 $R_{x_m}(t)$ の周波数を変換することで、アンテナ素子番号 m の受信ビデオ信号 $V_m(t)$ を生成する受信機 $4-m$ と、 M 台の受信機 $4-1 \sim 4-M$ により生成された受信ビデオ信号 $V_1(t) \sim V_M(t)$ を加算し、加算後の受信ビデオ信号 $V_{sum}(t)$ を出力する加算器 5 と、加算器 5 から出力された受信ビデオ信号 $V_{sum}(t)$ を A/D 変換することで、デジタル信号である受信ビデオ信号 $V(n)$ を生成する A/D 変換器 6 とを設け、目標候補検出部 8 が、A/D 変換器 6 により生成された受信ビデオ信号 $V(n)$ の信号電力に基づいて目標候補を検出し、目標候

補方位算出部 9 が、目標候補検出部 8 により検出された目標候補のピーク電力に対応する時刻のサンプリング番号 n' を用いて、目標候補の方位 θ' を算出するように構成したので、ハードウェア規模を低減することができるとともに、低演算量で複数の方位に存在している目標候補を検索することができる効果を奏する。

[0030] 即ち、この実施の形態 1 によれば、DBF 技術を用いるデジタル信号処理を実施することなく、電波受信部 1 が、角周波数 ω の整数倍だけ周波数が異なる M 個の局部発振信号 $L_m(t)$ を用いて、アンテナ素子 $2-m$ の受信信号 $R_{x_m}(t)$ の周波数を変換することで、図 7 に示すようなアンテナパターンを時分割に形成することができるため、演算量を大幅に削減することができる。

また、電波受信部 1 が、1 つの A/D 変換器 6 を搭載すればよく、ハードウェア規模の増大を回避することができる。また、時間と方位の関係が明確であるため、少ない演算量で目標候補の方位 θ' を算出することができる。

[0031] この実施の形態 1 では、レーダ装置が電波を空間に放射する電波送信部を実装していないものを示しているが、電波送信部を実装しているレーダ装置であっても同様の効果を得ることができる。

また、この実施の形態 1 では、アンテナ素子 $2-1 \sim 2-M$ が等間隔に配置されている等間隔リニアアレーの例を示しているが、アンテナ素子 $2-1 \sim 2-M$ が 2 次元アレーを構成しているものであってもよく、同様の効果を得ることができる。

[0032] 実施の形態 2.

図 9 はこの発明の実施の形態 2 によるレーダ装置を示す構成図であり、図 9 において、図 3 と同一符号は同一または相当部分を示すので説明を省略する。

電波受信部 11 はアンテナパターンの指向方向を時分割で切り替えながら、電波送信部 13 から放射された後、目標候補によって散乱された電波を受信して受信ビデオ信号を生成するアンテナ装置であり、 M 本のアンテナ素子

2-1~2-M、局部発振器12、M台の受信機4-1~4-M、加算器5及びA/D変換器6から構成されている。

電波受信部11の局部発振器12は、図1の局部発振器3と同様にM個の局部発振信号 $L_1(t) \sim L_M(t)$ を発振して、M個の局部発振信号 $L_1(t) \sim L_M(t)$ を受信機4-1~4-Mに出力するほか、受信機4-1に出力する局部発振信号 $L_1(t)$ と同じ局部発振信号 $L_1(t)$ を電波送信部13の送信機14に出力する。

[0033] 電波送信部13は送信機14とアンテナ素子15から構成されており、送信機14は局部発振器12から出力された局部発振信号 $L_1(t)$ を用いて、送信信号を生成する。

アンテナ素子15は送信機14により生成された送信信号を電波として空間に放射する。

[0034] 信号処理部20は周波数領域変換部21、目標候補検出部22、目標候補方位算出部9及び目標候補相対速度算出部23から構成されている。

周波数領域変換部21は電波受信部1のA/D変換器6により生成された受信ビデオ信号 $V(n)$ を受信ビデオ信号 $V'(h, n_T)$ に変換してから、その受信ビデオ信号 $V'(h, n_T)$ に対する離散フーリエ変換処理を実施することで、その受信ビデオ信号 $V'(h, n_T)$ を周波数領域の信号である受信ビデオ信号 $F_V(k, n_T)$ に変換する処理を実施する。 n_T は角周波数 ω の位相が一周期する時間T内のサンプリング番号、 h は時間Tの繰り返し番号、 k は周波数領域のサンプリング番号である。

[0035] 目標候補検出部22は周波数領域変換部21により変換された受信ビデオ信号 $F_V(k, n_T)$ の信号電力に基づく、例えば、CFAR処理を実施することで目標候補を検出する。目標候補検出部22は目標候補を検出すると、その目標候補を検出した周波数を示す情報として、その目標候補のピーク電力に対応する周波数領域のサンプリング番号 k' を出力する。

目標候補相対速度算出部23は目標候補検出部22から出力された周波数領域のサンプリング番号 k' から目標候補の相対速度 v' を算出する処理を

実施する。

[0036] 図9の例では、信号処理器20の構成要素である周波数領域変換部21、目標候補検出部22、目標候補方位算出部9及び目標候補相対速度算出部23のそれぞれが専用のハードウェア（例えば、CPUを実装している半導体集積回路、あるいは、ワンチップマイコンなど）で構成されているものを想定しているが、信号処理器20がコンピュータで構成されていてもよい。

信号処理器20がコンピュータで構成される場合、図2に示すように、周波数領域変換部21、目標候補検出部22、目標候補方位算出部9及び目標候補相対速度算出部23の処理内容を記述しているプログラムをコンピュータのメモリ51に格納し、コンピュータのCPUなどのプロセッサ52がメモリ51に格納されているプログラムを実行するようにすればよい。

[0037] 次に動作について説明する。

電波受信部11の局部発振器12は、図1の局部発振器3と同様に、角周波数 ω の整数倍だけ周波数が異なる式(3)に示すM個の局部発振信号 $L_1(t) \sim L_M(t)$ を発振する。

局部発振器12は、M個の局部発振信号 $L_1(t) \sim L_M(t)$ を受信機4-1～4-Mに出力するとともに、受信機4-1に出力する局部発振信号 $L_1(t)$ と同じ下記の式(12)で表される局部発振信号 $L_1(t)$ を電波送信部13の送信機14に出力する。

$$\begin{aligned} L_1(t) &= A_L \exp(j2\pi f_0 t) \\ (0 \leq t < T_{obs}) \end{aligned} \quad (12)$$

[0038] 電波送信部13の送信機14は、局部発振器12から局部発振信号 $L_1(t)$ を受けると、その局部発振信号 $L_1(t)$ を用いて、送信信号を生成する。

これにより、電波送信部13のアンテナ素子15から送信信号が電波として空間に放射される。

アンテナ素子15から空間に放射された電波のうち、目標に反射されて戻ってきた電波は、アンテナ素子2-1～2-Mに受信される。

[0039] この場合、アンテナ素子2-mの受信信号 $R_{x_m}(t)$ は、上記の式(1)

のように表される。

ただし、この実施の形態2では、目標候補が移動目標である場合を想定しており、基準点に設置されているアンテナ素子2-1の受信信号 $Rx_0(t)$ は、下記の式(13)のように表される。 $Rx_0(t) = Rx_1(t)$ である。

$$Rx_0(t) = A_{Rx} \exp \left(j 2 \pi f_0 \left(t - \frac{2(R_0 - vt)}{c} \right) \right) \quad (13)$$

$$(0 \leq t < T_{obs})$$

式(13)において、 v は移動目標の相対速度である。

[0040] 受信機4-m ($m = 1, 2, \dots, M$)は、局部発振器3がM個の局部発振信号 $L_m(t)$ を発振すると、上記実施の形態1と同様に、その局部発振信号 $L_m(t)$ を用いて、アンテナ素子2-mの受信信号 $Rx_m(t)$ の周波数を変換(ダウンコンバート)することで、アンテナ素子番号mの受信ビデオ信号 $V_m(t)$ を生成する。

加算器5は、M台の受信機4-1~4-Mが受信ビデオ信号 $V_1(t) \sim V_M(t)$ を生成すると、上記実施の形態1と同様に、その受信ビデオ信号 $V_1(t) \sim V_M(t)$ を加算し、加算後の受信ビデオ信号 $V_{sum}(t)$ をA/D変換器6に出力する。

また、加算器5は、上記実施の形態1と同様に、受信ビデオ信号 $V_1(t) \sim V_M(t)$ に重みを付けて加算することで、アンテナパターンのサイドローブを抑圧する窓関数処理を実施するようにしてもよい。

A/D変換器6は、加算器5から加算後の受信ビデオ信号 $V_{sum}(t)$ を受けると、上記実施の形態1と同様に、その受信ビデオ信号 $V_{sum}(t)$ をA/D変換することで、上記の式(8)で表されるデジタル信号である受信ビデオ信号 $V(n)$ を生成する。

[0041] 信号処理器20の周波数領域変換部21は、電波受信部11のA/D変換器6から受信ビデオ信号 $V(n)$ を受けると、その受信ビデオ信号 $V(n)$ を下記の式(14)にしたがって受信ビデオ信号 $V'(h, n_T)$ に変換する

。

$$\begin{aligned} V'(h, n_T) &= V((h-1)H + n_T) \\ (h &= 1, 2, \dots, H) \\ (n_T &= 1, 2, \dots, N_T) \end{aligned} \quad (14)$$

$$N_T = \frac{T}{\Delta t} \quad (15)$$

$$H = \frac{T_{obs}}{T} \quad (16)$$

式(14)～(16)において、 n_T は角周波数 ω の位相が一周期する時間 T 内のサンプリング番号、 N_T は角周波数 ω の位相が一周期する時間 T 内のサンプリング点数、 h は時間 T の繰り返し番号、 H は電波の受信時刻 T_{obs} 内の時間 T の繰り返し数である。

[0042] また、周波数領域変換部21は、その受信ビデオ信号 $V'(h, n_T)$ に対する離散フーリエ変換処理を実施することで、下記の式(17)に示すように、その受信ビデオ信号 $V'(h, n_T)$ を周波数領域の信号である受信ビデオ信号 $F_V(k, n_T)$ に変換する。

$$\begin{aligned} F_V(k, n_T) &= \sum_{h=0}^{H-1} V'(h, n_T) \exp\left(-j2\pi \frac{h}{H_{FFT}} k\right) \\ (n_T &= 1, 2, \dots, N_T) \\ (k &= 0, 1, \dots, H_{FFT}-1) \end{aligned} \quad (17)$$

式(17)において、 H_{FFT} は周波数領域変換点数、 k は周波数領域のサンプリング番号である。

周波数領域変換部21では、離散フーリエ変換を用いて、周波数領域の信号に変換しているため、受信信号をコヒーレント積分する効果があり、SNR(Signal to Noise Ratio: 信号対雑音比)が向上する。

[0043] 信号処理器20の目標候補検出部22は、周波数領域変換部21から周波数領域の信号である受信ビデオ信号 $F_V(k, n_T)$ を受けると、その受信ビデオ信号 $F_V(k, n_T)$ の信号電力に基づく、例えば、CFAR処理を実施

することで目標候補を検出する。

目標候補検出部 22 は、目標候補を検出すると、その目標候補を検出した周波数を示す情報として、その目標候補のピーク電力に対応する周波数領域のサンプリング番号 k' と、そのサンプリング番号 k' に対応するサンプリング番号 n' （目標候補を検出した電波の受信時刻を示す番号）を目標候補方位算出部 9 に出力する。また、受信ビデオ信号 $F_v(k, n_T)$ を目標候補方位算出部 9 に出力する。

[0044] 信号処理器 20 の目標候補方位算出部 9 は、目標候補検出部 22 からサンプリング番号 n' を受けると、上記実施の形態 1 と同様に、そのサンプリング番号 n' を用いて、目標候補の方位 θ' を算出し、目標候補の方位 θ' 、サンプリング番号 k' 、サンプリング番号 n' 及び受信ビデオ信号 $F_v(k, n_T)$ を目標候補相対速度算出部 23 に出力する。

[0045] 信号処理器 20 の目標候補相対速度算出部 23 は、目標候補方位算出部 9 から周波数領域のサンプリング番号 k' を受けると、下記の式 (18) に示すように、そのサンプリング番号 k' から目標候補の相対速度 v' を算出し、その目標候補の相対速度 v' 、目標候補の方位 θ' 、サンプリング番号 k' 、サンプリング番号 n' 及び受信ビデオ信号 $F_v(k, n_T)$ を表示器 10 に出力する。

$$v' = k' \Delta v_{\text{samp}} \quad (18)$$

式 (18) において、 Δv_{samp} 速度サンプリング間隔である。

[0046] 表示器 10 は、信号処理器 20 の目標候補相対速度算出部 23 から相対速度 v' 、目標候補の方位 θ' 、サンプリング番号 k' 、サンプリング番号 n' 及び受信ビデオ信号 $F_v(k, n_T)$ を受けると、相対速度 v' 、目標候補の方位 θ' 、サンプリング番号 k' 、サンプリング番号 n' 及び受信ビデオ信号 $F_v(k, n_T)$ を検索結果として画面に表示する。

[0047] ここで、図 10 はサンプリング番号 n' と周波数領域のサンプリング番号 k' にある目標候補を示す説明図であり、表示器 10 には、図 10 に示すような検索結果が表示される。

信号処理部 20 では、各方位のアンテナパターンを形成することなく、目標候補の方位を算出することが可能であり、かつ、各方位になる目標の相対速度 v' を算出することが可能である。

[0048] 以上で明らかなように、この実施の形態 2 によれば、図 1 の電波受信部 1 に相当する電波受信部 11 を備えているので、上記実施の形態 1 と同様に、ハードウェア規模を低減することができるとともに、低演算量で複数の方位に存在している目標候補を搜索することができる効果を奏する。

また、この実施の形態 2 によれば、目標候補検出部 22 から出力された周波数領域のサンプリング番号 k' を用いて、目標候補の相対速度 v' を算出する目標候補相対速度算出部 23 を備えているので、低演算量で目標候補の相対速度 v' を算出することができ効果を奏する。

[0049] この実施の形態 2 では、レーダ装置が信号処理部 20 を備えている例を示したが、図 1 のレーダ装置が信号処理部 7 の代わりに、信号処理部 20 を備えているようにしてもよい。

また、この実施の形態 2 では、レーダ装置が電波送信部 13 を備えている例を示したが、図 1 のレーダ装置のように、電波送信部 13 を備えていなくてもよい。

[0050] 実施の形態 3.

図 11 はこの発明の実施の形態 3 によるレーダ装置を示す構成図であり、図 11 において、図 9 と同一符号は同一または相当部分を示すので説明を省略する。

電波受信部 31 はアンテナパターンの指向方向を時分割で切り替えながら、電波送信部 13 から放射された後、目標候補によって散乱された電波を受信して受信ビデオ信号を生成するアンテナ装置であり、M本のアンテナ素子 $2-1 \sim 2-M$ 、M台の受信機 $4-1 \sim 4-M$ 、局部発振器 32、パルス変調器 33、加算器 5 及び A/D 変換器 6 から構成されている。

電波受信部 31 の局部発振器 32 は予め設定されている角周波数 ω' の整数倍だけ周波数が異なる M 個の局部発振信号 $L'_1(t) \sim L'_M(t)$ を発

振して、 M 個の局部発振信号 $L'_1(t) \sim L'_M(t)$ を受信機 $4-1 \sim 4-M$ に出力するほか、受信機 $4-1$ に出力する局部発振信号 $L'_1(t)$ と同じ局部発振信号 $L'_1(t)$ をパルス変調器 33 に出力する。なお、角周波数 ω' の周期 T はパルス変調器 33 により生成されるパルス信号のパルス幅 T_{p1s} に設定され、角周波数 ω' は $2\pi/T_{p1s}$ の値（ 360 度を電波のパルス幅 T_{p1s} で除算された値）に設定されている。

パルス変調器 33 は局部発振器 32 から出力された局部発振信号 $L'_1(t)$ をパルス変調し、パルス変調後の局部発振信号 $L''_1(t)$ を送信機 14 に出力する。

[0051] 信号処理器 40 は周波数領域変換部 21 、目標候補検出部 22 、目標候補方位算出部 41 、目標候補相対速度算出部 23 及び目標候補相対距離算出部 42 から構成されている。

目標候補方位算出部 41 は目標候補検出部 22 から出力されたサンプリング番号 n' を用いて、目標候補の方位 θ'' を算出する処理を実施する。

目標候補相対距離算出部 42 は目標候補相対速度算出部 23 から出力されたサンプリング番号 n' を用いて、目標候補の相対距離 R' を算出する処理を実施する。

[0052] 図 11 の例では、信号処理器 40 の構成要素である周波数領域変換部 21 、目標候補検出部 22 、目標候補方位算出部 41 、目標候補相対速度算出部 23 及び目標候補相対距離算出部 42 のそれぞれが専用のハードウェア（例えば、CPUを実装している半導体集積回路、あるいは、ワンチップマイコンなど）で構成されているものを想定しているが、信号処理器 20 がコンピュータで構成されていてもよい。

信号処理器 40 がコンピュータで構成される場合、図 2 に示すように、周波数領域変換部 21 、目標候補検出部 22 、目標候補方位算出部 41 、目標候補相対速度算出部 23 及び目標候補相対距離算出部 42 の処理内容を記述しているプログラムをコンピュータのメモリ 51 に格納し、当該コンピュータのCPUなどのプロセッサ 52 がメモリ 51 に格納されているプログラム

を実行するようにすればよい。

[0053] 次に動作について説明する。

電波受信部 31 の局部発振器 32 は、下記の式 (19) に示すように、予め設定されている角周波数 ω' の整数倍だけ周波数が異なる M 個の局部発振信号 $L'_1(t) \sim L'_M(t)$ を発振する。

$$\begin{aligned} L'_m(t) &= A_L \exp(j2\pi f_0 t) \exp(-j(m-1)\omega' t) \\ &= A_L \exp(j(2\pi f_0 - (m-1)\omega') t) \\ &= A_L \exp(j2\pi(f_0 - (m-1)\Delta f') t) \quad (19) \\ (0 \leq t < T_{obs}) \\ (m = 1, 2, \dots, M) \end{aligned}$$

$$\omega' = \frac{2\pi}{T_{pls}} = 2\pi\Delta f' \quad (20)$$

式 (19) において、 A_L は局部発振信号 $L'_m(t)$ の振幅、 T_{pls} はパルス変調器 33 により生成されるパルス信号のパルス幅、 $\Delta f'$ はアンテナ素子間の周波数間隔を表している。

[0054] 局部発振器 32 は、M 個の局部発振信号 $L'_1(t) \sim L'_M(t)$ を受信機 4-1 ~ 4-M に出力し、受信機 4-1 に出力する局部発振信号 $L'_1(t)$ と同じ局部発振信号 $L'_1(t)$ をパルス変調器 33 に出力する。

ここで、図 12 はパルス幅 T_{pls} とパルス繰り返し周期 T_{pri} の関係を示す説明図であり、図 13 は角周波数 ω' の周期 T とパルス幅 T_{pls} の関係を示す説明図である。

局部発振器 32 では、図 13 (a) に示すように、角周波数 ω' の周期 T がパルス幅 T_{pls} に設定され、式 (20) に示すように、角周波数 ω' が $2\pi / T_{pls}$ の値に設定されている。

角周波数 ω' の周期 T がパルス幅 T_{pls} の 2 分の 1 に設定されている場合、図 13 (b) に示すように、パルス内に 2 つのピークが発生して、距離アンビギュリティが発生する問題が生じる。また、角周波数 ω' が大きくなるためサンプリング周波数も高くなり、演算量やハードウェア規模が大きくなる

。

これに対して、この実施の形態 3 では、角周波数 ω' の周期 T がパルス幅 T_{pls} に設定されているため、図 13 (a) に示すように、パルス幅内の距離アンビギュイティ（あいまいさ）がなくなり、演算量やハードウェア規模を抑えることができる。

[0055] パルス変調器 33 は、局部発振器 32 から局部発振信号 $L'_1(t)$ を受けると、下記の式 (21) に示すように、その局部発振信号 $L'_1(t)$ をパルス変調し、パルス変調後の局部発振信号 $L''_1(t)$ を送信機 14 に出力する。

。

$$L''_1(t) = \begin{cases} A_L \exp(j2\pi f_0 t), & hT_{pri} \leq t \leq hT_{pri} + T_{pls} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (21)$$

$(h = 0, 1, \dots, H' - 1)$

$$H' = \frac{T_{obs}}{T_{pri}} \quad (22)$$

式 (21) において、 h はヒット番号、 H' はヒット数である。

[0056] 電波送信部 13 の送信機 14 は、パルス変調器 33 からパルス変調後の局部発振信号 $L''_1(t)$ を受けると、その局部発振信号 $L''_1(t)$ を用いて、送信信号を生成する。

これにより、電波送信部 13 のアンテナ素子 15 から送信信号が電波として空間に放射される。

アンテナ素子 15 から空間に放射された電波のうち、目標に反射されて戻ってきた電波は、アンテナ素子 2-1 ~ 2-M に受信される。

[0057] アンテナ素子 2-1 ~ 2-M が、方位が θ 、相対距離が R_0 、相対距離が v の目標に散乱された電波を入射する場合、アンテナ素子 2-m の受信信号 $Rx'_m(t)$ は、下記の式 (23) のように表される。

また、基準点に設置されているアンテナ素子 2-1 の受信信号 $Rx'_0(t)$ は、下記の式 (24) のように表される。ただし、 $Rx'_0(t) = Rx'_1(t)$ である。

$$Rx'_m(t) = \begin{cases} Rx'_0(t) \exp\left(-j2\pi f_0 \frac{(m-1)d}{c} \sin \theta\right), \\ hT_{pri} + \frac{2R_0}{c} \leq t \leq hT_{pri} + \frac{2R_0}{c} + T_{pls} \\ 0, \text{ otherwise} \end{cases}$$

$$(0 \leq t < T_{obs})$$

$$(m = 1, 2, \dots, M)$$
(23)

$$Rx'_0(t) = \begin{cases} A_{R_x} \exp\left(j\left\{2\pi f_0 \left[t - \frac{2(R_0 - v_0 t)}{c}\right]\right\}\right), \\ hT_{pri} + \frac{2R_0}{c} \leq t \leq hT_{pri} + \frac{2R_0}{c} + T_{pls} \\ 0, \text{ otherwise} \end{cases}$$

$$(0 \leq t < T_{obs})$$
(24)

式(23)(24)において、 t は時刻、 T_{obs} は電波の受信時刻、 f_0 は送信周波数、 M はアンテナ素子の素子数、 m はアンテナ素子番号、 d はアンテナ素子間隔、 c は光速、 A_{R_x} は受信信号 $Rx'_0(t)$ の振幅を表している。

[0058] 受信機4-m($m = 1, 2, \dots, M$)は、局部発振器32がM個の局部発振信号 $L'_m(t)$ を発振すると、下記の式(25)に示すように、その局部発振信号 $L'_m(t)$ を用いて、アンテナ素子2-mの受信信号 $Rx'_m(t)$ の周波数を変換(ダウンコンバート)することで、アンテナ素子番号 m の受信ビデオ信号 $V''_m(t)$ を生成する。

$$V''_m(t) = Rx'_m(t) L'^*_m(t)$$

$$= \begin{cases} A_{V,m} \exp\left(j2\pi f_0 \left(-\frac{2(R_0 - vt)}{c}\right)\right) \exp\left(j2\pi \left(-f_0 \frac{(m-1)d}{c} \sin \theta + (m-1)\Delta f t\right)\right), \\ hT_{pri} + \frac{2R_0}{c} \leq t \leq hT_{pri} + \frac{2R_0}{c} + T_{pls} \\ 0, \text{ otherwise} \end{cases}$$

$$(0 \leq t < T_{obs})$$

$$(m = 1, 2, \dots, M)$$
(25)

式(25)において、 $A_{V,m}$ はアンテナ素子番号 m の受信ビデオ信号 $V''_m(t)$ の振幅、 $*$ は複素共役を表している。

[0059] 加算器 5 は、M 台の受信機 $4-1 \sim 4-M$ が受信ビデオ信号 $V''_1(t) \sim V''_M(t)$ を生成すると、上記実施の形態 1 と同様に、その受信ビデオ信号 $V''_1(t) \sim V''_M(t)$ を加算し、加算後の受信ビデオ信号 $V'_{sum}(t)$ を A/D 変換器 6 に出力する。

また、加算器 5 は、上記実施の形態 1 と同様に、受信ビデオ信号 $V''_1(t) \sim V''_M(t)$ に重みを付けて加算することで、アンテナパターンのサイドローブを抑圧する窓関数処理を実施するようにしてもよい。

A/D 変換器 6 は、加算器 5 から加算後の受信ビデオ信号 $V'_{sum}(t)$ を受けると、上記実施の形態 1 と同様に、その受信ビデオ信号 $V'_{sum}(t)$ を A/D 変換することで、上記の式 (8) で表されるデジタル信号である受信ビデオ信号 $V(n)$ を生成する。

[0060] 信号処理器 40 の周波数領域変換部 21 は、電波受信部 31 の A/D 変換器 6 から受信ビデオ信号 $V(n)$ を受けると、上記実施の形態 2 と同様に、その受信ビデオ信号 $V(n)$ を式 (14) にしたがって受信ビデオ信号 $V'(h, n_T)$ に変換してから、その受信ビデオ信号 $V'(h, n_T)$ に対する離散フーリエ変換処理を実施することで、その受信ビデオ信号 $V'(h, n_T)$ を周波数領域の信号である受信ビデオ信号 $F_V(k, n_T)$ に変換する。

信号処理器 40 の目標候補検出部 22 は、周波数領域変換部 21 から周波数領域の信号である受信ビデオ信号 $F_V(k, n_T)$ を受けると、上記実施の形態 2 と同様に、その受信ビデオ信号 $F_V(k, n_T)$ の信号電力に基づく、例えば、CFAR 処理を実施することで目標候補を検出する。

目標候補検出部 22 は、目標候補を検出すると、その目標候補を検出した周波数を示す情報として、その目標候補のピーク電力に対応する周波数領域のサンプリング番号 k' と、そのサンプリング番号 k' に対応するサンプリング番号 n' を目標候補方位算出部 41 に出力する。また、受信ビデオ信号 $F_V(k, n_T)$ を目標候補方位算出部 41 に出力する。

[0061] 信号処理器 40 の目標候補方位算出部 41 は、目標候補検出部 22 からサンプリング番号 n' を受けると、下記の式 (26) に示すように、そのサン

プリング番号 n' を用いて、目標候補の方位 θ'' を算出し、目標候補の方位 θ'' 、サンプリング番号 k' 、サンプリング番号 n' 及び受信ビデオ信号 $F_v(k, n_T)$ を目標候補相対速度算出部 23 に出力する。

$$\theta'' = \sin^{-1} \left(\frac{c}{f_0 d} \Delta f \bmod(n' \Delta t, T_{pls}) \right) \quad (26)$$

式 (26) において、 $\bmod(X, Y)$ は変数 X を変数 Y で除算した後の残余を示す数学記号である。

[0062] 信号処理器 40 の目標候補相対速度算出部 23 は、目標候補方位算出部 41 から周波数領域のサンプリング番号 k' を受けると、上記実施の形態 2 と同様に、そのサンプリング番号 k' から目標候補の相対速度 v' を算出し、その目標候補の相対速度 v' 、目標候補の方位 θ'' 、サンプリング番号 k' 、サンプリング番号 n' 及び受信ビデオ信号 $F_v(k, n_T)$ を目標候補相対距離算出部 42 に出力する。

[0063] 信号処理器 40 の目標候補相対距離算出部 42 は、目標候補相対速度算出部 23 からサンプリング番号 n' を受けると、下記の式 (27) に示すように、そのサンプリング番号 n' を用いて、目標候補の相対距離 R'_0 を算出し、その目標候補の相対距離 R'_0 、目標候補の相対速度 v' 、目標候補の方位 θ'' 、サンプリング番号 k' 、サンプリング番号 n' 及び受信ビデオ信号 $F_v(k, n_T)$ を表示器 10 に出力する。

$$R'_0 = \text{floor} \left(\frac{n' \Delta t}{T_{pls}} \right) \cdot \frac{c T_{pls}}{2} \quad (27)$$

式 (27) において、 $\text{floor}(x)$ は実数 x に対して x 以下の最大の整数を得る床関数である。

[0064] 表示器 10 は、信号処理器 40 の目標候補相対距離算出部 42 から目標候補の相対距離 R'_0 、目標候補の相対速度 v' 、目標候補の方位 θ'' 、サンプリング番号 k' 、サンプリング番号 n' 及び受信ビデオ信号 $F_v(k, n_T)$ を受けると、相対距離 R'_0 、相対速度 v' 、目標候補の方位 θ' 、サンプリング番号 k' 、サンプリング番号 n' 及び受信ビデオ信号 $F_v(k, n_T)$ を

搜索結果として画面に表示する。

ここで、図 14 はサンプリング番号 n' にある目標候補の相対距離を示す説明図であり、表示器 10 には、図 14 に示すような搜索結果が表示される。

[0065] 以上で明らかなように、この実施の形態 3 によれば、図 9 の電波受信部 11 に相当する電波受信部 31 を備えているので、上記実施の形態 2 と同様に、ハードウェア規模を低減することができるとともに、低演算量で複数の方位に存在している目標候補を搜索することができる効果を奏する。

また、この実施の形態 3 によれば、角周波数 ω' の周期 T がパルス幅 T_{pls} に設定されているため、パルス幅内の距離アンビギュリティがなくなり、目標候補の相対距離を算出する際の演算量やハードウェア規模を抑えることができる。

また、この実施の形態 3 によれば、サンプリング番号 n' を用いて、目標候補の相対距離 R'_0 を算出する目標候補相対距離算出部 42 を備えているので、低演算量で目標候補の相対距離 R'_0 を算出することができる効果を奏する。

[0066] 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

[0067] この発明に係るレーダ装置は、複数の方位に存在している目標候補を低演算量で搜索する必要があるものに適している。

符号の説明

[0068] 1 電波受信部、2-1 ~ 2-M アンテナ素子、3 局部発振器、4-1 ~ 4-M 受信機、5 加算器、6 A/D 変換器（アナログデジタル変換器）、7 信号処理器、8 目標候補検出部、9 目標候補方位算出部、10 表示器、11 電波受信部、12 局部発振器、13 電波送信部、14 送信機、15 アンテナ素子、20 信号処理器、21 周波数領域

変換部、22 目標候補検出部、23 目標候補相対速度算出部、31 電波受信部、32 局部発振器、33 パルス変調器、40 信号処理部、41 目標候補方位算出部、42 目標候補相対距離算出部、51 メモリ、52 プロセッサ。

請求の範囲

- [請求項1] 電波を受信する複数のアンテナ素子と、
周波数が異なる複数の局部発振信号を発振する局部発振器と、
前記局部発振器により発振された複数の局部発振信号のうち、いずれか1つの局部発振信号を用いて、前記アンテナ素子の受信信号の周波数を変換する複数の受信機と、
前記複数の受信機により周波数が変換された受信信号を加算する加算器と、
前記加算器による加算後の受信信号をデジタル信号に変換し、前記デジタル信号を受信ビデオ信号として出力するアナログデジタル変換器と、
前記アナログデジタル変換器から出力された受信ビデオ信号の信号電力に基づいて、観測対象である目標の候補を検出する目標候補検出部と、
前記目標候補検出部により目標の候補が検出された電波の受信時刻から目標候補の方位を算出する目標候補方位算出部と
を備えたレーダ装置。
- [請求項2] 前記局部発振器は、予め設定されている角周波数の整数倍だけ周波数が異なる複数の局部発振信号を発振す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] 電波を空間に放射する電波送信部を備え、
前記複数のアンテナ素子は、前記電波送信部から放射された後、前記目標に反射されて戻ってきた電波を受信す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] 前記局部発振器は、予め設定されている角周波数の整数倍だけ周波数が異なる複数の局部発振信号を発振することを特徴とする請求項3記載のレーダ装置。
- [請求項5] 電波をパルス変調するパルス変調器を備え、

前記電波送信部は、前記パルス変調器によりパルス変調された電波を空間に放射し、

前記局部発振器は、前記角周波数の周期が前記電波のパルス幅に設定されてい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] 電波をパルス変調するパルス変調器を備え、

前記電波送信部は、前記パルス変調器によりパルス変調された電波を空間に放射し、

前記局部発振器は、前記角周波数が360度を前記電波のパルス幅で除算された値に設定されてい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] 前記加算器は、前記複数の受信機により周波数が変換された受信信号を加算する際、複数の受信信号に重みを付けて加算することで、アンテナパターンのサイドローブを抑圧する窓関数処理を実施することを特徴とする請求項1記載のレーダ装置。

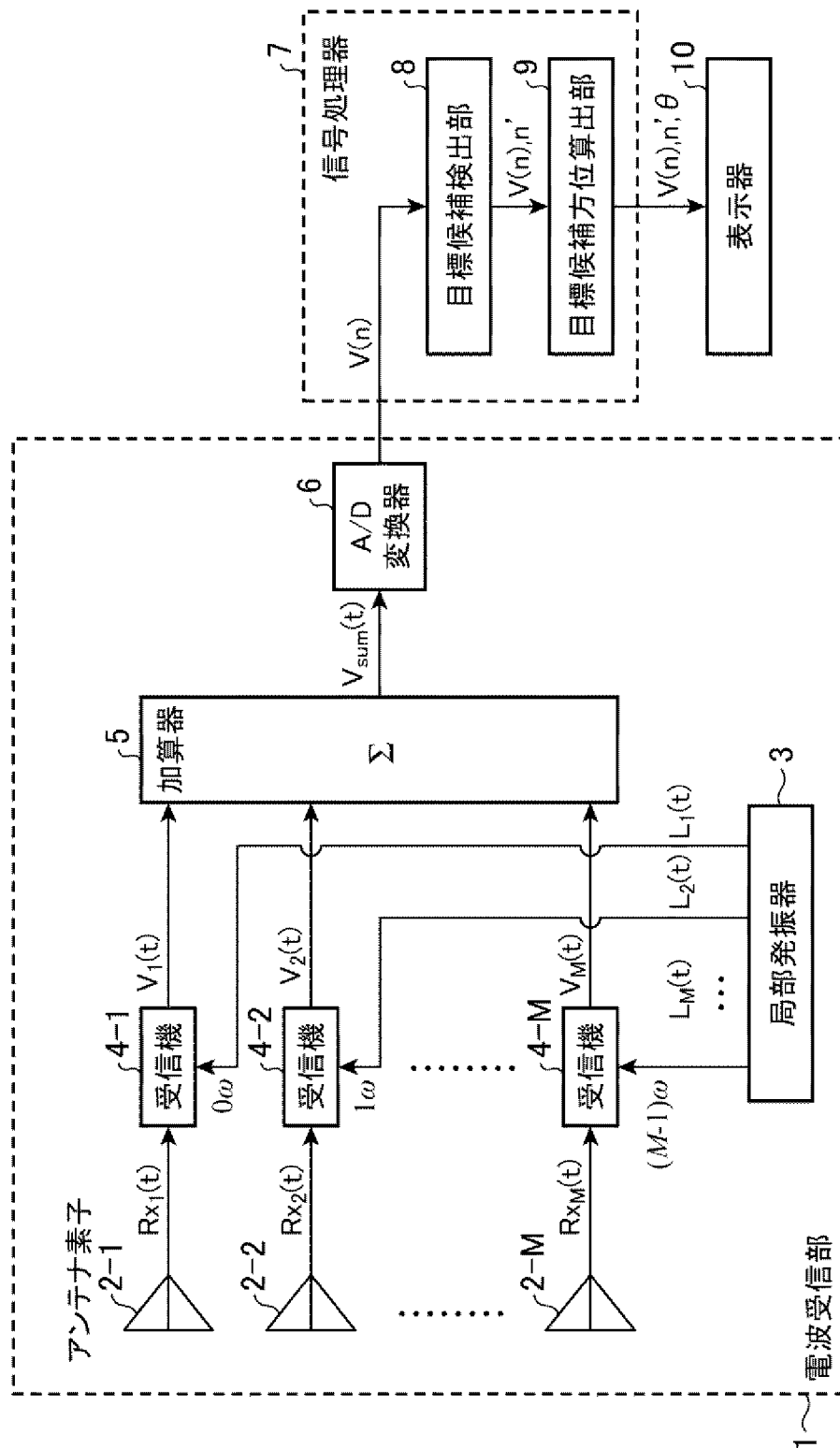
[請求項8] 前記アナログデジタル変換器から出力された受信ビデオ信号を周波数領域の信号に変換する周波数領域変換部を備え、

前記目標候補検出部は、前記周波数領域変換部により変換された周波数領域の信号の信号電力に基づいて、観測対象である目標の候補を検出することを特徴とする請求項1記載のレーダ装置。

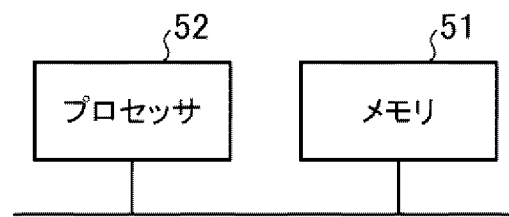
[請求項9] 前記目標候補検出部により目標の候補が検出された周波数から目標候補の相対速度を算出する目標候補相対速度算出部を備えたことを特徴とする請求項8記載のレーダ装置。

[請求項10] 前記目標候補検出部により目標の候補が検出された電波の受信時刻から目標候補の相対距離を算出する目標候補相対距離算出部を備えたことを特徴とする請求項1記載のレーダ装置。

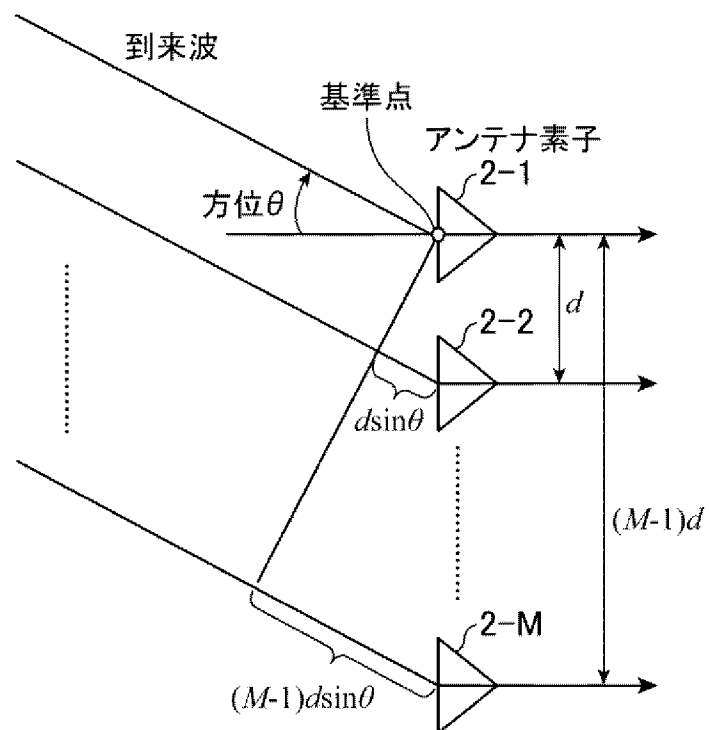
[図1]



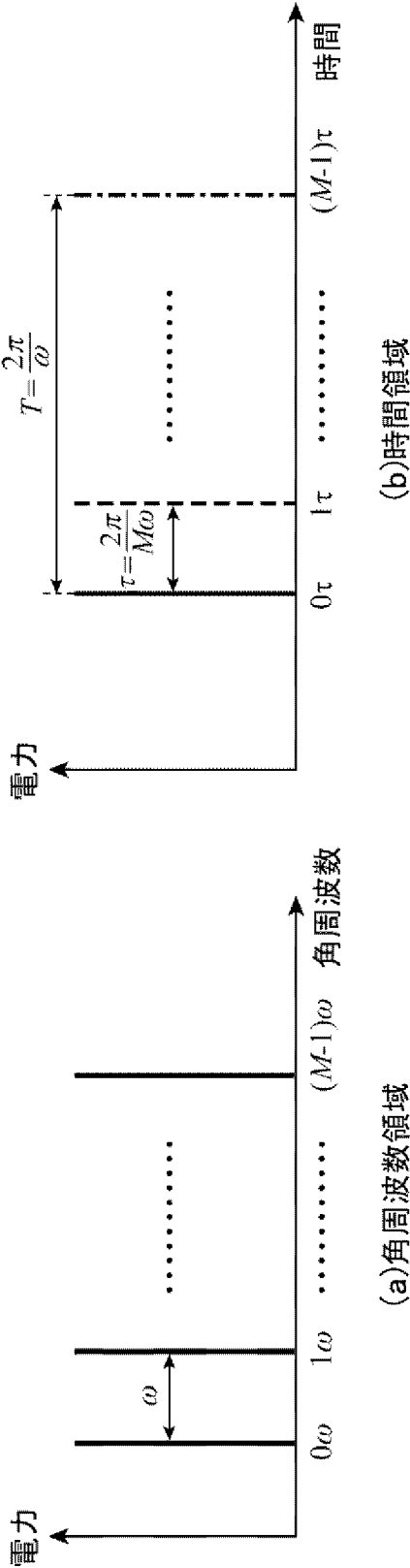
[図2]



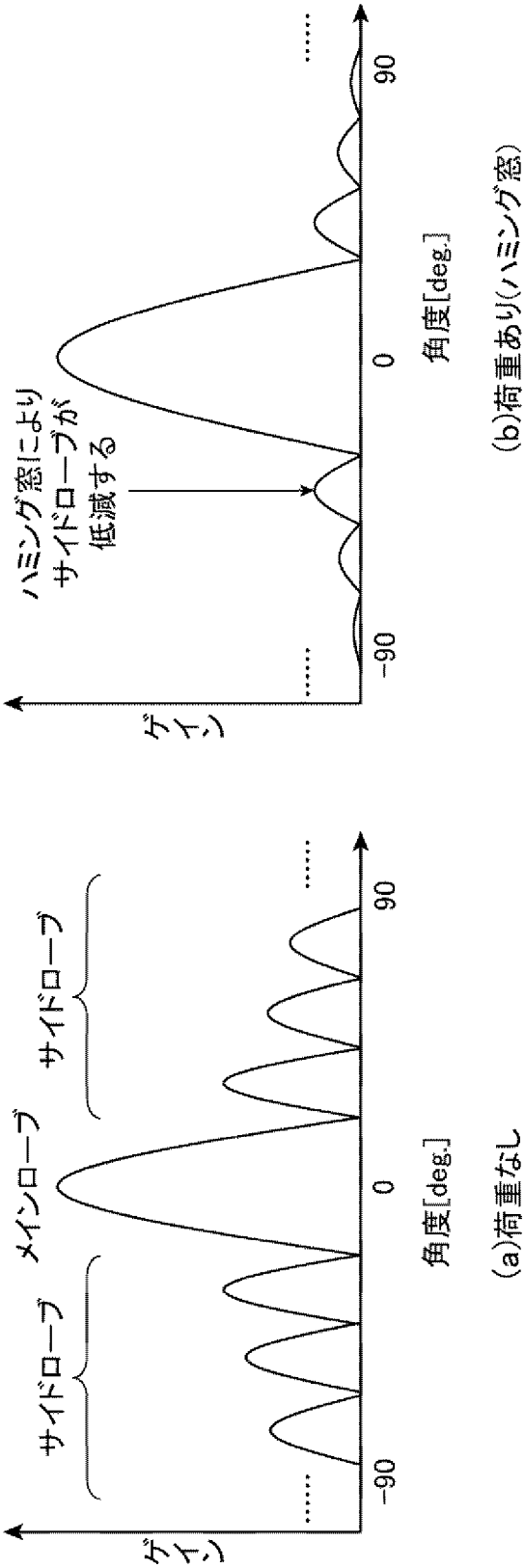
[図3]



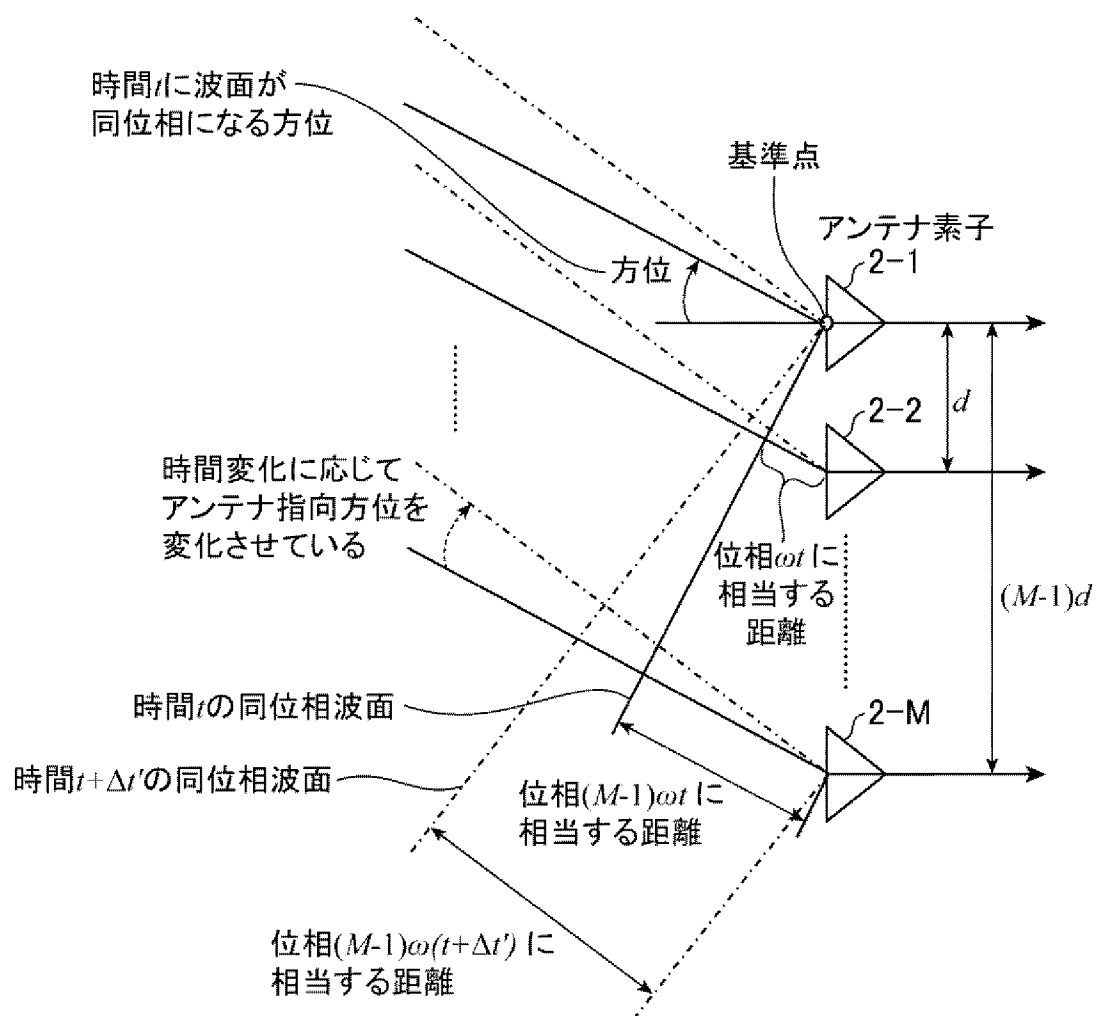
[図4]



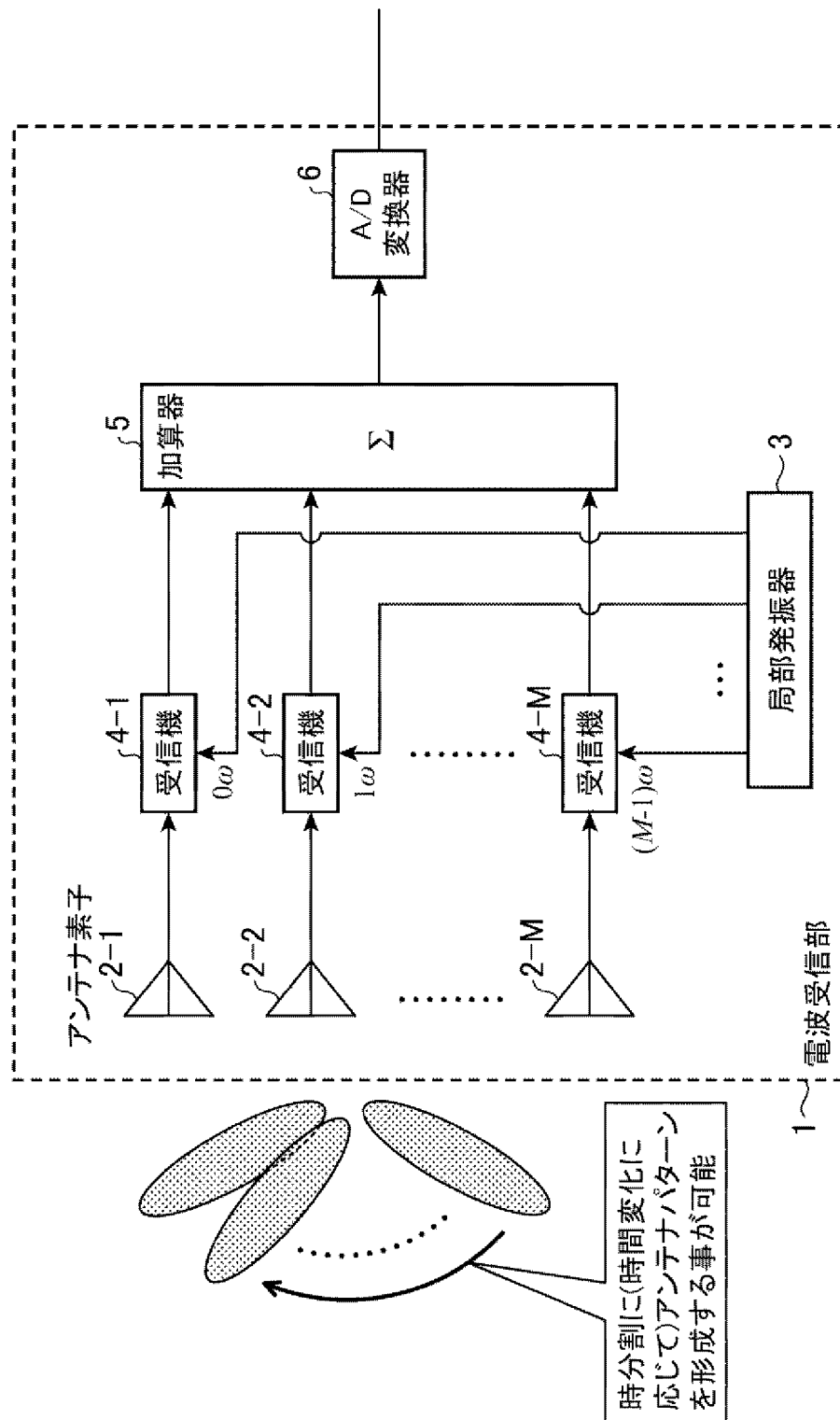
[図5]



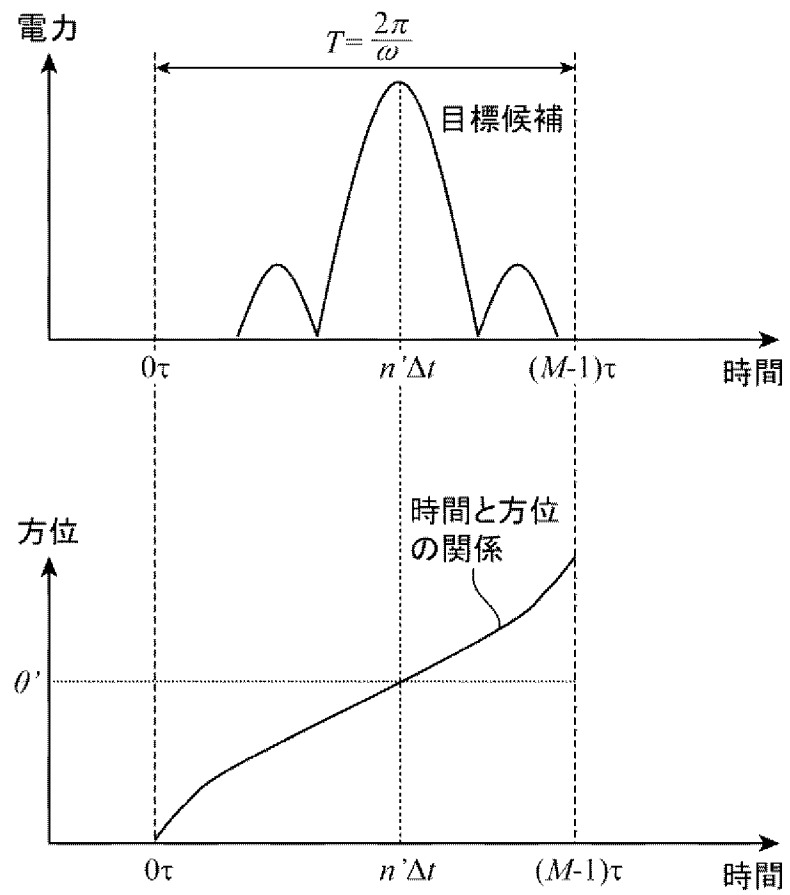
[図6]



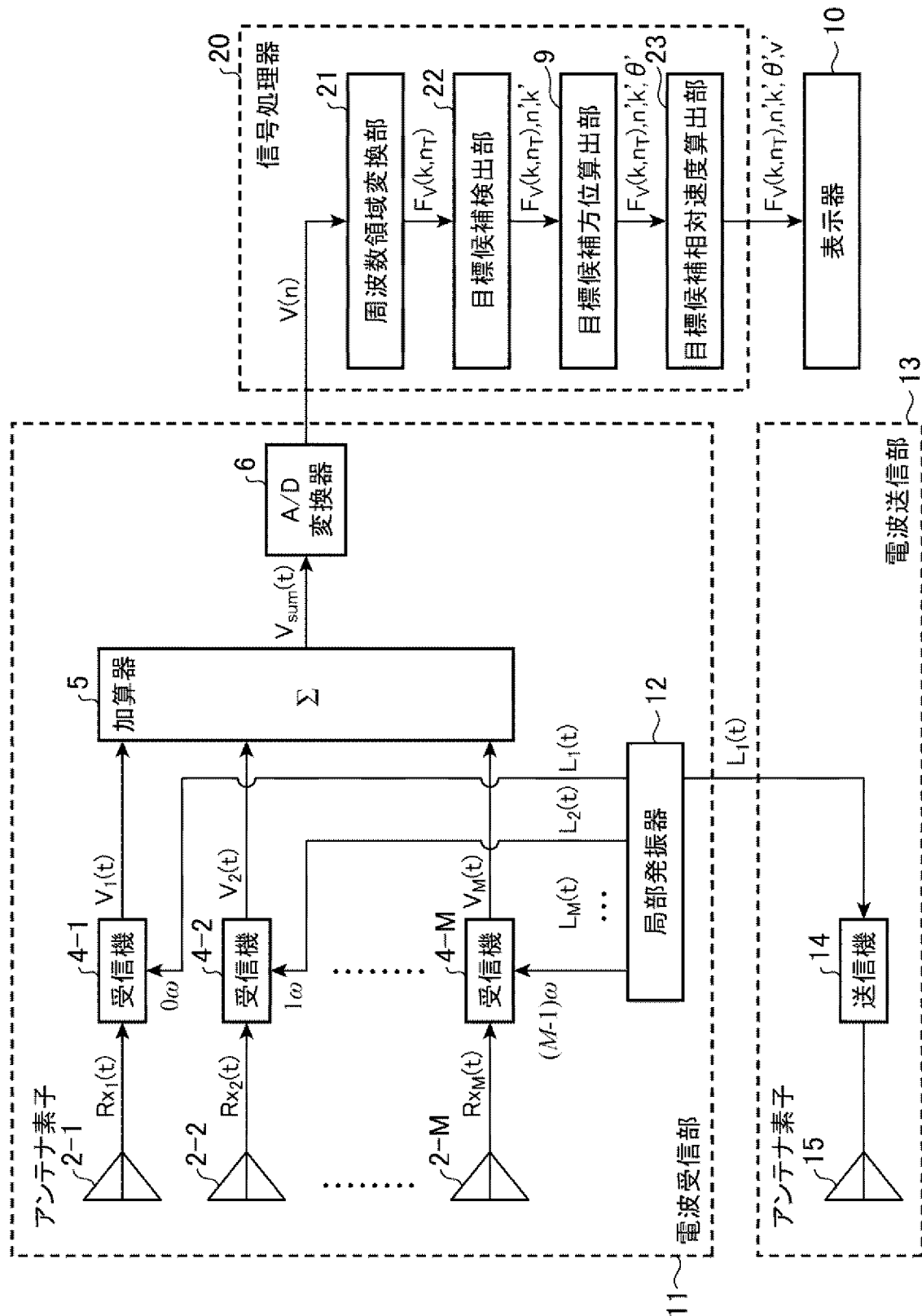
[図7]



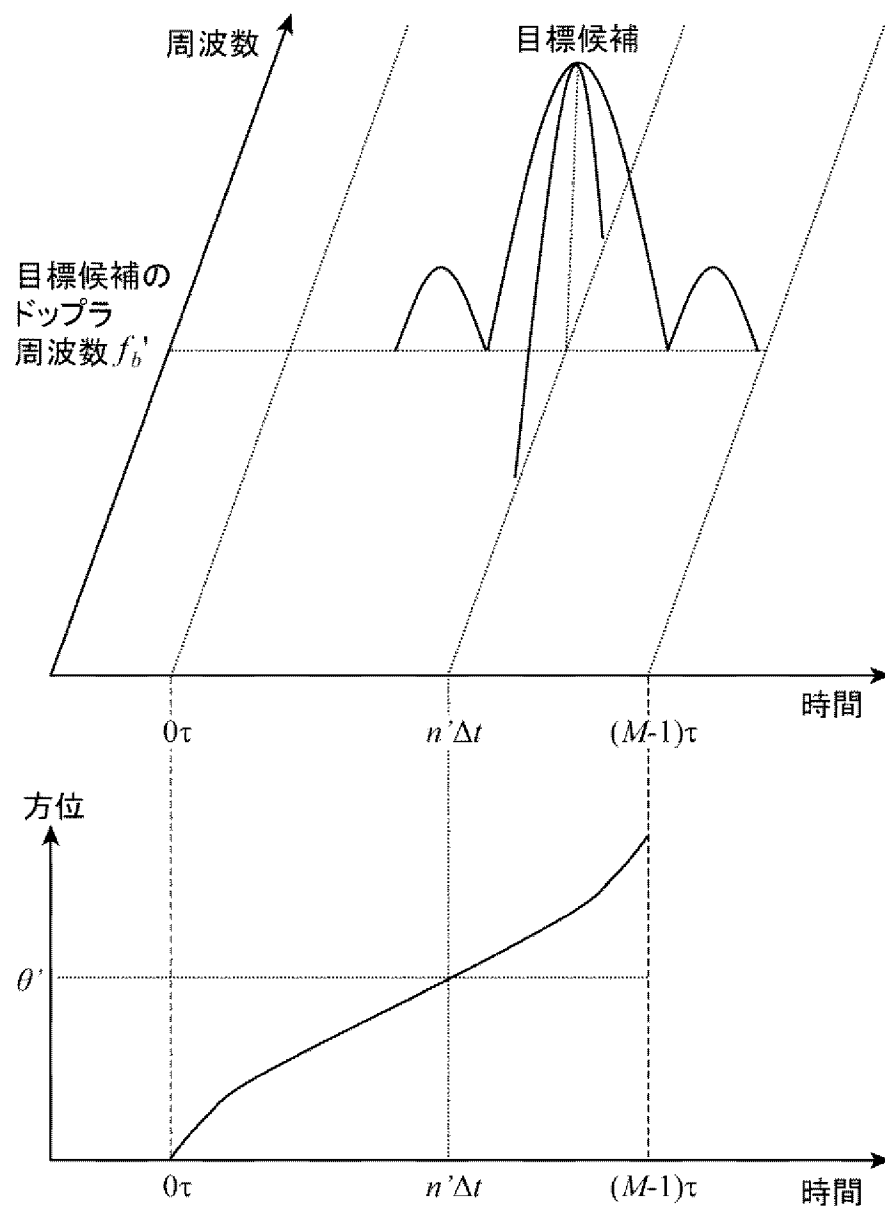
[図8]



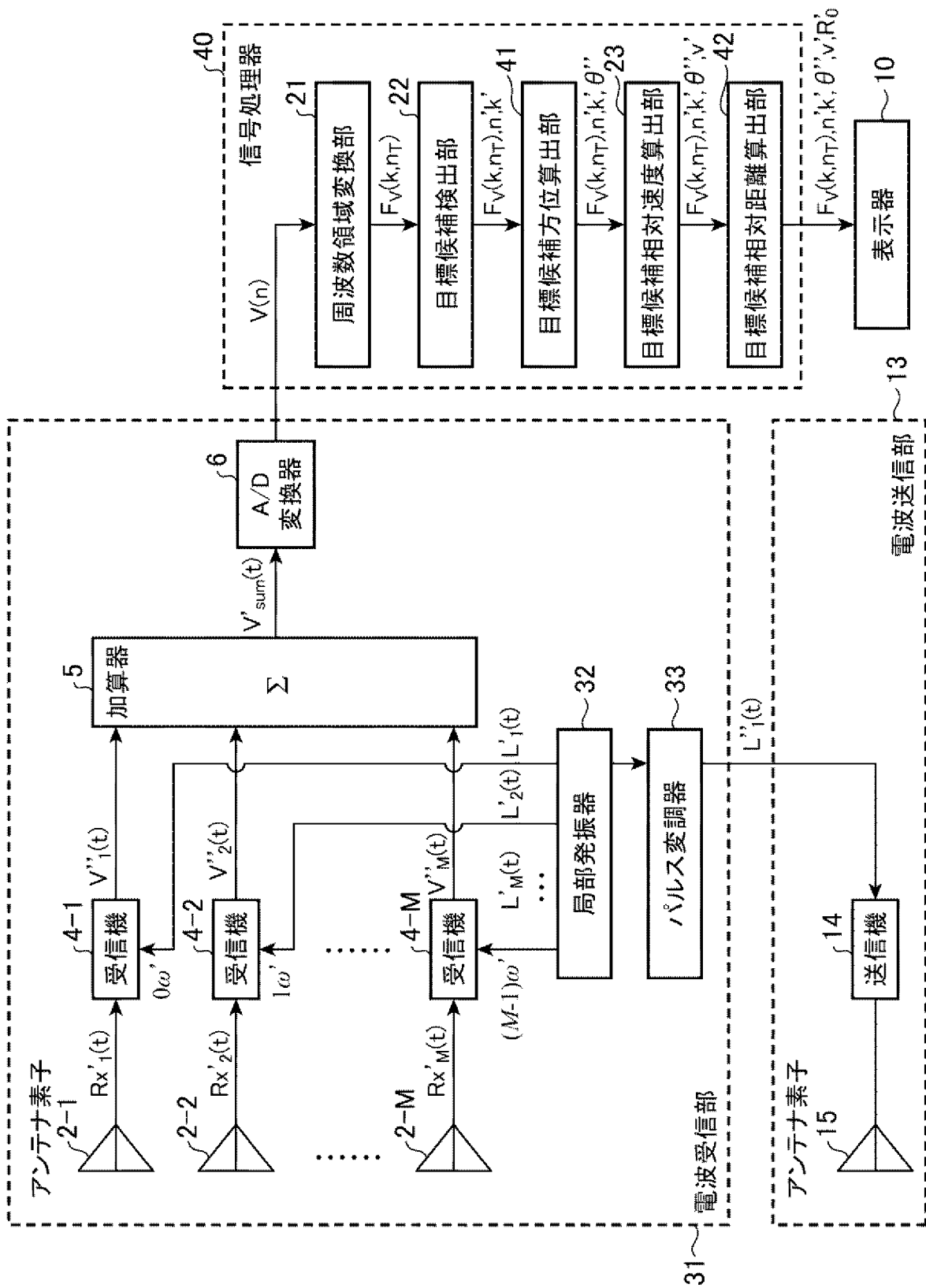
[図9]



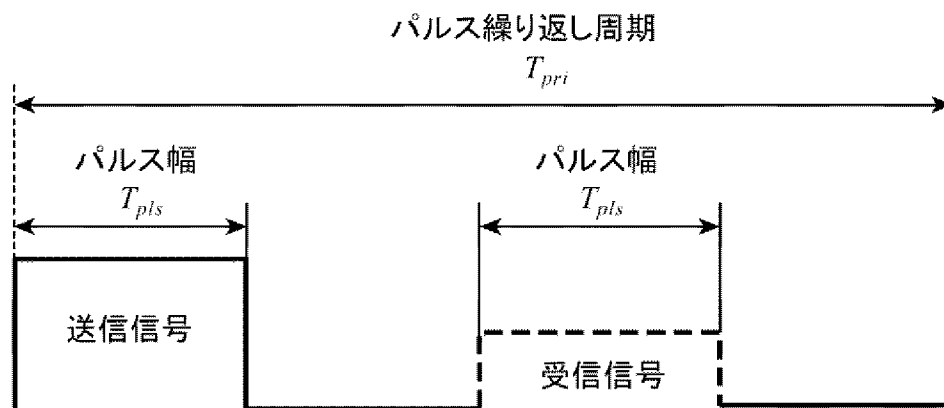
[図10]



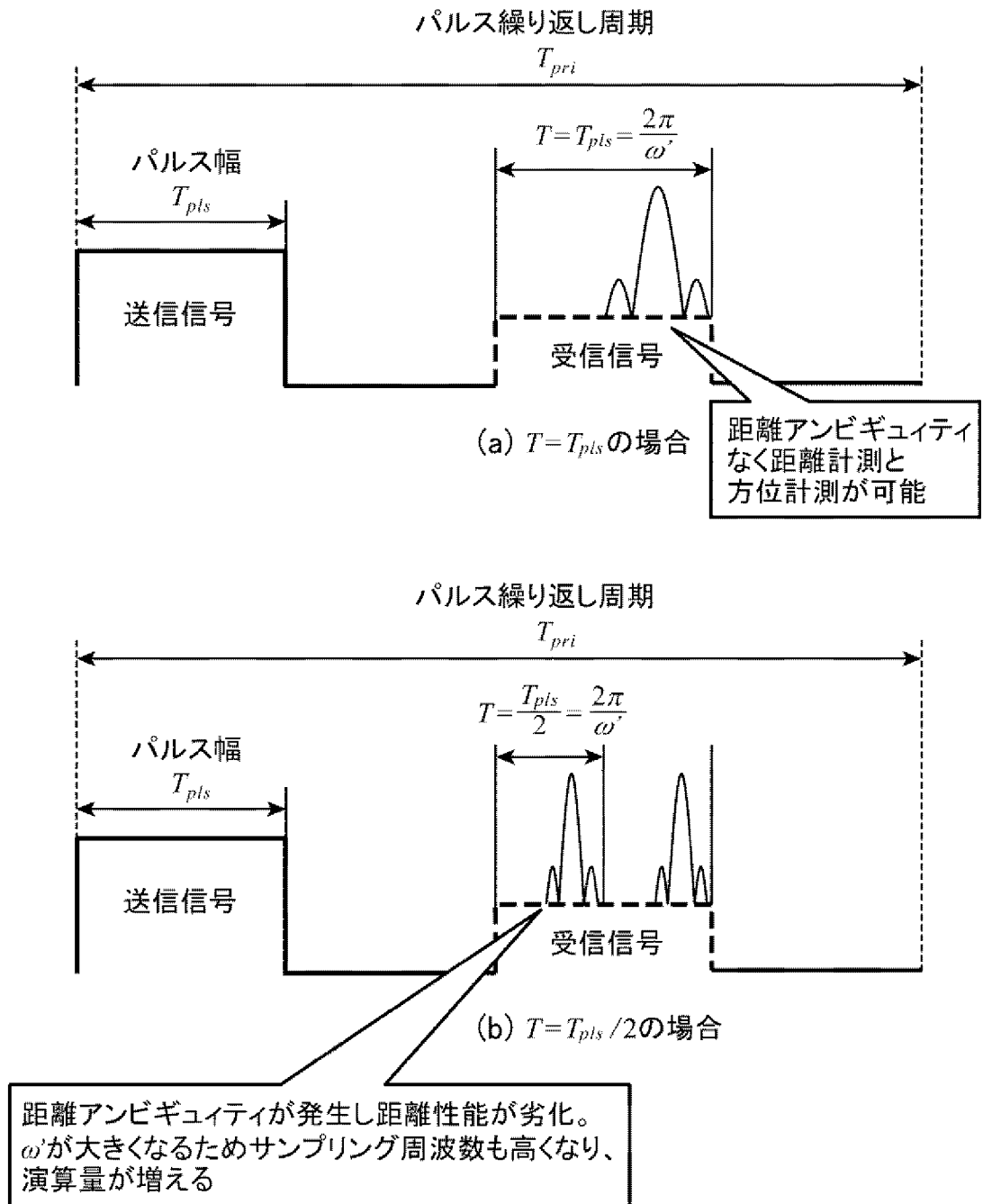
[図11]



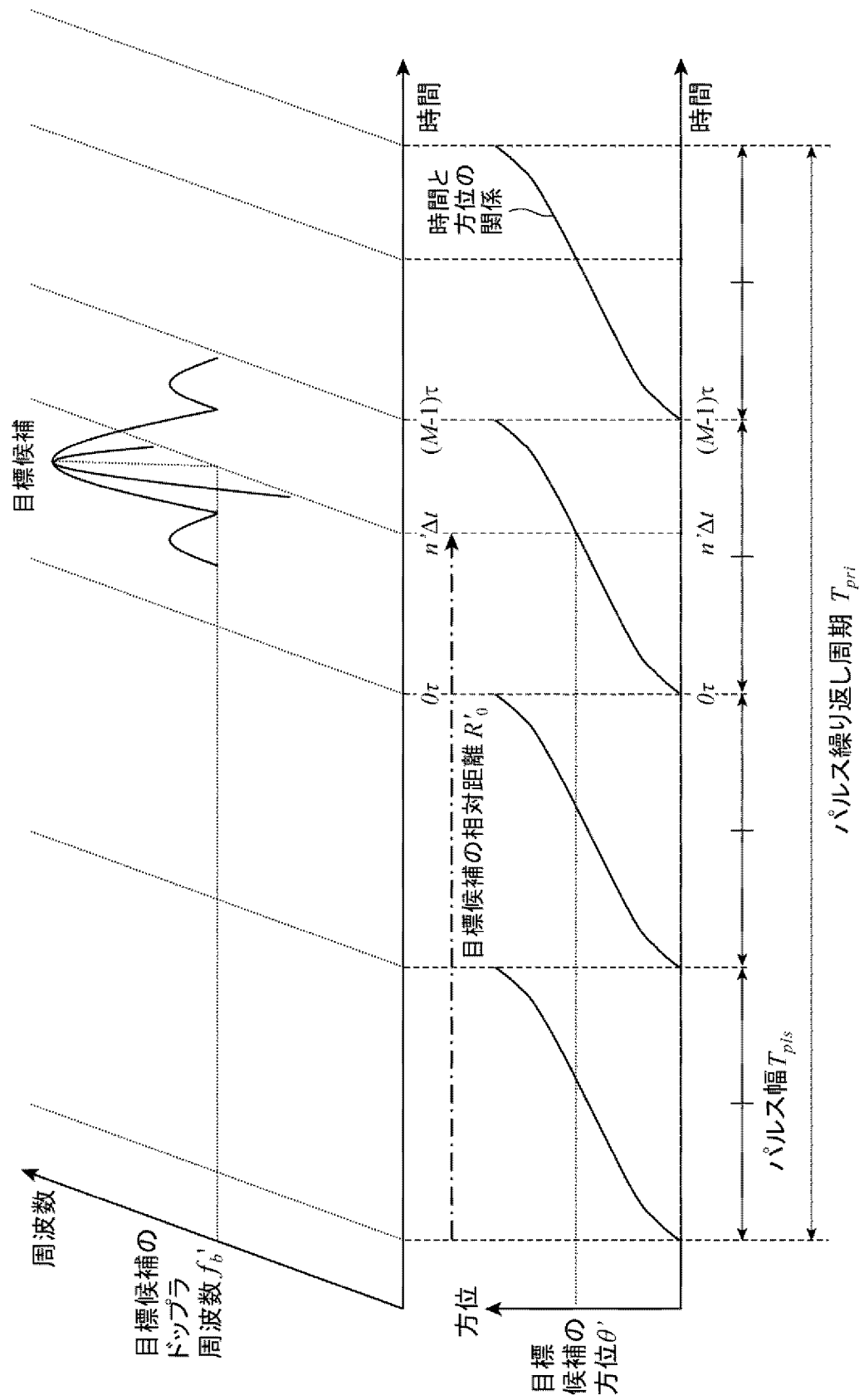
[図12]



[図13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/083150

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01S7/02(2006.01)i, G01S13/42(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)

G01S7/00-42, G01S13/00-95

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	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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 3-259772 A (Mitsubishi Electric Corp.), 19 November 1991 (19.11.1991), entire text; all drawings (Family: none)	1-4, 7-10 5-6
Y A	JP 2012-524896 A (Astrium Ltd.), 18 October 2012 (18.10.2012), entire text; all drawings & US 2010/0265123 A1 & EP 2244102 A1 & EP 2422216 A1 & WO 2010/122327 A1 & CA 2758414 A & CN 102439479 A	1-4, 7-10 5-6
A	US 4652879 A (Eaton Corp.), 24 March 1987 (24.03.1987), entire text; all drawings (Family: none)	1-10

☒ 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
14 January 2015 (14.01.15)

Date of mailing of the international search report
27 January 2015 (27.01.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/083150

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 11-160414 A (Toshiba Corp.), 18 June 1999 (18.06.1999), entire text; all drawings (Family: none)	1-10

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01S7/02(2006.01)i, G01S13/42(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. G01S7/00-42, G01S13/00-95

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	1971-2015年
日本国実用新案登録公報	1996-2015年
日本国登録実用新案公報	1994-2015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 3-259772 A（三菱電機株式会社）1991. 11. 19, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-4, 7-10 5-6
Y A	JP 2012-524896 A（アストリウム・リミテッド）2012. 10. 18, 全文, 全図 & US 2010/0265123 A1 & EP 2244102 A1 & EP 2422216 A1 & WO 2010/122327 A1 & CA 2758414 A & CN 102439479 A	1-4, 7-10 5-6

☒ 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

14. 01. 2015

国際調査報告の発送日

27. 01. 2015

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）

堀 圭史

2 S

3 0 0 5

電話番号 03-3581-1101 内線 3258

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	US 4652879 A (Eaton Corporation) 1987. 03. 24, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 11-160414 A (株式会社東芝) 1999. 06. 18, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-10