

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6622118号  
(P6622118)

(45) 発行日 令和1年12月18日(2019.12.18)

(24) 登録日 令和1年11月29日(2019.11.29)

(51) Int.Cl.		F I			
GO 1 S	7/02	(2006.01)	GO 1 S	7/02	2 1 6
GO 1 S	13/44	(2006.01)	GO 1 S	13/44	
HO 1 Q	25/04	(2006.01)	HO 1 Q	25/04	
HO 1 Q	25/02	(2006.01)	HO 1 Q	25/02	

請求項の数 6 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2016-46096 (P2016-46096)	(73) 特許権者	000003078 株式会社東芝 東京都港区芝浦一丁目1番1号
(22) 出願日	平成28年3月9日(2016.3.9)	(73) 特許権者	598076591 東芝インフラシステムズ株式会社 神奈川県川崎市幸区堀川町72番地34
(65) 公開番号	特開2017-161360 (P2017-161360A)	(74) 代理人	110001737 特許業務法人スズエ国際特許事務所
(43) 公開日	平成29年9月14日(2017.9.14)	(72) 発明者	竹谷 晋一 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
審査請求日	平成30年2月20日(2018.2.20)	(72) 発明者	安達 正一郎 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 アンテナ装置及びレーダ装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1の軸(A軸)に沿って一次元に配列した $N(N-1)$ 個のサブアレイにより $N$ チャンネル×サブアレイビーム数 $Bsa(Bsa-1)$ のビーム出力を得る第1の受信アレイと、

前記A軸と異なる第2の軸(B軸)に沿って一次元に配列した $M(M-1)$ 個のサブアレイにより $M$ チャンネル×サブアレイビーム数 $Bsb(Bsb-1)$ のビーム出力を得る第2の受信アレイと、

前記A軸のサブアレイのビーム数 $N \times Bsa$ のビーム出力を $Bba(Bba-1)$ 系統で合成してA軸のビーム数 $N \times Bsa \times Bba = Baa11$ のビーム合成信号を生成し、前記B軸のサブアレイのビーム数 $M \times Bsb$ のビーム出力を $Bbb(Bbb-1)$ 系統で合成してB軸のビーム数 $M \times Bsb \times Bbb = Bba11$ のビーム合成信号を生成するビーム合成器と、

前記ビーム合成器で取得された前記A軸のビーム数 $Baa11$ のビーム合成信号と前記B軸のビーム数 $Bba11$ のビーム合成信号とを乗算して所定の角度範囲にビーム数 $Baa11 \times Bba11 = Ba11$ のマルチビームを形成する信号処理器とを具備するアンテナ装置。

【請求項2】

前記信号処理器は、

前記A軸のビーム合成信号でA軸の和ビームを形成し、前記B軸のビーム合成信号で

B軸の和ビームを形成し、前記A軸の和ビームの出力及び前記B軸の和ビームの出力を乗算して全体の和ビームを形成し、

前記B軸のサブアレイを開口2分割して前記B軸の差ビームを形成し、前記B軸の差ビームの出力及び前記A軸の和ビームの出力を乗算して縦軸の差ビームを形成し、前記全体の和ビームの出力及び前記縦軸の差ビームの出力を用いてモノパルス測角を行う第1の測角処理、及び、前記A軸のサブアレイを開口2分割して前記A軸の差ビームを形成し、前記A軸の差ビームの出力及び前記B軸の和ビームの出力を乗算して横軸の差ビームを形成し、前記全体の和ビームの出力及び前記横軸の差ビームの出力を用いてモノパルス測角を行う第2の測角処理の少なくともいずれか一方の測角処理を行う請求項1記載のアンテナ装置。

10

【請求項3】

前記信号処理器は、さらに、前記A軸のサブアレイから選定されるいずれかのサブアレイまたは素子の信号と前記B軸のサブアレイから選定されるいずれかのサブアレイまたは素子の信号とを乗算して仮想サブアレイによる補助チャンネルの信号を取得し、前記補助チャンネルの信号を用いて前記マルチビームの出力の不要波抑圧の信号処理を行う請求項1記載のアンテナ装置。

【請求項4】

観測範囲に送信ビームを形成する送信アンテナと、

第1の軸(A軸)に沿って一次元に配列した $N(N-1)$ 個のサブアレイにより $N$ チャンネル×サブアレイビーム数 $Bsa(Bsa-1)$ のビーム出力を得る第1の受信アレイと、

20

前記A軸と異なる第2の軸(B軸)に沿って一次元に配列した $M(M-1)$ 個のサブアレイにより $M$ チャンネル×サブアレイビーム数 $Bsb(Bsb-1)$ のビーム出力を得る第2の受信アレイと、

前記A軸のサブアレイのビーム数 $N \times Bsa$ のビーム出力を $Bba(Bba-1)$ 系統で合成してA軸のビーム数 $N \times Bsa \times Bba = Baa11$ のビーム合成信号を生成し、前記B軸のサブアレイのビーム数 $M \times Bsb$ のビーム出力を $Bbb(Bbb-1)$ 系統で合成してB軸のビーム数 $M \times Bsb \times Bbb = Bba11$ のビーム合成信号を生成するビーム合成器と、

前記ビーム合成器で取得された前記A軸のビーム数 $Baa11$ のビーム合成信号と前記B軸のビーム数 $Bba11$ のビーム合成信号とを乗算して所定の角度範囲にビーム数 $Baa11 \times Bba11 = Baa11$ のマルチビームを形成する信号処理器とを具備するレーダ装置。

30

【請求項5】

前記信号処理器は、

前記A軸のビーム合成信号でA軸の和ビームを形成し、前記B軸のビーム合成信号でB軸の和ビームを形成し、前記A軸の和ビームの出力及び前記B軸の和ビームの出力を乗算して全体の和ビームを形成し、

前記B軸のサブアレイを開口2分割して前記B軸の差ビームを形成し、前記B軸の差ビームの出力及び前記A軸の和ビームの出力を乗算して縦軸の差ビームを形成し、前記全体の和ビームの出力及び前記縦軸の差ビームの出力を用いてモノパルス測角を行う第1の測角処理、及び、前記A軸のサブアレイを開口2分割して前記A軸の差ビームを形成し、前記A軸の差ビームの出力及び前記B軸の和ビームの出力を乗算して横軸の差ビームを形成し、前記全体の和ビームの出力及び前記横軸の差ビームの出力を用いてモノパルス測角を行う第2の測角処理の少なくともいずれか一方の測角処理を行う請求項4記載のレーダ装置。

40

【請求項6】

前記信号処理器は、さらに、前記A軸のサブアレイから選定されるいずれかのサブアレイまたは素子の信号と前記B軸のサブアレイから選定されるいずれかのサブアレイまたは素子の信号とを乗算して仮想サブアレイによる補助チャンネルの信号を取得し、前記補助

50

チャンネルの信号を用いて前記マルチビームの出力の不要波抑圧の信号処理を行う請求項4記載のレーダ装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本実施形態は、アンテナ装置及びレーダ装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来のレーダ装置では、アンテナ装置におけるD B F (Digital Beam Forming)により、送信ビーム及び受信ビームをそれぞれペンシルビームにして、目標の搜索及び追跡を行っている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特許第5193455号公報

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献1】D B F (Digital Beam Forming)、吉田、'改訂レーダ技術'、電子情報通信学会、pp.289-291(1996)

【非特許文献2】M I M O (Multiple Input Multiple Output)、JIAN LI, PETER STOICA、'MIMO RADAR SIGNAL PROCESSING'、WILEY、pp. 1-5(2009)

20

【非特許文献3】パルス圧縮、吉田、'改訂レーダ技術'、電子情報通信学会、pp.275-280(1996)

【非特許文献4】C F A R 処理、吉田、'改訂レーダ技術'、電子情報通信学会、pp.87-89(1996)

【非特許文献5】テラー分布、吉田、'改訂レーダ技術'、電子情報通信学会、pp.134-135(1996)

【非特許文献6】測角方式(モノパルス)、吉田、'改訂レーダ技術'、電子情報通信学会、pp.260-264(1996)

【非特許文献7】S L C (SideLobe Canceller)、S L B (SideLobe Blanker)、吉田、'改訂レーダ技術'、電子情報通信学会、pp.295-296(1996)

30

【非特許文献8】S T A P (ポストドップラー型S T A P等)、Richard Klemm、'Applications of Space-Time Adaptive Processing'、IEEE Radar, Sonar and Navigation series14、p.720-724(2004)

【非特許文献9】マルチビーム、電子情報通信学会編、アンテナ工学ハンドブック第2版、Ohmsha、pp.419-424(2008)

【非特許文献10】エレメントスペースとビームスペース、電子情報通信学会編、アンテナ工学ハンドブック第2版、Ohmsha、pp.458(2008)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

40

【0005】

以上述べたように、従来のレーダ装置では、アンテナ装置におけるD B Fにより、送信ビーム及び受信ビームをそれぞれペンシルビームにして、目標の搜索及び追跡を行っている。但し、この場合は、1ポジションあたりの時間制約があり、ヒット数が少ないため、低いS Nであり、データレートも遅く、初探知が遅れ、追跡ロストする課題があった。また、マルチビームを実現する際には、特にD B Fを用いる場合には、処理規模が増大する課題があった。また、クラッタ等の不要波を抑圧する際に、補助アンテナを形成するために、主アンテナとは別の補助アンテナを装着する必要がある。

【0006】

本実施形態は上記課題に鑑みなされたもので、受信マルチビームを比較的小さい処理規

50

模で実現することができ、データレートを向上させ、初探知を高速化し、追跡ロストを低減することができ、さらには不要波を抑圧する際の補助アンテナを不要とするアンテナ装置とレーダ装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記の課題を解決するために、本実施形態に係るアンテナ装置は、第1の軸（A軸）に沿って一次元に配列した $N(N-1)$ 個のサブアレイにより $N$ チャンネル×サブアレイビーム数 $B_{sa}(B_{sa}-1)$ のビーム出力を得る第1の受信アレイと、前記A軸と異なる第2の軸（B軸）に沿って一次元に配列した $M(M-1)$ 個のサブアレイにより $M$ チャンネル×サブアレイビーム数 $B_{sb}(B_{sb}-1)$ のビーム出力を得る第2の受信アレイと、前記A軸のサブアレイのビーム数 $N \times B_{sa}$ のビーム出力を $B_{ba}(B_{ba}-1)$ 系統で合成してA軸のビーム数 $N \times B_{sa} \times B_{ba} = B_{aal}$ のビーム合成信号を生成し、前記B軸のサブアレイのビーム数 $M \times B_{sb}$ のビーム出力を $B_{bb}(B_{bb}-1)$ 系統で合成してB軸のビーム数 $M \times B_{sb} \times B_{bb} = B_{bbl}$ のビーム合成信号を生成するビーム合成器と、前記ビーム合成器で取得された前記A軸のビーム数 $B_{aal}$ のビーム合成信号と前記B軸のビーム数 $B_{bbl}$ のビーム合成信号とを乗算して所定の角度範囲にビーム数 $B_{aal} \times B_{bbl} = B_{all}$ のマルチビームを形成する信号処理器とを具備する構成である。

10

【0008】

また、本実施形態に係るレーダ装置は、観測範囲に送信ビームを形成する送信アンテナと、第1の軸（A軸）に沿って一次元に配列した $N(N-1)$ 個のサブアレイにより $N$ チャンネル×サブアレイビーム数 $B_{sa}(B_{sa}-1)$ のビーム出力を得る第1の受信アレイと、前記A軸と異なる第2の軸（B軸）に沿って一次元に配列した $M(M-1)$ 個のサブアレイにより $M$ チャンネル×サブアレイビーム数 $B_{sb}(B_{sb}-1)$ のビーム出力を得る第2の受信アレイと、前記A軸のサブアレイのビーム数 $N \times B_{sa}$ のビーム出力を $B_{ba}(B_{ba}-1)$ 系統で合成してA軸のビーム数 $N \times B_{sa} \times B_{ba} = B_{aal}$ のビーム合成信号を生成し、前記B軸のサブアレイのビーム数 $M \times B_{sb}$ のビーム出力を $B_{bb}(B_{bb}-1)$ 系統で合成してB軸のビーム数 $M \times B_{sb} \times B_{bb} = B_{bbl}$ のビーム合成信号を生成するビーム合成器と、前記ビーム合成器で取得された前記A軸のビーム数 $B_{aal}$ のビーム合成信号と前記B軸のビーム数 $B_{bbl}$ のビーム合成信号とを乗算して所定の角度範囲にビーム数 $B_{aal} \times B_{bbl} = B_{all}$ のマルチビームを形成する信号処理器とを具備する構成である。

20

30

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】第1の実施形態に係るレーダ装置に適用されるアンテナ装置の概略構成を示すブロック図。

【図2】図1に示すアンテナ装置の全体系統の構成を示すブロック図。

【図3】図1に示す受信アンテナのサブアレイ系統の構成を示すブロック図。

【図4】図1に示すアンテナ装置を備える機上搭載レーダ装置の観測座標系を示す図。

40

【図5】図1に示すアンテナ装置による受信ビームの形成方法を説明するための概念図。

【図6】第1の実施形態において、A軸ビームとB軸ビームそれぞれの形成パターンを示す概念図。

【図7】第1の実施形態において、1ビーム分と全体ビームの形成パターンを示す概念図。

【図8】第1の実施形態において、モノパル測角のための、AZを形成する手法を示す概念図。

【図9】第1の実施形態において、モノパル測角のための、ELを形成する手法を示す概念図。

【図10】第1の実施形態において、とビームの特性と誤差電圧との関係を示す図。

50

【図11】第2の実施形態に係るアンテナ装置が適用されるレーダ装置の概略構成を示すブロック図。

【図12】第2の実施形態において、補助アンテナを形成する様子を示す概念図。

【図13】第2の実施形態において、不要波抑圧前と不要波抑圧後と比較して示す図。

【図14】第2の実施形態において、不要波抑圧処理として用いるSLC処理回路の構成を示すブロック図。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、実施形態について、図面を参照して説明する。尚、各実施形態の説明において、同一部分には同一符号を付して示し、重複する説明を省略する。なお、以下の説明において、アンテナ装置の実施形態はレーダ装置に適用されるものとする。

10

【0011】

(第1の実施形態)

図1乃至図6を参照して、第1の実施形態について説明する。本実施形態では、異なる2軸のリニアアレイの出力を用いて、乗算演算により全体ビームを形成する手法について述べる。

【0012】

図1は第1の実施形態に係るアンテナ装置が適用されるレーダ装置の構成を示すブロック図である。図1において、10A1~10AN, 10B1~10BMは受信アンテナを構成するサブアレイ(ビーム数: A軸 $N \times Bsa$ 、B軸 $M \times Bsb$ )、20A1~20ABsa, 20B1~20BBsbはサブアレイ単位で受信信号のデジタル化、ノイズ除去等の処理を行うビーム合成器であり、それぞれA軸 $Nch \times$ サブアレイビーム数 $Bsa$ の系統とB軸 $Mch \times$ サブアレイビーム数 $Bsb$ の系統に設けられる。各系統のサブアレイビーム合成出力(ビーム数: A軸 $Baal1 = N \times Bsa \times Bba$ 、B軸 $Bbal1 = M \times Bsb \times Bbb$ )は信号処理器30A1~30ABaal1, 30B1~30BBaal1に送られ、 $N \times Mch \times$ サブアレイビーム数によるマルチビームが形成される。ここで形成されたマルチビームの各ビーム出力はビーム乗算器40で所定ビーム数 $Bal1 = Baal1 \times Bbal1$ に合成され、信号処理器50に送られる。この信号処理器50は、入力合成ビーム出力から目標を検出し追跡するレーダ信号Bal1を生成出力する。

20

【0013】

上記構成において、さらに具体的な系統構成を図2に示し、各サブアレイの系統構成を図3に示す。代表として、A軸サブアレイ10A1は、図3に示すように、 $sn$ 個のアンテナ素子111~11snと、 $sn$ 個の増幅器121~12snと、周波数変換器13と、AD変換器14と、サブアレイビーム合成器15を備える。 $sn$ 個のアンテナ素子111~11snは、A軸方向に一次元に配列される。増幅器121~12snは、それぞれ対応するアンテナ素子111~11snから出力される信号を低雑音で増幅する。周波数変換器13は、 $sn$ 個の増幅器121~12snから出力される信号をそれぞれベースバンドに周波数変換する。AD変換器14は、ベースバンドに周波数変換された信号をデジタル化して $Sn$ チャンネル(#1~#Sn)の受信信号を得る。サブアレイビーム合成器15は、デジタル化された受信信号により $Bs$ チャンネル(#1~#Bs)のマルチビーム出力を得る。以上の構成は、他のサブアレイ及びB軸系統のサブアレイについても同様である。

30

40

【0014】

上記A軸サブアレイ10A1~10ABsaで得られたサブアレイビーム数 $Bsa$ の受信信号は、図2に示すように、ビーム合成器20A1~20ABsaによって周波数変換、デジタル化、サブアレイビーム合成(高速フーリエ変換(FFT)、パルス圧縮(PC)等)がなされた後、サブアレイのビーム毎に分岐出力され、 $Bsa$ 系統それぞれの信号処理器30Ai( $i = 1 \sim Baal1$ ,  $Baal1 = Bsa \times Bba$ )に送られる。同様に、 $M$ 系統それぞれのB軸サブアレイ10B1~10BBsbで得られたサブアレイビーム数 $Bsb$ の受信信号は、ビーム合成器20B1~20BBsbによってデジタル化され

50

た後、サブアレイのビーム毎に分岐出力され、B s b系統それぞれの信号処理器3 0 B 1 ( 1 = 1 ~ B b a l l , B b a l l = B s b × B b b ) に送られる。

【 0 0 1 5 】

上記信号処理器3 0 A i , 3 0 B 1では、N × M × サブアレイビーム数によるマルチビームが形成されるが、ここで形成されたマルチビームの各ビーム出力はビーム乗算器4 0 に送られて所定ビーム数B a l l に合成される。さらに、信号処理器5 0 に送られて目標検出及び追跡処理が実行され、全ビームB a l l の同時形成によるレーダ信号が得られる。

【 0 0 1 6 】

図4に、図1に示すアンテナ装置を備える機上搭載レーダ装置の観測座標系を示し、図5及び図6にビームスペース型(非特許文献10参照)2次元アレイによるビーム形状を示す。ここで、本実施形態では、素子やサブアレイをもとに全体ビーム形成する手法をエレメントスペース、また、素子やサブアレイをもとに部分開口であるリニアアレイのビームを形成後、全体ビームを形成する手法をビームスペースと呼ぶことにする。縦方向の軸のアレイをA軸アレイ、横方向の軸のアレイをB軸アレイとする。また、各々のアレイは、一般的に複数素子のサブアレイとするが、単一素子も含むものとする。

【 0 0 1 7 】

サブアレイの内部では、図3に示したように、アンテナ1 1 1 ~ 1 1 s nで受信した信号を周波数変換器1 3でベースバンドに周波数変換して、A D変換器1 4によりデジタル信号に変換した後、サブアレイビーム合成器1 5でB s本のマルチビームを形成する。このサブアレイでは、アナログビーム合成でもよい。アナログビームによる構成法としては、バトラーマトリクスやマトリクス給電回路(非特許文献9参照)等を用いて複数ビームを形成するようにしてもよい。

【 0 0 1 8 】

このサブアレイ信号を用いて、ビーム形成について定式化する。まず、観測方向(A Z , E L)を含めた2軸のサブアレイ信号を、それぞれXa, Xbとし、アレイの位相中心に入力される信号をxinとすると、2軸の信号XaとXbは次式となる。

【数1】

$$\begin{aligned} X_a &= X_{in} \cdot [a_1 \ a_2 \ \dots \ a_N] \\ X_b &= X_{in} \cdot [b_1 \ b_2 \ \dots \ b_M] \end{aligned} \quad (1)$$

【 0 0 1 9 】

【数2】

$$\begin{aligned} a_n &= e^{-j(k_{ax} \cdot x_{an} + k_{ay} \cdot y_{an} + k_{az} \cdot z_{an})} \\ b_m &= e^{-j(k_{bx} \cdot x_{bm} + k_{by} \cdot y_{bm} + k_{bz} \cdot z_{bm})} \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、

$$\begin{aligned} a_n &= \text{内積}[k_a, d_{an}] \quad (n = 1 \sim N, N \text{はA軸の受信サブアレイ数}) \\ b_m &= \text{内積}[k_b, d_{bm}] \quad (m = 1 \sim M, M \text{はB軸の受信サブアレイ数}) \end{aligned}$$

【 0 0 2 0 】

10

20

30

40

【数 3】

$$\begin{aligned}
 ka &= [kax, kay, kaz] \\
 &= \frac{2\pi}{\lambda} [\cos ELa \cdot \cos AZa, \cos ELa \cdot \sin AZa, \sin ELa] \\
 kb &= [kbx, kby, kbz] \\
 &= \frac{2\pi}{\lambda} [\cos ELb \cdot \cos AZb, \cos ELb \cdot \sin AZb, \sin ELb] \\
 dan &= [xan, yan, zan] \\
 dbm &= [xbm, ybm, zbm]
 \end{aligned} \tag{3}$$

ここで、

- $\lambda$  : 波長
- 内積 [ ] : 内積演算
- $AZa$  : A軸アレイから見たAZ軸の観測角
- $ELa$  : A軸アレイから見たEL軸の観測角
- $AZb$  : B軸アレイから見たAZ軸の観測角
- $ELb$  : B軸アレイから見たEL軸の観測角
- $xan, yan, zan$  : A軸サブアレイの第n素子の位置座標  
基準位置はA及びB軸アンテナの位相中心
- $xbm, ybm, zbm$  : B軸サブアレイの第m素子の位置座標  
基準位置はA及びB軸アンテナの位相中心

【0021】

なお、A軸アレイとB軸アレイの離隔距離が大きい場合を考えて、AZ角とEL角を、添え字のa, bをつけて区分けしているが、離隔距離が小さい場合には、A軸アレイとB軸アレイから見たAZ角とEL角は等しくなるので、AZ、ELとする。これを用いて、各軸でリニアアレイのビーム合成演算を行うと次式となる。

【数 4】

$$Ya(AZp, ELp) = \sum_{n=1}^N (Wn \cdot Wpn \cdot Xa(n)) \tag{4}$$

【0022】

40

【数5】

$$Y_b(AZ_p, EL_p) = \sum_{n=1}^N (W_n \cdot W_{pn} \cdot X_b(n))$$

$$W_{pn} = e^{-j(k_{px} \cdot x_{pn} + k_{py} \cdot y_{pn} + k_{pz} \cdot z_{pn})}$$

$$W_{pm} = e^{-j(k_{px} \cdot x_{pm} + k_{py} \cdot y_{pm} + k_{pz} \cdot z_{pm})}$$

(5)

10

ここで、

λ : 波長

AZ<sub>p</sub> : A軸とB軸によるアレイ位相中心から見たAZ軸のビーム指向角EL<sub>p</sub> : A軸とB軸によるアレイ位相中心から見たEL軸のビーム指向角x<sub>nm</sub>, y<sub>nm</sub>, z<sub>nm</sub> : A軸とB軸によるアレイ素子の位置座標

(n = 1 ~ N, m = 1 ~ M)

基準位置はA軸とB軸によるアレイの位相中心

【0023】

20

【数6】

$$k_p = [k_{px}, k_{py}, k_{pz}]$$

$$= \frac{2\pi}{\lambda} [\cos EL_p \cdot \cos AZ_p, \cos EL_p \cdot \sin AZ_p, \sin EL_p]$$

(6)

【0024】

このリニアアレイビーム出力を用いて、A軸とB軸の乗算演算を行うと次式となる。

【数7】

30

$$Y(AZ_p, EL_p) = Y_a \cdot Y_b$$

$$= \sum_{n=1}^N (W_n \cdot W_{pn} \cdot X_a(n)) \cdot \sum_{m=1}^M (W_m \cdot W_{pm} \cdot X_b(m))$$

(7)

ここで、

W<sub>n</sub>, W<sub>m</sub> : サイドローブ低減用のウェイト (n = 1 ~ N, m = 1 ~ M)x<sub>n</sub>, y<sub>n</sub>, z<sub>n</sub> : A軸アレイの位置座標x<sub>m</sub>, y<sub>m</sub>, z<sub>m</sub> : B軸アレイの位置座標k<sub>px</sub>, k<sub>py</sub>, k<sub>pz</sub> : ビーム指向角に対する波数ベクトルX<sub>a</sub>, X<sub>b</sub> : (1)式で表す2軸の信号

40

【0025】

1ビーム分について、A軸ビームとB軸ビームから全体ビームが形成される様子を座標系で示すと図5に示すようになり、AZ-ELの2次元で表現すると図6に示すようになる。図5では、A軸アレイはZ軸にあり、ELビーム方向にZ軸を中心とした円錐状のビームができる。一方、B軸アレイはY軸にあり、AZビーム方向にY軸を中心とした円錐状のビームができる。図5では円錐状のビームで示しているが、サブアレイの指向性があるため、実際にはサブアレイビームの指向性を乗算し、A軸ビームは図6(a)の形、B軸

50

ビームは図6(b)に示す形となる。A軸とB軸の乗算ビームとしては、図7(a)に示すように、両者が交差する方向にペンシルビームが形成される。また、マルチビームを考えると、図7(b)に示すように、サブアレイビーム内で多数のビームが形成されることになる。また、サイドローブを低減したテイラーウェイト(非特許文献5参照)等を設定する際には、ビーム合成器A軸及びビーム合成B軸で、リニアアレイのビーム形成する際に設定すればよい。

【0026】

次に、乗算アレイビーム形成に用いるA軸及びB軸アレイの信号成分Sとノイズ成分Nを考えると、次式で表現することができる。

【数8】

$$\begin{aligned} & E[(Sa + Na) \cdot (Sb + Nb)^*] \\ &= E[Sa \cdot Sb^* + Sa \cdot Nb^* + Na \cdot Sb^* + Na \cdot Nb^*] \\ &= E[Sa \cdot Sb^*] + E[Na \cdot Nb^*] \end{aligned} \quad (8)$$

ここで、

Sa, Sb : A軸アレイとB軸アレイの信号成分

Na, Nb : A軸アレイとB軸アレイのノイズ成分

E[ ] : 期待値

\* : 複素共役

【0027】

したがって、(7)式で表現されるA軸アレイビームとB軸アレイビームの乗算出力のSNは次式となる。

【数9】

$$\begin{aligned} & E[(Sa + Na) \cdot (Sb + Nb)^* / Na \cdot Nb^*] \\ &= E[Sa \cdot Sb^* / Na \cdot Nb^*] + 1 \end{aligned} \quad (9)$$

【0028】

これは、A軸アレイビームとB軸アレイビームの乗算前の各々の出力信号のSN(信号対ノイズ電力比)が2乗になることを表している。この場合、SN 0dBであれば、SNは2乗により向上するが、SN < 0dBであると、2乗により、更にSNが低下することになる。このため、ビーム乗算前のA軸及びB軸のビーム出力では、SN 0dBであることが望ましい。SN 0dBを満足するために、必要に応じて、ビーム乗算前に、FFT(高速フーリエ変換)、パルス圧縮(PC、非特許文献3参照)等の信号処理を行ってSNを向上させる。

【0029】

乗算ビームの形成後、信号処理器50において、検出処理(CFAR、非特許文献4参照)等の信号処理を行い、レーダ信号出力とする。この信号処理としては、クラッタ等の不要波を抑圧するMTI(Moving Target Indicator: 移動目標検出装置)、アダプティブアレイ(非特許文献7参照)、STAP(Space Time Adaptive Processing: 時空間適応処理、非特許文献8参照)等の処理を追加してもよい。

【0030】

図2は、サブアレイビーム数Bsから全体ビーム数Ballまでの関係をわかりやすくしたものである。アンテナ開口長の小さいサブアレイの広ビーム幅によるマルチビームと

10

20

30

40

50

アンテナ開口長の大きな全体開口の狭ビーム幅のマルチビーム形成の関係を示している。

【0031】

A軸及びB軸の各々のサブアレイ10A, 10Bにおいて、それぞれ、Bsa (Bsa 1)本及びBsb (Bsb 1)本のビームを形成する。これをビーム合成器20A1 ~ 20ABsaと、ビーム合成20B1 ~ 20BBsbに入力し、それぞれBaal本とBball本のビームを形成する。形成したマルチビーム毎にA軸信号処理器30A1 ~ 30ABaalとB軸信号処理器30B1 ~ 30BBballで所定の信号処理を実施した後、ビーム乗算器40で乗算することで、最大数Ball = Baal x Bballのマルチビームを形成することができる。この中から、必要に応じて、信号処理器50でCFAR等の検出処理を実施する。

【0032】

次に、モノパルス測角（非特許文献6参照）のための、AZ, ELを形成する手法について、図8及び図9を用いて述べる。まず、AZについては、A軸ビームとB軸ビームの乗算により形成する。一方、AZビームについては、横軸（AZ軸）のリニアアレイのB軸のアレイを開口2分割して形成した差ビームとA軸のビームを乗算して形成する。また、一方、ELビームについては、縦軸（EL軸）のリニアアレイのA軸のアレイを開口2分割して形成した差ビームとB軸のビームを乗算して形成する。AZ, ELビームを形成した後は、次式により誤差電圧を計算する。

【数10】

$$\varepsilon = \text{Real} \left[ \frac{\Delta}{\Sigma} \right] \tag{10}$$

ここで、

- $\varepsilon$  : 位相モノパルス誤差電圧
- $\Sigma$  : 和ビーム
- $\Delta$  : 差ビーム ( $\Delta AZ, \Delta EL$ )
- $\text{Real} [ ]$  : 実数部

【0033】

この誤算電圧と角度(AZ, EL)を予めテーブル化しておき、観測した誤差電圧によりテーブルを引用して、角度(AZ, EL)を出力すればよい。この様子を図10に示す。

【0034】

なお、サブアレイからのマルチビーム出力のデータ容量が大きく処理規模が増える場合には、観測空間を分割して、時分割で順に処理してもよい。

【0035】

以上のように、第1の実施形態では、一次元に配列したN(N 1)個のサブアレイによる受信アレイ(Xan, n = 1 ~ N)(A軸)と、それと異なる軸(B軸)の一次元に配列したM(M 1)サブアレイによる受信アレイ(Xbm, m = 1 ~ M)において、A軸とB軸の各々のサブアレイのビーム出力に対して、ビーム合成し、さらに信号処理(FFT、パルス圧縮PC、不要波抑圧等)を実施したA軸とB軸のビーム信号の乗算により、所定の角度範囲のマルチビームを形成する。また、A軸(B軸)で、B軸(A軸)でビームを形成して、両軸のビーム出力を乗算することによりEL(AZ)ビームを形成して、モノパルス測角を行う。

【0036】

すなわち、本実施形態によれば、異なる2軸のN段とM列のサブアレイ信号を用いて、各軸でビーム形成後、信号処理することにより、SN(信号対雑音電力)を向上させた上で、ビーム乗算によって平面アレイと同等のマルチビームを処理規模を低減した上で実現することができる。そして、A軸とB軸のいずれか一方をビームとビームに組み合わ

10

20

30

40

50

せて乗算することにより、全体ビームで と ビームを形成して、モノパルス測角を行うことができる。

【 0 0 3 7 】

(第2の実施形態)

第1の実施形態では、A軸とB軸のアレイを形成した後、乗算により全体ビームを形成する手法について述べた。本実施形態では、不要波抑圧用の処理をするために、補助アンテナを形成する手法について述べる。

【 0 0 3 8 】

図11は第2の実施形態に係るアンテナ装置の構成を示すブロック図、図12は補助アンテナを形成する様子を示す概念図である。図11において、図1と同一部分には同一符号を付して示し、ここでは異なる部分について説明する。図11に示すアンテナ装置は、A軸系統のサブアレイ出力の一部とB軸系統のサブアレイ出力の一部を取り出して、それぞれ信号処理器60A1~60ANa, 60B1~60BNbに入力し、2乗演算によるSN低下対策としての信号処理を実施し、仮想アレイ変換器70において、受信Na(Na-N)×受信Nb(Nb-M)の乗算演算を行い、その仮想サブアレイ出力のうち、補助ch選定器71で所定のNaux素子を選定して補助chとして、信号処理器50に対して不要波抑圧処理を実施する。

【 0 0 3 9 】

ここで、不要波抑圧処理として、代表的なSLC(SideLobe Canceller、非特許文献7参照)の原理を図13と図14に示す。SLCは、全体開口で形成した主ビームのサイドローブ方向から到来する不要波を、補助アンテナの受信信号を用いて抑圧する処理である。そのために、図14に示すウェイト処理回路により、主アンテナ(主ch)61で受けた信号と補助アンテナ(補助ch)621~62Naで受けた補助信号AUX1~AUXNaを乗算器63, 64で乗算した後、LPF(Low Pass Filter)65, 66の出力を通過させて対応するチャンネルの補助信号との相関演算を実施し、相関があれば乗算器67, 68でウェイトを変化させて、減算器69により補助chに乗算した信号を主chの信号から減算する。このアダプテーションにより、出力には不要波を抑圧した信号が得られる。これをアンテナパターンで説明すると、図12に示すようになる。すなわち、ウェイトを変化させると、主chのサイドローブレベルと補助chの振幅と位相が揃うので、減算することによって不要波の到来方向にヌルが形成され、これによって不要波を抑圧することができる。このアダプテーションは、STAP(特許文献1参照)におけるクラッタと不要波を抑圧する際の空間軸の補助アンテナとしても用いることができる。また、主chのサイドローブからの不要波レベルと補助chの不要波レベルとを比較して、補助ch>主chの場合に、受信OFFとすることにより、パルス状の不要波やクラッタを抑圧するSLB(非特許文献7参照)の補助アンテナとしても使うことができる。また、主chとして ビームについて述べたが、主chとして AZと ELビームに適用してもよい。

【 0 0 4 0 】

次に本実施形態の内容として、この補助アンテナをA軸とB軸の実アレイに用いて、仮想アレイにより構成する手法について述べる。補助アンテナで用いる仮想アレイ素子を生成するために、(1)式の信号を用いて両ベクトルの乗算を行うと、次式となる。

【数 1 1】

$$\begin{aligned}
 X_{nm}(AZ, EL) &= Xa^t \cdot Xb \\
 &= X_{in} \cdot X_{in} \cdot \begin{bmatrix} a1 \cdot b1 & a1 \cdot b2 & \cdot & a1 \cdot bNb \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ aN \cdot b1 & aN \cdot b2 & \cdot & aNa \cdot bNb \end{bmatrix}
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

ここで、

AZ, EL : 観測信号の AZa, ELa, AZb, ELb を表す

X<sub>nm</sub> : 受信素子信号

t : 転置

【0041】

次に、各要素は次式となる。

【数 1 2】

$$\begin{aligned}
 a_n \cdot b_m &= e^{-j(kax \cdot xan + kay \cdot yan + kaz \cdot zan)} \cdot e^{-j(kbx \cdot xbm + kby \cdot ybm + kbz \cdot zbm)}
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

【0042】

ここで、A 軸アレイと B 軸アレイの離隔距離が小さい場合を考えて、ka = kb とすると、次式となる。

【数 1 3】

$$\begin{aligned}
 a_n \cdot b_m &= e^{-j(kax \cdot xan + kay \cdot yan + kaz \cdot zan)} \cdot e^{-j(kax \cdot xbm + kay \cdot ybm + kaz \cdot zbm)} \\
 &= e^{-j(kax \cdot (xan + xbm) + kay \cdot (yan + ybm) + kaz \cdot (zan + zbm))}
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

【0043】

これは、図 1 2 に示すように、乗算演算により、 $a_n$  と  $b_m$  の位置ベクトルの加算の位置に仮想素子信号が生成されることを示している。これは MIMO (Multiple Input Multiple Output、非特許文献 2 参照) において、 $N_a \times N_b$  の送信信号と  $N_b \times N_c$  の受信信号より、 $N_a \times N_c$  の仮想アレイ信号を得る方式に相当する。この場合、送信して受信する信号に対して自動的に乗算演算を実施しているのに対して、本方式では仮想アレイ変換器 7 0 において、受信  $N_a$  ( $N_a \times N$ )  $\times$  受信  $N_b$  ( $N_b \times M$ ) の乗算演算を行っていることに相当する。この仮想サブアレイ (素子) のうち、補助  $c_h$  選定器 7 1 で所定の  $N_{aux}$  素子を選定すれば、補助  $c_h$  として用いることができる。なお、仮想アレイ変換器 7 0 の前の信号処理器 6 0 A 1 ~ 6 0 A  $N_a$ , 6 0 B 1 ~ 6 0 B  $N_b$  においては、前述の通り、2 乗演算を行うことによる SN 低下への対策として信号処理を実施することで、SN を向上さ

10

20

30

40

50

せている。

【0044】

以上のように、第2の実施形態では、一次元に配列した $N(N-1)$ 個のサブアレイによる受信アレイ( $X_{an}, n=1\sim N$ )(A軸)と、それと異なる軸(B軸)の一次元に配列した $M(M-1)$ サブアレイによる受信アレイ( $X_{bm}, m=1\sim M$ )において、A軸とB軸の各々のサブアレイのビーム出力に対して、ビーム合成し、更に信号処理(FFT、パルス圧縮PC、不要波抑圧等)を実施したA軸とB軸のビーム信号の乗算により、所定の角度範囲のマルチビームを形成し、また、A軸とB軸のサブアレイ信号に必要なに応じて信号処理を実施した後、サブアレイ間の乗算により形成した補助チャンネルを用いて、マルチビームの信号処理を実施する。すなわち、異なる2軸のN段とM列のサブアレイ信号を用いて、各軸でビーム形成後、信号処理することにより、SNを向上させた上で、ビーム乗算により、平面アレイと同等のマルチビームを形成することができる。更に、異なる2軸の信号処理によりSNを向上させた後の素子乗算により、仮想アレイによる補助アンテナを形成し、不要波抑圧(クラッタ)等の信号処理を、処理規模を低減した上で実現することができる。

10

【0045】

なお、第1の実施形態及び第2の実施形態は、受信装置について述べたが、送信装置を加えれば、レーダ装置を構成することができる。また、上記実施形態はそのままに限定されるものではなく、実施段階ではその要旨を逸脱しない範囲で構成要素を変形して具体化できる。また、上記実施形態に開示されている複数の構成要素の適宜な組み合わせにより、種々の発明を形成できる。例えば、実施形態に示される全構成要素から幾つかの構成要素を削除してもよい。更に、異なる実施形態にわたる構成要素を適宜組み合わせてもよい。

20

【符号の説明】

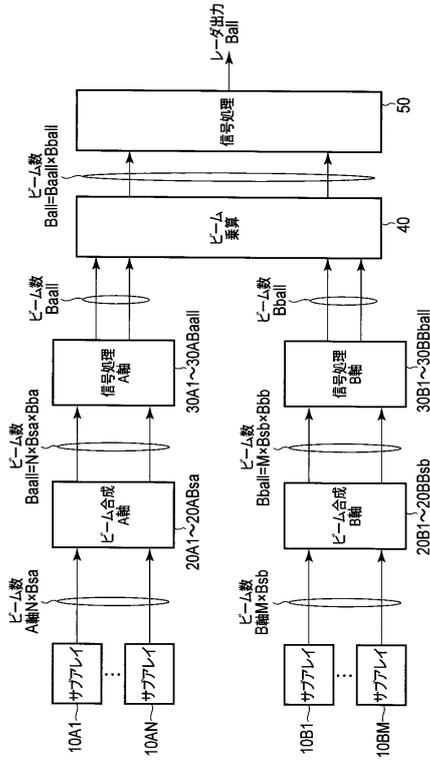
【0046】

10A1~10AN, 10B1~10BM...サブアレイ、111~11sn...アンテナ素子、121~12sn...増幅器、13...周波数変換器、14...AD変換器、15...サブアレイビーム合成器、20A1~20ABsa, 20B1~20BBsb...ビーム合成器、30A1~30Aball, 30B1~30Bball...信号処理器、40...ビーム乗算器、50...信号処理器、60A1~60ANa, 60B1~60BNb...信号処理器、70...仮想アレイ変換器、71...補助ch選定器。

30

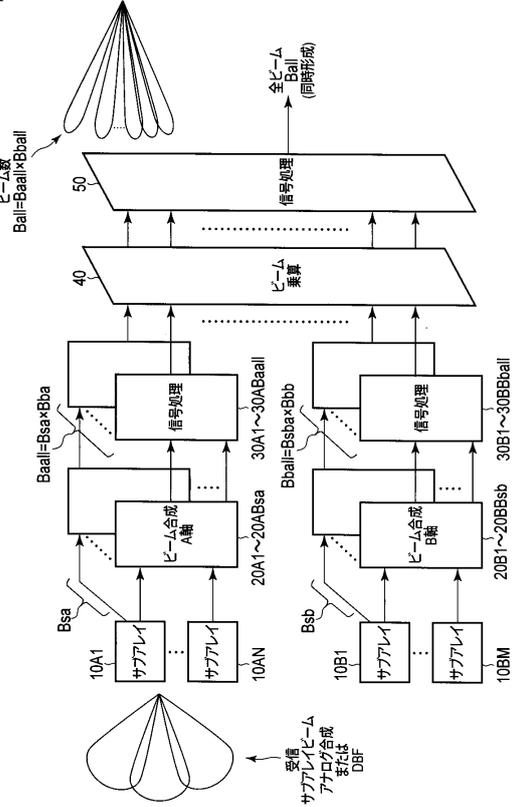
【 図 1 】

図 1



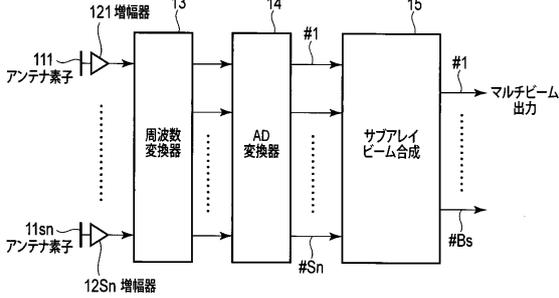
【 図 2 】

図 2



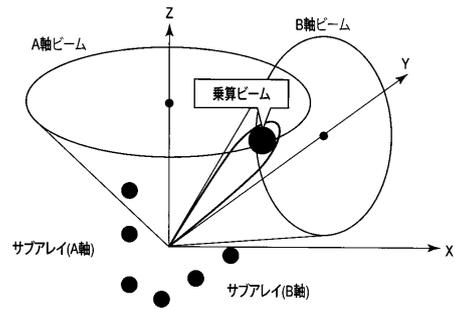
【 図 3 】

図 3



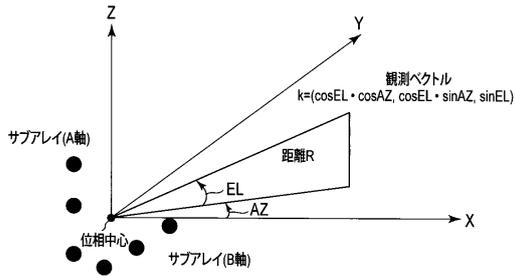
【 図 5 】

図 5



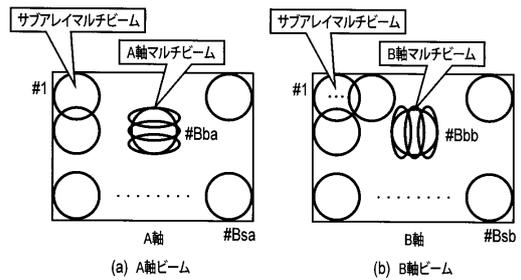
【 図 4 】

図 4

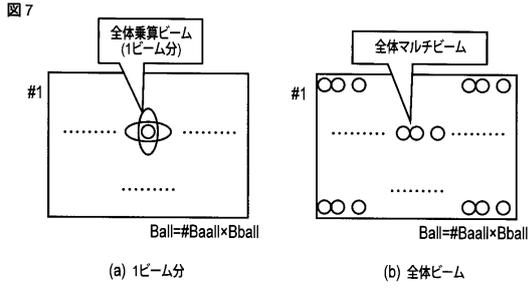


【 図 6 】

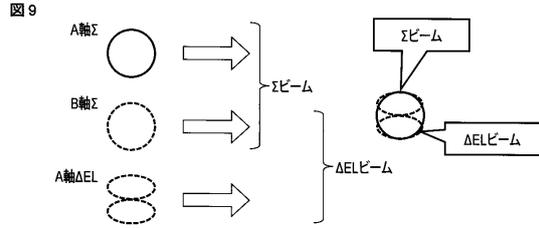
図 6



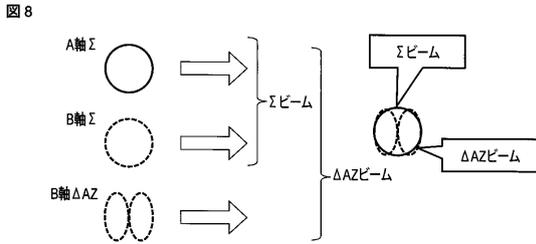
【図7】



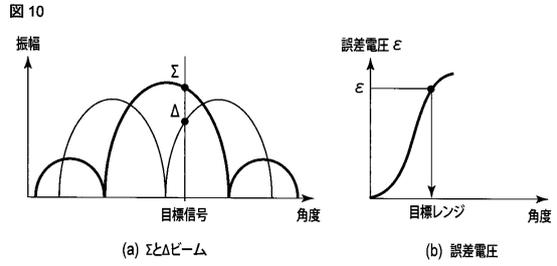
【図9】



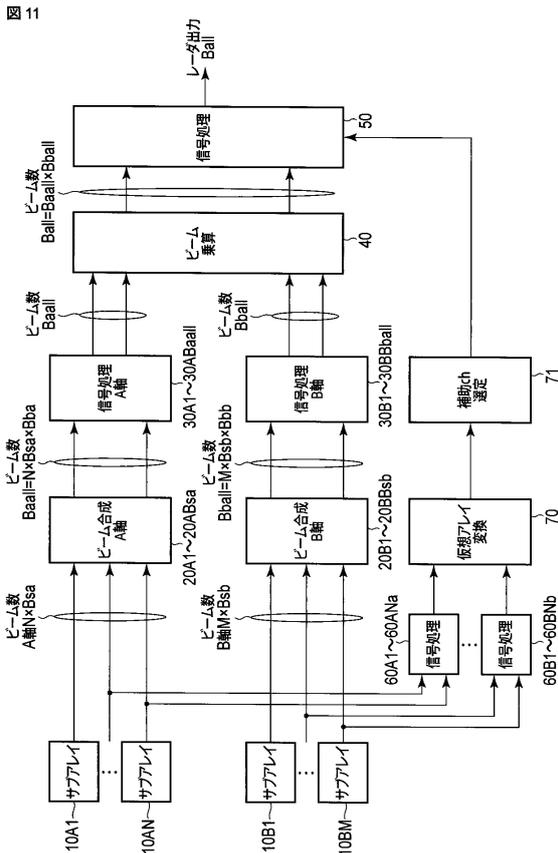
【図8】



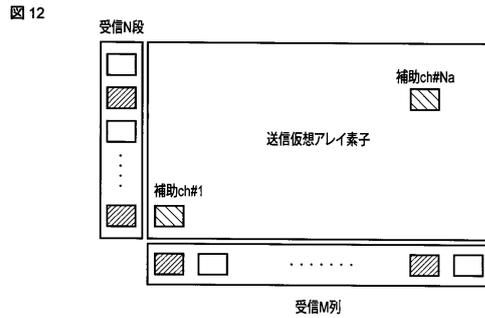
【図10】



【図11】

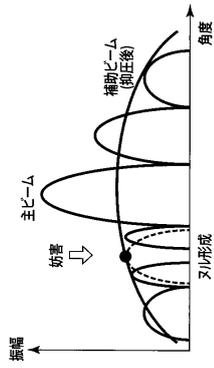


【図12】

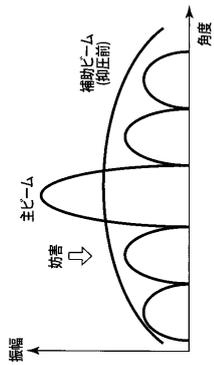


【図 13】

図 13



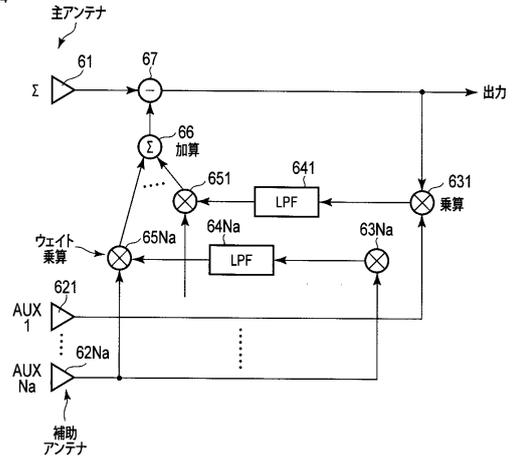
(b) 不要波抑制後



(a) 不要波抑制前

【図 14】

図 14



---

フロントページの続き

審査官 蔵田 真彦

- (56)参考文献 特開昭60-119482(JP,A)  
米国特許第06480154(US,B1)  
特開2012-222725(JP,A)  
特開平05-075324(JP,A)  
特開平04-323586(JP,A)  
特開2006-019834(JP,A)  
英国特許出願公開第2429860(GB,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01S 7/00-7/42、13/00-13/95  
H01Q 1/00-1/10、1/27-3/46、  
21/00-25/04